



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
**DISEÑO, SIMULACIÓN Y ESTUDIO VIABLE
DE IMPRESORAS 3D COMO MECANISMO DE
MANUFACTURA EN PROCESOS
INDUSTRIALES Y COMO HERRAMIENTA
DIDÁCTICA EN LA UJAP.**

Autores:

Fernández G. Aldo A.

Velásquez E. Pedro D.

Urb. Yuma II, calle N°3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO, SIMULACIÓN Y ESTUDIO VIABLE DE IMPRESORAS 3D COMO
MECANISMO DE MANUFACTURA EN PROCESOS INDUSTRIALES Y
COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA EN LA UJAP.**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERO MECÁNICO

Autores:

Fernández G. Aldo A.

C.I: 28.054.889

Velásquez E. Pedro D.

C.I: 27.854.519

Tutor:

Ing. Donato Romanello

San Diego, mayo 2022



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA para la

evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Diseño, Simulación y Estudio viable
de Empresoras 3D como mecanismo
de Manufactura en entornos industriales
y como herramienta didáctica en
la UTAP

Realizado por el (la) Br. Alvaro Fernández G.

C.I. N° 28 054 889 cursante de la carrera de ING. MECÁNICA

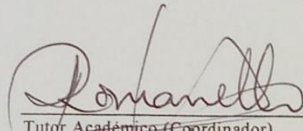
hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral,

considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

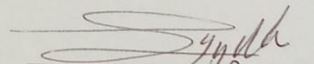
APROBADO


NO APROBADO

El Jurado


Tutor Académico (Coordinador)

Nombre: Arnato Romanello
C.I.: 4131877


Jurado Grover Pizotti
Nombre: Grover Pizotti
C.I.: 4417858


Jurado
Nombre: Andira Rodriguez
C.I.: 116547002

Fecha: 03, 06, 2022





UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA para la evaluación del Informe Final de Pasantía, o Trabajo de Grado titulado:

Diseño Simulación y Estudio Viable de Impresoras 3D como mecanismo de Manufactura en entornos industriales y como herramienta didáctica en la UJAP

Realizado por el (la) Br. Pecho Velazquez

C.I. N° 27854519 cursante de la carrera de ING. MEC.

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

Tutor Académico (Coordinador)

Nombre: Donato Romanello

C.I.: 4131877

Jurado Giovanni Pizalle

Nombre: Giovanni Pizalle

C.I.: 4417859

Jurado

Nombre: Andira Rodriguez

C.I.: 110547002

Fecha: 03 06 2022



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DECANATO DE INGENIERÍA



FI N 003 2022-ICR TG

Valencia, 27 de abril de 2022

Ciudadanos:
FERNANDEZ GARCIA, ALDO ALEJANDRO
28.054.889
VELASQUEZ ESCOBAR, PEDRO DAYMEL
27.854.519
Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 2-2022 de fecha 15/02/2022 aprobó el proyecto de grado titulado:

Diseño, simulación y estudio viable de impresoras 3D como mecanismo de manufactura en procesos industriales y como herramienta didáctica en la UJAP

Presentado por ustedes como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico

Se ratifica la designación del Tutor Académico que los asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. Donato Romanello Lombardi, titular de la cédula de identidad V-4.131.877



Atentamente

Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.
Decano de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado




REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**CONSTANCIA DE ACEPTACIÓN PARA PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL
TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Donato Romanello Lombardi, portador(a) de la cédula de identidad N° 4.131.877, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Aldo A. Fernández G. y Pedro D. Velasquez E. titulares de la cédula de identidad N° 28.054.889 y N° 27.854.519 respectivamente titulado **DISEÑO, SIMULACIÓN Y ESTUDIO VIABLE DE IMPRESORAS 3D COMO MECANISMO DE MANUFACTURA EN PROCESOS INDUSTRIALES Y COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA EN LA UJAP** presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 23 días del mes de mayo del año dos mil veintidos.


Ing. Donato Romanello
C.I: 4.131.877

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer inicialmente a Dios por guiar mi camino y brindarme la protección y sabiduría necesarias para superar cada etapa en el transcurso de mi vida. A mis padres, quienes me han brindado su amor, apoyo incondicional, protección y cariño; gracias por darme todo sin esperar nada a cambio, por escucharme y velar siempre por mi bienestar, aun cuando ello, en ocasiones, significaba realizar sacrificios propios. A mis hermanos, quienes han sido parte fundamental en mi vida, gracias por educarme en base al ejemplo, por estar siempre pendiente de mi bienestar, brindándome su apoyo y cariño, quiero agradecerles también por ser un ejemplo a seguir desde mi niñez y demostrarme que con esfuerzo y trabajo duro todo es posible. Gracias, a todos ustedes debo quién soy actualmente.

También quisiera dar las gracias a los buenos profesores que me acompañaron y enseñaron durante mi transcurso por la Universidad José Antonio Páez, especialmente a los que imparten clases dentro de la Escuela de Ingeniería Mecánica, a quienes considero parte de mi familia. Gracias por su vocación para enseñar, a pesar de las adversidades; siempre manteniendo su convicción de formar a los profesionales del futuro, incentivando a las nuevas generaciones a apostar y apoyar para la construcción de una mejor Venezuela. Gracias por tan noble labor, me siento orgulloso de afirmar que me he formado con los mejores Ingenieros Mecánicos y muchísimo mejores personas.

Considero pertinente realizar un agradecimiento especial al profesor Ing. Donato Romanello, jefe de la escuela de Ingeniería Mecánica de nuestra casa de estudios, a quien considero mi mentor y sé que lo es para todos sus estudiantes, gracias profesor por darnos los mejores consejos, por guiarnos y motivarnos a ser excelentes profesionales, a inculcarnos que debemos superarnos constantemente y buscar ser mejores profesionales cada día, porque esa es la única manera de generar una sociedad fuerte, consciente y eficiente, la sociedad ideal que todos queremos.

A todos, ¡muchísimas gracias!

Aldo Fernández

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecerle a dios por brindarme salud, conocimiento y sabiduría para saber manejar las circunstancias, dándome así más herramientas para poder llegar a este punto. El proceso no ha sido fácil, sin embargo, he tratado de disfrutar cada momento y oportunidad.

Quiero dar un especial agradecimiento a mi madre Dayana Escobar por todo el apoyo, esfuerzo y dedicación que me ha brindado a lo largo de mi vida, enseñándome valores que quedan arraigados en el corazón, en la mente y que me siguen formando como persona de bien día tras día.

A los profesores que me acompañaron a lo largo de este camino, muchas gracias por su constante apoyo y confianza para lograr todas las metas propuestas. Especialmente a los profesores de la facultad de ingeniería mecánica por demostrarme que las cosas cuando realmente se hacen de corazón, no hay obstáculo que valga.

Finalmente, a mis amigos y a mis compañeros universitarios, que de manera directa o indirecta me influenciaron positivamente y me hicieron mejor persona.

A todos, muchas gracias.

Pedro D. Velasquez E.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
LISTADO DE CUADROS.....	xi
LISTADO DE FIGURAS.....	xii
LISTADO DE TABLAS.....	xv
RESUMEN INFORMATIVO.....	xvii
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	6
1.3 Objetivos de la investigación.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Justificación del problema.....	6
1.5 Alcance.....	7
1.6 Limitaciones.....	8
II MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Antecedentes.....	9
2.2 Bases teóricas.....	12
2.2.1 Impresión 3D.....	12
2.2.2 Beneficios.....	14
2.2.3 Clasificación de impresoras 3D.....	16
2.2.4 Tecnologías de impresión 3D.....	17
2.2.4.1 Impresión 3D por Estereolitografía (SLA).....	18
2.2.4.2 Impresión 3D por Sinterización Selectiva por Láser (SLS).....	20
2.2.4.3 Impresión por deposición de material fundido (FDM).....	21
● Impresoras FDM cartesianas:.....	22

• Impresoras FDM polares:	23
• Impresoras FDM delta:	24
• Impresoras 3D con brazos robóticos:	24
2.2.4.4 Impresión 3D por inyección (MJ) o Polyjet (PJ).....	26
2.2.5 Proceso de impresión 3D mediante el método FDM.....	27
2.3 Definición de términos básicos.....	49
III MARCO METODOLÓGICO	50
3.3 Diseño de investigación.....	51
3.4 Nivel de investigación.....	52
3.5 Población y Muestra	53
3.5.1 Población.....	53
3.5.2 Muestra.....	54
3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	54
3.6.1 Análisis documental	54
3.6.2 Observación experimental.....	55
3.8 Técnicas de análisis de resultados.....	57
IV RESULTADOS.....	60
4.1 FASE I	60
4.1.1 Resultados obtenidos a través de la técnica de recolección de datos.....	61
4.2 FASE II	64
4.2.1 Tipo de impresora más apropiada según la aplicación.....	65
4.2.2 Materiales utilizados para impresión 3D con FDM	67
4.2.2.1 Filamento de ácido poliláctico (PLA).....	67
4.2.2.2 Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).....	69
4.2.3 Parámetros de selección de materiales.....	70
4.2.3.1 Punto de fusión	71
4.2.3.2 Temperatura de extrusión.	72
4.2.3.3 Velocidad de solidificación del material	73
4.2.3.4 Selección de material polimérico.....	75
4.2.4 Selección del tipo de mecanismo FDM de impresión 3D.....	76

4.2.5 Componentes necesarios para el funcionamiento de la impresora.....	77
4.2.5.1 Sistema mecánico.....	78
4.2.5.2 Sistema eléctrico y electrónico.	84
4.2.5.3 Selección del lenguaje de programación de control numérico.	92
4.2.6 Software de diseño y preparación de piezas.....	93
4.2.6.1 Modelado 3D.	93
4.2.6.2 Preparación para la impresión de piezas (Slicing).....	94
4.2.6.3 Selección de software computacional para modelado 3D.	97
4.3 FASE III.....	98
4.3.1 Sistema basado en el funcionamiento de las máquinas Supra i3:.....	98
4.3.2 Sistema basado en el funcionamiento de las máquinas MarketBot:	99
4.3.3 Sistema basado en el funcionamiento de las máquinas Cube 3D:	100
4.3.4 Diseño de los mecanismos de transmisión de movimiento.....	102
4.3.4.1 Mecanismo de movimiento en el eje X	102
4.3.4.2 Mecanismo de movimiento en el eje Y.....	105
4.3.4.3 Mecanismo de movimiento en el eje Z.....	108
4.3.5 Funcionamiento del sistema de extrusión.	113
4.3.5.1 Parámetros mecánicos del extrusor.	113
4.3.5.2 Tiempo de arranque del extrusor	113
4.3.6. Flasheo y configuración del firmware Marlin en el Arduino.....	115
4.3.7 Selección final de componentes a utilizar para el ensamblaje.....	124
4.4 FASE IV.....	126
4.5 FASE V	139
4.5.1 Costo de la inversión	139
4.5.2 Ahorros económicos.....	141
4.5.3 Relación Costo- Beneficio	141
CONCLUSIONES	143
RECOMENDACIONES	145
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146

LISTADO DE CUADROS
CONTENIDO

CUADROS	pp.
1. Definición de variables en el lenguaje de control G-Code.	32
2. Respuestas de la entrevista guiada	61
3. Características del PLA de tipo 4043D.....	68
4. Características del ABS y PLA.....	69
5. Parámetros del material a utilizar en la impresión FDM	71
6. Materiales de relleno utilizados en la impresión 3D.....	74
7. Propiedades mecánicas generales del PLA.....	75
8. Propiedades térmicas del PLA.....	75
9. Cuadro comparativo entre impresoras 3D Cartesianas y Polares	77
10. Comparación entre softwares para realizar proceso de slicing.....	95
11. Características de los softwares Cura y Repetier-Host.....	95
12. Criterio para la selección del mecanismo de movimiento	101
13. Características de motores NEMA 17.....	111
14. Propiedades de los materiales que componen el extrusor.....	113
15. Relación costo-beneficio.....	141

LISTADO DE FIGURAS
CONTENIDO

FIGURA	Pág.
1. Máquina de impresión 3D FDM	12
2. Patente impresora SLA Chuck Hull (1984)	14
3 Impresora Redwire Regolith Print (R.R.P)	17
4. Esquema de un aparato de estereolitografía.....	19
5. Sinterizado selectivo por láser	21
6. Modelado por deposición fundida.....	22
7. Impresora 3D cartesiana.....	23
8. Impresoras FDM polares.....	24
9. Impresora FDM delta	24
10. Impresora 3d con brazo robótico.....	25
11. Esquema del proceso de impresión FDM.	25
12. Especificaciones del proceso de impresión FDM.....	26
13. Impresión 3D por inyección de material.....	27
14. Proceso de impresión 3D.	27
15. Ejemplo acabados para impresión 3D.....	29
16. Flujograma del proceso de impresión 3D.	30
17. Interfaz del software de slicing Ultimaker Cura.	34
18. Interfaz del Netfabb.....	35
19. Interfaz de Repetier Host.	36
20. Rollos de material de impresión 3D, PLA.	68
21. Impresión 3D con material ABS.	70
22. Fases de materiales poliméricos según su temperatura.....	72
23. Ángulos de estructuras 3D.	74
24. Motor paso a paso nema 17.....	79
25. Polea síncrona dentada.....	80
26. Husillo de bolas y deslizante.....	80

27.	Rodamientos de bola.....	81
28.	Ilustración de estructura para impresora 3D	81
29.	Ilustración de extrusor directo (izquierda) y Bowden (derecha).....	82
30.	Partes y zonas que componen un hotend.	83
31.	Hotend utilizado para impresión 3D.	84
32.	Sensor final de carrera.....	85
33.	Termistor	86
34.	Placa base de Arduino MEGA 2560.	87
35.	Diagrama de un shield RAMPS 1.4	88
36.	Placa base RUMBA.	89
37.	Cama caliente PCB tipo MK2a.....	90
38.	Driver potenciómetro DVR8825 para motores pasoa paso.....	91
39.	Fragmento de un código g para movimiento lineal.....	94
40.	Visualización de un procedimiento de slicing realizado con repetier-host.....	96
41.	Proceso de slicing de una pieza, utilizando el software Cura.	97
42.	Simulación de esfuerzos y deformación en Inventor	98
43.	Estructura de una impresora 3D Supra i3..	99
44.	Máquina de tipo Marketbot.....	100
45.	Impresora con estructura tipo Cube 3D.	101
46.	Mecanismo de desplazamiento Eje X	102
47.	Soportes del eje X	103
48.	Distribución de esfuerzo en flexión.....	104
49.	Mecanismo de desplazamiento Eje Y	105
50.	Capacidad volumétrica de la impresora 3D diseñada	106
51.	Mecanismo de desplazamiento Eje Z.....	108
52.	Mecanismo motriz para el eje X	109
53.	Morfología del filamento extruido.....	110
54.	Sección transversal del sistema de extrusión.	114
55.	Selección de la ventana de configuración en el Marlin.....	116

56.	Ubicación de la placa Ramps 1.4 en el archivo “Boards.h”.....	117
57.	Selección de Motherboard, Serial_Port y Baudrate.	118
58.	Configuración del número de extrusores y diámetro del filamento.....	119
59.	Configuración de termistores para el extrusor y la cama caliente.	119
60.	Configuración de temperatura máxima y mínima de los componentes	120
61.	Temperatura mínima de extrusión.	120
62.	Activación de finales de carrera en posiciones iniciales (min).	121
63.	Lógica de los finales de carrera.....	121
64.	Selección de drivers potenciómetros.....	122
65.	Definición de pasos por milímetro en cada eje y en el extrusor.	122
66.	Cambio de dirección en motores paso a paso.	123
67.	Dimensiones de la cama caliente (área de impresión).	123
68.	Configuración de desplazamientos máximos y mínimos.....	124
69.	Isometría de simulación de tensión para base de la cama caliente.	126
70.	Simulación de tensión para base de la cama caliente.....	127
71.	Simulación de tensión para el husillo roscado central Eje Y	128
72.	Simulación de deflexión para el husillo roscado central Eje Y	128
73.	Simulación de tensión para el eje lateral Eje Y.....	129
74.	Simulación de deflexión para el eje lateral Eje Y.....	130
75.	Simulación de tensión para el soporte central Eje Y.....	131
76.	Simulación de deflexión para el soporte central Eje Y	131
77.	Simulación de tensión para el husillo roscado central Eje Z	132
78.	Simulación de desplazamiento para el husillo roscado central Eje Z	133
79.	Simulación de tensión para el eje de soporte carro portaextrusor Eje X	134
80.	Simulación de deflexión para el eje de soporte carro portaextrusor Eje X.....	134
81.	Simulación de deflexión para el soporte vertical del eje X.....	135
82.	Simulación del comportamiento térmico del Hotend.....	135
83.	Ensamblaje de los mecanismos de desplazamiento.....	136
84.	Vista isométrica del ensamblaje de la impresora 3D diseñada.....	137

LISTADO DE TABLAS

CONTENIDO

TABLA	Pág.
1. Condiciones de extremos para cálculo de columnas.	43
2. Selección de piezas y elementos para el diseño de la impresora 3D.....	124
3. Costos de piezas necesarias para ensamble de impresora 3D.	140



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO, SIMULACIÓN Y ESTUDIO VIABLE DE IMPRESORAS 3D COMO
MECANISMO DE MANUFACTURA EN PROCESOS INDUSTRIALES Y
COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA EN LA UJAP.**

Autores:

Fernández, Aldo

Velasquez, Pedro

Tutor: Ing. Donato Romanello

Fecha: mayo, 2022

RESUMEN INFORMATIVO

La presente investigación tuvo como finalidad la elaboración del diseño, modelado y simulación de un prototipo de impresora 3D que pueda ser utilizada para el desarrollo de gran cantidad de actividades y prácticas experimentales dentro de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez. Se buscó además, la adición e implementación de los procesos de manufactura aditiva como objetivos de estudio en cada una de las cátedras que se encuentren destinadas al diseño, simulación, manufactura o fabricación y experimentación, impartidas en la Escuela de Ingeniería Mecánica, donde la impresora 3D diseñada pueda fungir como herramienta tanto funcional como didáctica para poder realizar piezas o elementos tridimensionales, con el objetivo facilitar la comprensión y adquisición de conocimientos relacionados con métodos de manufactura modernos, por parte de los estudiantes que cursen dichas asignaturas. Adicionalmente, se realizó un estudio de viabilidad económica que permitió estimar el costo del proyecto, para así contar con un presupuesto que resulte de utilidad en el caso de que se desee fabricar el prototipo diseñado. El presente trabajo de investigación se encuentra enmarcado en la línea de investigación: Desarrollo de nuevas tecnologías de la información y comunicación, además, el proyecto sienta sus bases en un enfoque Cuantitativo, fundamentándose en el tipo de investigación proyecto factible; tomando como mecanismos de recolección de datos la entrevista guiada, la observación experimental y el análisis documental.

Descriptor: Manufactura, piezas, herramientas, diseño, investigación

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la impresión 3D representa un procedimiento innovador que ha visto una evolución impresionante desde su concepción hace más de 30 años, desde entonces se fueron haciendo cada vez más visibles las infinitas probabilidades que plantea el uso de esta tecnología en distintos ámbitos, desde un uso doméstico para tareas del hogar, hasta llegar a una aplicación industrial, donde pueda funcionar como una alternativa para la fabricación de elementos complejos, a partir de un boceto o diseño en tres dimensiones realizado en una computadora, con ayuda de un software CAD.

La utilidad de la tecnología de impresión 3D resulta increíble debido a que permite la elaboración de una gran variedad de elementos a un bajo costo y con una logística bastante básica, funcionando de forma útil para diversas aplicaciones, desde la medicina, donde permite continuar con la evolución en cuanto a procedimientos quirúrgicos, pasando por la nanotecnología, hasta llegar a un hogar con una simple máquina portátil.

Con el pasar de los años, pueden seguir apareciendo nuevos avances en este tipo de tecnología, ahondando más en aplicaciones que actualmente se creen muy complicadas para desarrollar, es por ello, que crece la importancia de proporcionar conocimientos a las nuevas generaciones de profesionales para garantizar la continuidad del proceso de innovación, brindándoles la posibilidad de contar con preparación para la manipulación de las tecnologías que van surgiendo y evolucionando a medida que pasa el tiempo.

El desarrollo de esta investigación busca resaltar que la impresión 3D puede funcionar como una herramienta de manufactura con gran proyección en el futuro, mediante el diseño de un prototipo de impresora 3D que pueda ser de utilidad para los profesores y estudiantes de la Universidad José Antonio Páez como herramienta didáctica para la formación de profesionales que puedan hacer uso de dicho tipo de

tecnologías, resaltando la importancia de la implementación de programas de estudio actualizados que permitan la familiarización con las nuevas tendencias tecnológicas.

En relación a la organización del trabajo, resulta indispensable tomar en cuenta la metodología establecida por la Universidad José Antonio Páez para el desarrollo de proyectos de investigación, la cual consta de:

- **Capítulo I, El problema:** En este capítulo se determinan las bases que puedan justificar el desarrollo de la investigación titulada "**Diseño, simulación y estudio viable de impresoras 3D como mecanismo de manufactura en procesos industriales y como herramienta didáctica en la UJAP**". Mediante el capítulo I se define el planteamiento del problema, formulación del problema, los objetivos de la investigación y posteriormente la justificación de la misma.
- **Capítulo II, Marco teórico:** Este capítulo busca dar definición a todos los puntos teóricos del proyecto, que en gran medida pueden influir para el desarrollo del mismo, en este capítulo se identifican los antecedentes, las bases teóricas y definición de términos básicos del proyecto.
- **Capítulo III, Marco metodológico:** En este capítulo se describen aspectos de crucial importancia para la descripción de los procedimientos a seguir y la determinación del tipo de investigación que se está realizando, dentro de los puntos de este capítulo se encuentran: Naturaleza de la investigación, tipo y diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y las técnicas de análisis de resultados.
- **Capítulo IV, Resultados, conclusiones, recomendaciones, bibliografía:** Se demuestran y establecen los resultados obtenidos a través del proceso de investigación, junto con las conclusiones resaltantes en relación a los resultados obtenidos, recomendaciones para la prosecución del proyecto y las referencias bibliográficas consultadas para el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La innovación es una cualidad intrínseca del ser humano que ha fomentado el surgimiento de un proceso evolutivo constante, el cual generó como consecuencia, el desarrollo de la sociedad como se conoce actualmente. Los adelantos de la tecnología a nivel mundial han surgido a través de ese proceso continuo, por ende, es considerado como el causante de gran cantidad de los cambios existentes en el estilo de vida de la civilización.

Con pasar del tiempo, han surgido diversas corrientes innovadoras que fueron asentando las bases del desarrollo industrial de cara al futuro, con nuevas herramientas y equipos. Por tal motivo, los procesos productivos, educativos y didácticos, a su vez, han experimentado gran cantidad de cambios desde el surgimiento de la revolución industrial hasta la actualidad, esto ha obligado a las grandes industrias y diversos institutos académicos a nivel mundial a invertir una cantidad importante de recursos en investigación e implementación de nuevas tecnologías, lo que garantiza la prevalencia de alternativas de productos y servicios en un mercado que se encuentra en constante cambio y que es considerado altamente competitivo.

Es por ello que, mantenerse a la par del desarrollo tecnológico plantea un reto bastante importante, tanto para las corporaciones industriales, como para las universidades, ya que, estas últimas son las encargadas de formar a los futuros profesionales dentro de las diversas áreas de desarrollo. En tal sentido, es importante resaltar la influencia que ejerce el hecho de contar con un alto nivel de conocimiento sobre tecnologías de vanguardia, en cuanto a capacitación de los profesionales formados dentro de las diversas casas de estudio.

Por tal motivo, el aporte que estos profesionales puedan generar a la prosecución del proceso de innovación y al avance de la sociedad, dependerá tanto de las herramientas, como de los conocimientos prácticos y teóricos impartidos dentro de las

instalaciones académicas ya mencionadas. De manera que, para las universidades tanto a nivel nacional como internacional, debe resaltarse como prioridad la adaptación a nuevos procesos y la adquisición de herramientas que faciliten a sus estudiantes el entendimiento de cada elemento que forme parte del funcionamiento de los mismos, para que así, en un futuro, puedan fomentar el surgimiento una nueva revolución en el ámbito del funcionamiento de procesos dentro de cualquier sector.

Ahora bien, con el surgimiento de las nuevas corrientes tecnológicas y junto con ellas, nuevas herramientas y métodos de aprendizaje para la formación de profesionales instruidos en todo lo relacionado con las mismas, todo ello combinado con el cambio de mentalidad que ha surgido en las últimas décadas en términos de ecología para la asignación tanto eficiente como correcta de los recursos utilizados en cada una de las acciones realizadas por el ser humano, han traído como consecuencia una optimización en los procesos de producción de cualquier ámbito, desde ingeniería, diseño industrial y arquitectura, hasta medicina, biomedicina y moda o industria textil de alta vanguardia, abriendo paso de dicha manera a nuevos mecanismos de producción más eficientes y amigables con el planeta.

En el ámbito de la ingeniería y desarrollo tecnológico, la impresión en tres dimensiones, también llamada “impresión 3D” es uno de los procesos que ha surgido como consecuencia de la tendencia evolutiva existente en materia de producción y manufactura que desde su surgimiento a principios de la década de los 80 atravesó distintos cambios y mejoras hasta llegar a la tecnología que se conoce en la actualidad, este tipo particular de impresión puede ser considerada en un futuro no muy lejano como una alternativa viable para la fabricación de distintos elementos que desde hace ya bastante tiempo, requieren de grandes inversiones de capital, tiempo, logística, maquinaria y otros recursos para poder ser elaborados.

En el mismo orden de ideas, no resulta descabellado afirmar que la impresión en 3D posee una gran proyección a futuro, pudiendo llegar al punto de complementarse y conseguir una sinergia en el ámbito industrial con distintos procesos que hoy en día son considerados indispensables e irremplazables para la elaboración de un producto

en forma masiva, todo esto dependerá de los adelantos que vayan surgiendo con el pasar del tiempo y del enfoque que se le quiera dar a las aplicaciones de esta tecnología.

En la actualidad, las impresoras 3D poseen la capacidad generar objetos con formas complejas de manera rápida, sencilla y económica en distintos materiales poliméricos, además, actualmente existen impresoras con la capacidad de desarrollar piezas relativamente resistentes, en materiales metálicos y compuestos; logrando así dar a conocer todas sus ventajas en sus diversos campos de aplicación.

En un principio, se tienen los procesos de impresión 3D ya definidos como un desarrollo innovador que se encuentra actualmente a la vanguardia tecnológica y que a su vez cuenta con una gran cantidad de ventajas que incluyen desde mayor ganancia económica y mejores tiempos de producción hasta una mejora en la calidad del producto terminado. Mientras que, por otro lado, se encuentran algunas instituciones académicas dejando pasar la oportunidad de impartir conocimiento de estos nuevos procesos y a su vez privando a sus estudiantes de conocer herramientas que serán necesarias para el correcto desenvolvimiento del futuro profesional que se encuentra en formación.

En concordancia con lo planteado anteriormente, puede apreciarse una consecuencia bastante marcada, debido a que se limita la capacidad de desarrollo, de avance y de adaptación tecnológica del sector industrial y educativo del país, privando así a las empresas e instituciones que lo componen de avanzar con la mejora continua de sus procesos productivos y en la mejora de la oferta académica de las instituciones de educación superior.

En función de los aspectos resaltados anteriormente, a grandes rasgos, se considera viable el diseño y la simulación de una impresora 3D que pueda funcionar como herramienta didáctica y como recurso para el desarrollo de distintas prácticas de laboratorio en las diversas facultades en las que pueda aportar valor dentro de la Universidad José Antonio Páez, debido a que, en la actualidad no se cuenta con dicha tecnología de impresión en las instalaciones la universidad. La impresora, además, funcionará como base para el desarrollo de futuros proyectos innovadores y

experimentales dentro de la casa de estudio, permitiendo a los estudiantes contar con los conocimientos tecnológicos de vanguardia que podrían traducirse en una ventaja al momento de enfrentarse y competir en el campo laboral.

1.2 Formulación del problema

Una vez definido el problema, surge la siguiente pregunta, ¿De qué manera se puede mejorar la experiencia y los conocimientos de los estudiantes en el laboratorio de manufactura de la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Diseñar una impresora 3D didáctica que permita fomentar el aprendizaje de nuevas tecnologías en el laboratorio de manufactura de la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación académica en la U.J.A.P en términos de manufactura aditiva como recurso de formación y apoyo en distintas cátedras y disciplinas.
- Definir criterios, parámetros y procesos necesarios para el diseño de una impresora 3D.
- Determinar posibles alternativas para el diseño de la impresora 3D.
- Modelar y simular la impresora 3D, mediante herramientas de diseño asistido por computadora.
- Realizar un estudio de viabilidad económica para la implementación de la impresora 3D como herramienta didáctica en la Universidad José Antonio Páez.

1.4 Justificación del problema

La presente investigación y su correspondiente desarrollo se fundamenta en parámetros que son de gran importancia tanto a nivel académico como a nivel industrial. La justificación de la implementación de la impresión 3D dentro de la Facultad de Ingeniería, específicamente en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez, se debe a que estas pueden incluir la

posibilidad de realizar probetas poliméricas y metálicas para las pruebas de resistencia y deformación de materiales del laboratorio, fabricación de piezas especiales para el estudio y el análisis enfocado a los procesos de manufactura dentro del laboratorio de manufactura de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

De igual manera, a largo plazo, se pretende que su implementación sirva como una herramienta interescolar donde se puedan fabricar maquetas de estructuras a escala facilitando así los procesos de diseño utilizados por los estudiantes de Arquitectura e Ingeniería Civil, también se busca lograr la mejora desde el enfoque de las ciencias de la salud, específicamente dentro de la facultad de odontología, diseñando y fabricando prototipos de los equipos que utilizan en sus prácticas, hasta prótesis dentales para sus pacientes. La importancia de lo anteriormente descrito, aparte de las posibilidades mencionadas, existe una amplia gama de otras funciones que se pueden explotar para el beneficio tanto de los estudiantes de la casa de estudios, como para la misma institución universitaria.

Por lo tanto, para asegurar el correcto manejo y funcionamiento de estas máquinas de impresión 3D y así poder aprovechar y sacar provecho de todas sus ventajas y características en el ámbito industrial es necesario formar profesionales completamente capacitados para operar, controlar y supervisar todas las acciones que se puedan realizar con este tipo de máquinas, logrando siempre estar a la vanguardia tecnológica que es tan necesaria en el campo laboral.

1.5 Alcance

Con el presente trabajo se buscó, principalmente el diseño y simulación de una impresora 3D como herramienta indispensable para el aprendizaje y adaptación de los estudiantes a las nuevas tecnologías dentro de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez. De igual manera, se pretendió estudiar y analizar el impacto que puede generar la implementación de máquinas que posean la tecnología de impresión 3D en los procesos de manufactura, para el desarrollo de distintos productos en los sectores industriales.

1.6 Limitaciones

La investigación en desarrollo planteó ciertas limitaciones en su ejecución, principalmente debido a que se trata de un proceso de investigación y experimentación que busca el diseño y simulación de una impresora 3D que sirva como herramienta didáctica para la Universidad José Antonio Páez.

Los mayores retos que se pueden presentaron en la ejecución del proyecto estuvieron ligados a los parámetros de diseño necesarios para fabricar la máquina y las variables que permitan el funcionamiento de la misma. Dentro de estos retos se encuentran la selección del tipo de impresora que represente un sistema relativamente sencillo y económico para su desarrollo, también el tipo de material que se con el cual se pretende fabricar las piezas en la impresora, debido a que, los procesos de impresión 3D, en su mayoría, requieren de la fundición de un material para luego ser aplicado mediante un cabezal o extrusor y generar así una pieza terminada.

Por otro lado, el inconveniente también se presentó al momento de controlar variables como la dilatación térmica del material y las características mecánicas que posea la pieza ya terminada. La selección de un material incorrecto podía significar que el elemento a desarrollar posea limitantes como la posibilidad de degradarse fácilmente al estar en contacto con las condiciones ambientales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Arias F. (2012, p. 106) indica que “los antecedentes reflejan los avances y el estado actual del conocimiento en un área determinada y sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones”. En esta oportunidad los antecedentes a los que se recurrieron para la elaboración del presente trabajo de investigación se presentan a continuación:

Gil-Pinto Raúl, Melendez Leonardo y Lahoud Marcel (2016), profesores pertenecientes al Departamento de Automática de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela; en su proyecto de investigación titulado “**Diseño y calibración de una máquina de cinemática paralela para aplicaciones de manufactura aditiva**” describen el proceso de diseño de una impresora 3D de tipo Delta, que funciona bajo la metodología de impresión por deposición fundida (FDM), como objetivos planteados para la investigación se establecieron como prioridad; el diseño cinemático del robot delta paralelo, cálculo del espacio de trabajo o impresión de acuerdo a las dimensiones del robot, además del diseño del prototipo basado en hardware y software libre.

La investigación culminó con el diseño de la máquina, la obtención de un modelo de cinemática inversa, lográndose determinar el volumen de trabajo del robot y la fabricación del prototipo para su implementación en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela con un sistema de hardware libre para controlar el funcionamiento de los motores, adicionalmente, se implementó el software slicer Repetier-Host para la transformación del modelo tridimensional en un lenguaje de código interpretable por el firmware de la máquina Delta para poder realizar la impresión.

Los autores establecen, adicionalmente que “La máquina desarrollada e implementada es la primera de su tipo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, que por ser desarrollada en hardware y software libre puede ser

una plataforma útil tanto para la enseñanza como para la investigación”. De lo anteriormente descrito, resulta destacable la importancia y auge que ha desarrollado la manufactura aditiva con el pasar de los años, además, dicha investigación sienta las bases para el desarrollo de proyectos relacionados con nuevos adelantos en procesos de manufactura, como lo es la manufactura aditiva; por parte de las distintas casas de estudio dentro de la República Bolivariana de Venezuela.

De la misma manera, López, A., Medina, D. y Rodríguez, G. (2017) en su trabajo de grado que se titula, **“Diseño y ensamblaje de impresora 3D por estudiantes de técnico en hardware, para el laboratorio de impresión 3D, de la universidad tecnológica de El Salvador”** en la Universidad Tecnológica de El Salvador, ciudad de San Salvador, El Salvador, para optar por el título de “técnico de ingeniería de hardware”. El principal objetivo de la investigación fue implementar el ensamblaje de una impresora 3D, cuya finalidad se centra en la creación de objetos tridimensionales mediante procesos aditivos, por medio de superposición de capas sucesivas, prototipado como deposición de material fundido (FDM) en el laboratorio de impresión 3D de la Universidad Tecnológica de El Salvador.

Para ello establecieron un plan de acción y determinaron 5 fases para la elaboración del proyecto, la primera etapa consistía en un plan logístico de documentación, la segunda se basó en la documentación de las partes de la impresora 3D, la tercera y cuarta etapa correspondió al armado y configurado de la impresora, la quinta y última etapa consistió en la elaboración de los manuales de funcionamiento y mantenimiento de la impresora, en base a lo obtenido en las fases anteriores. Con la culminación del proyecto, se logró beneficiar a gran cantidad de estudiantes dentro de los límites de la Universidad Tecnológica de El Salvador, para el desarrollo de las prácticas en carreras afines a la facultad de informática y ciencias aplicadas.

Siguiendo el mismo orden de ideas, Aguinsaca, D. (2017), elaboró un trabajo de grado titulado como, **“Diseño y construcción de una impresora 3D tipo cartesiana para la elaboración de placas electrónicas tipo SMD”**, como requisito para optar por el título de ingeniero mecatrónico en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,

Sangolquí, Ecuador. El objetivo de este trabajo fue diseñar y construir una impresora 3D de tipo cartesiana, para la elaboración de placas electrónicas tipo SMD, con una precisión de movimiento en los ejes XY de al menos 0.1 mm y en el eje Z de 0.05 mm.

El proyecto se desarrolló desde el punto de vista experimental, seleccionando como tipo de impresión 3D el modelado por deposición fundida (FDM), comenzó con el análisis de los pasos necesarios para la impresión 3D FDM, características y propiedades de los materiales aptos para este tipo de impresión y posteriormente, el enfoque se orientó hacia la fabricación del extrusor y al diseño industrial de la impresora.

Como resultados de la investigación se encuentran el diseño y construcción de la impresora con sistema de extrusión para tintas conductivas, que puede fabricar pistas electrónicas de hasta 0.2 mm de espesor, con una precisión de 0.05 mm. Se implementó un proceso sencillo para transformar un archivo de diseño electrónico a uno imprimible para facilitar el uso de la máquina, implementando herramientas de software como Netfabb Basic y Matter Control.

De la misma forma, Rodríguez, X. (2018), elaboró un trabajo de grado titulado como, **“Proyecto de diseño de piezas modeladas con una impresora 3D para la realización de prácticas de laboratorio de la asignatura de resistencia de materiales y teoría de estructuras”**, para optar por el título de ingeniero mecánico en la Universidad Politécnica de Catalunya, Catalunya, España. Este trabajo se presentó con la finalidad de realizar una metodología práctica para el diseño y comportamiento de distintas piezas fabricadas mediante la tecnología de impresión 3D, determinando características y propiedades de los materiales aptos para este tipo de impresión.

Adicionalmente se realizó un estudio de las tecnologías de impresión 3D, del procedimiento de diseño mediante software CAD y las etapas que componen cada proceso; analizando los materiales que pueden utilizarse, sus costos, características, las aplicaciones, ventajas y desventajas en general, que presenta la impresión 3D. El proyecto tuvo como conclusión el diseño de una metodología para la realización de prácticas de laboratorio de una manera distinta a la tradicional, en donde cada

participante tiene gran capacidad de libertad de diseño, estipulando para la práctica tres puntos, el primero de diseño, el segundo de impresión y por último el ensayo.

2.2 Bases teóricas

Para comprender de mejor manera todo el contenido del presente trabajo de investigación se deben tener presente ciertas bases teóricas y prácticas que ayuden al lector a entender de manera un poco más profunda los principios de funcionamiento y el por qué la impresión 3D es una solución bastante ideal en su campo de aplicación.

2.2.1 Impresión 3D

La página oficial de la empresa Autodesk, Inc. Mundialmente reconocida por la elaboración de software de diseño en 2D y en 3D para las industrias de manufactura, infraestructura, construcción, medios, entretenimiento y datos transmitidos vía inalámbrica, define el proceso de impresión 3D como: “La impresión 3D, también denominada fabricación aditiva, es una familia de procesos que genera objetos añadiendo material a las capas que corresponden a secciones transversales sucesivas de un modelo 3D.”. (Ver figura 1.)

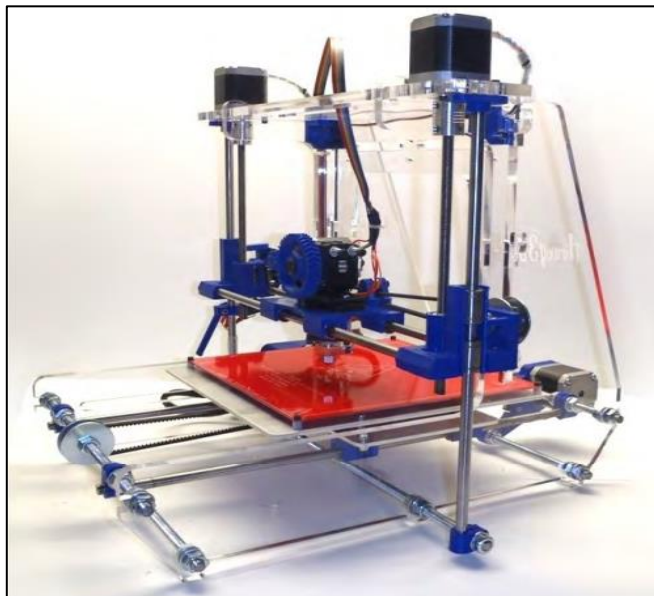


Figura 1: Máquina de impresión 3D FDM
Fuente: Bordignon F, Iglesias A. y Hahn A. (2018)

Existe una gran relación entre el proceso de fabricación mediante impresión 3D y los Software de diseño asistido por computadora o CAD (Computer Aided Design por sus siglas en inglés, debido a que mediante dichos programas de diseño es posible crear una pieza tridimensional para posteriormente transferirla a la impresora para que esta traslade dicho objeto a la vida real. Partiendo de esta premisa, Espinoza M. indica que “Se puede entender el Diseño Asistido por Computador (CAD) como la aplicación de la informática al proceso de diseño, logrando ser así; la representación computacional de alguna pieza o mecanismo” (2015). A su vez, el autor afirma que los softwares CAD permiten la reducción del tiempo en procesos de experimentación. Optimizando así el proceso de diseño, logrando alcanzar resultados satisfactorios en un rango de tiempo no tan amplio.

Además, la mayoría de estos sistemas proporcionan características bastante idóneas a los modelos, ya que logran darle al usuario una gran cantidad de herramientas que puede utilizar para mejorar todas las características y detalles de una pieza mecánica, estructural o hasta médica.

De igual forma, Autodesk hace referencia a que la impresión 3D también es conocida como fabricación aditiva y según la página oficial de Electrónica Edimar, la fabricación aditiva se puede entender como “un nuevo concepto de producción industrial a través del cual el material (plástico o metal) es depositado capa a capa de manera controlada allí donde se requiere” (2020). Básicamente representa la descripción del principio de funcionamiento de la impresión 3D

La impresión 3D es mucho más antigua de lo que realmente se piensa. “El lanzamiento de la primera impresora 3D, tuvo lugar a finales de 1988” (Berchon, M. y Giráldez, M., 2016). Cuyo principio de funcionamiento se centraba en la estereolitografía, “fórmula que designa un sistema de fabricación por capas sucesivas a partir de un material sensible a los rayos UV” (Berchon, M. y Giráldez, M., 2016). Tecnología inventada y patentada por el ingeniero norteamericano Charles Hull en 1984 (Ver figura 2), logrando crear así la empresa 3D Systems. Esto supuso el comienzo de lo que hoy se conoce como la cuarta revolución industrial.

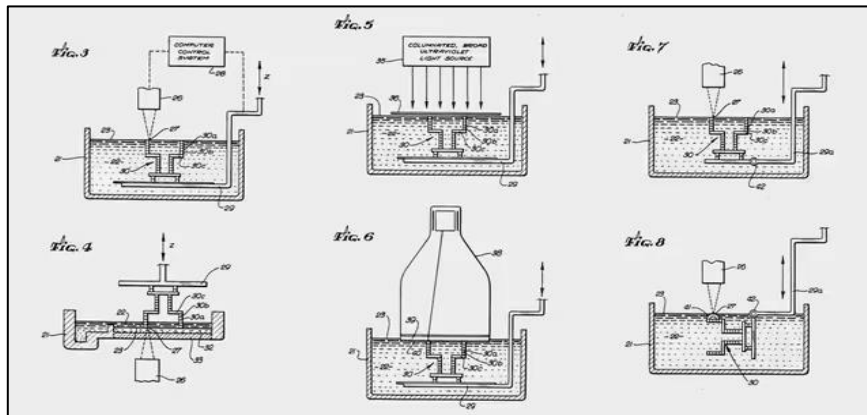


Figura 2: Patente impresora SLA Chuck Hull (1984)

Fuente: 3D Systems.

Desde entonces, la fabricación aditiva ha ido perfeccionándose y adquiriendo cada vez más protagonismo. A la técnica de estereolitografía, se fueron sumando otras más avanzadas; como Sinterización Selectiva por Láser (SLS), FDM (Fused Deposition Modeling), Inyección aglutinantes (Binder Jetting), sinterización de metal por láser directo, material jetting, fusión por haz de electrones o impresión DLP (Digital Light Processing).

2.2.2 Beneficios

La fabricación aditiva o impresión 3D, se puede utilizar para diferentes etapas en la fabricación de alguna pieza o producto, desde el diseño inicial hasta el producto terminado. Según Bordignon F, Iglesias A. y Hahn A. “En la etapa de diseño, por ejemplo, es fundamental la elaboración de un prototipo para poner a prueba sus dimensiones, su ergonomía y su utilidad práctica” (2018).

Por otra parte, Bordignon F, Iglesias A. y Hahn A. también mencionan que “la tecnología de impresión 3D permite fabricar productos personalizados que se ajusten a las necesidades de los usuarios, sin que esto aumente el costo final de la pieza ni sea requerida una reestructuración o reforma en la máquina que la construye” (2018), cosa que sí sucede en la fabricación tradicional. Esto trae consigo la ventaja de poseer una muy buena flexibilidad para la fabricación de piezas muy diversas sin tener que

modificar de alguna manera la máquina, un punto muy importante para el desarrollo de piezas o productos en la actualidad.

Teniendo en cuenta lo mencionado en los apartados anteriores, algunos de los beneficios generales identificables que puede proporcionar la fabricación aditiva a la industria de la manufactura en serie o masa se ilustran a continuación.

- Producción más rápida y más económica: La fabricación aditiva logra reducir hasta un 90% los tiempos de producción. Esto permite intensificar el ritmo de producción y reducir el coste por pieza, esto se debe a que los materiales que se utilizan para la impresión de piezas son a su vez económicos dependiendo de la industria.
- Producciones a menor escala y a medida: La relación histórica entre volumen de producción y coste no se cumple en la manufactura aditiva. Con la impresión 3D, la producción de piezas a medida y en tiradas de bajo volumen se convierte en una opción rentable y viable.
- Reducción de costes logísticos: La posibilidad de fabricar piezas mediante procedimientos digitales repercute directamente en una reducción drástica de los costes de almacenaje y de logística. En la actualidad, se puede disponer de un stock virtual y fabricar “en el momento” aquella pieza que se requiera.
- Ahorro energético: Esto se debe a que las piezas fabricadas digitalmente pesan mucho menos y esto implica que las máquinas necesitan mucha menos energía para funcionar.
- Fabricación más sostenible: Mediante este tipo de fabricación se reducen los consumos energéticos y los costes de transporte, ya que la materia prima ocupa menos espacio y se transporta de forma más sencilla. Además, la producción local se abarata y se evita la subcontratación de producciones en otros países. Todo ello consigue reducir de manera importante las emisiones contaminantes derivadas de los procesos productivos.

Por otro lado, cabe mencionar que algunas tecnologías de fabricación aditiva, como el SLS o la MJF, permiten reciclar una importante parte del material que se ha usado

durante el proceso de impresión. En general, la manufactura aditiva consigue una producción más limpia y más respetuosa con el medio ambiente. (Electrónica Edimar, 2020).

Es de hacer notar que, la impresión 3D posee una gran ventaja con respecto a los demás procesos de manufactura y fabricación en términos de flexibilidad y maximización de los campos de aplicación en donde pueden ser útiles, ya que se pueden utilizar en otras industrias, como menciona Autodesk, Inc. “Las aleaciones de plástico y metal son los materiales más utilizados para la impresión 3D, pero este proceso puede funcionar prácticamente con cualquier elemento, desde hormigón hasta tejidos vivos.” pudiendo así proporcionar ventajas médicas y estructurales. Con esta técnica se pueden generar de forma eficaz piezas únicas y crear geometrías de gran complejidad que solo son posibles con este método

2.2.3 Clasificación de impresoras 3D.

Según Bordignon F, Iglesias A. y Hahn A. En su guía de apoyo y enseñanza sobre esta tecnología, indican que; “Las impresoras 3D suelen clasificarse, según su uso y prestaciones en; domésticas (o de escritorio) e industriales. Sus usos son muy variados, en parte debido a la diversidad de tecnologías y materiales de impresión” (2018).

Las domésticas como su nombre lo indica son aquellas que tienen aplicación en modelos o piezas que no requieren características, detalles y propiedades muy específicas y por lo tanto son las que se consideran que pueden ser usadas en casa. Mientras que las industriales son aquellas que generan piezas o modelos que poseen características específicas previamente diseñadas para cumplir algún rol dentro de un ensamblaje o mecanismo a nivel industrial.

A su vez Bordignon F. indica que “si bien muchas de estas aplicaciones son mejoras de procesos existentes, también asoman usos más experimentales en áreas como la construcción de casas, la producción de tejidos humanos y la fabricación de repuestos en lugares extremos aislados” (2018).

Un ejemplo claro de esto puede ser el caso del proceso de fabricación aditiva realizado en la Estación Internacional Espacial de la NASA en el año 2021, donde

mediante el estudio Redwire Regolith Print (RRP por sus siglas en inglés) (Ver figura 3) demuestra la impresión 3D en la Estación Espacial utilizando un material que simula regolito, o roca suelta y suelo que se encuentra en las superficies de cuerpos planetarios como la Luna.

Además, la NASA indica que “los resultados podrían ayudar a determinar la viabilidad de utilizar el regolito como materia prima y la impresión 3D como técnica para la construcción a pedido de habitaciones y otras estructuras durante misiones de exploración espacial en el futuro” (2021). Además de ayudar a disminuir la cantidad de viajes necesarios, disminuir costos, tiempos de espera y optimizar el uso del combustible.



Figura 3: Impresora Redwire Regolith Print (R.R.P)
Fuente: NASA Ciencia (2021)

2.2.4 Tecnologías de impresión 3D.

Es de vital importancia reconocer que no existe un único tipo de impresión 3D para el gran campo de aplicación a los que puede ser sometidos, sólo un método para poder llevar a cabo el proceso o sólo un tipo de “materia prima”, sino que existe una gran gama de impresoras y de procesos que pueden ser seleccionados para su posterior uso en función de diversos parámetros de referencia como lo son; la aplicación que se le vaya a dar al producto y las condiciones de operación de la máquina buscando como siempre la condición más importante, cumplir con todos los requerimientos que

satisfagan la calidad deseada del producto. Algunos de los tipos de impresión más conocidos y utilizados mundialmente se citan posteriormente.

Algunas máquinas utilizan tecnología aditiva, por ejemplo, las que funden un material plástico o solidifican una resina artificial utilizando un láser; otras, por el contrario, utilizan una técnica sustractiva, como las que realizan esculturas a partir de un bloque macizo. Claramente, los materiales de insumo pueden variar desde plásticos a resinas, metales, vidrio, cerámicas o incluso concreto. A continuación, se procede a explicar sobre los tipos de tecnología o enfoques con los que cuenta actualmente la impresión 3D. (Bordignon F, Iglesias A. y Hahn A., 2018).

- **Aditivas:** Se basan en la superposición de un material, capa a capa, hasta llegar a la forma final de la pieza.
- **Sustractivas:** Son las que, a partir de un bloque sólido de material, extraen el exceso para dar forma a la pieza final. Por su funcionamiento existe un gran número de morfologías que no es posible realizar con esta técnica (por ejemplo, piezas monolíticas huecas).
- **Por conformado:** Son las que, a través de una serie de transformaciones sobre el material, este se modela en función de la forma buscada utilizando fuerza y moldes.
- **Híbridas:** Son las que combinan dos o más de estas tecnologías. Por ejemplo, adoptan la adición de capas de material, a las cuales luego se les sustraen las partes inútiles.

2.2.4.1 Impresión 3D por Estereolitografía (SLA)

Este proceso utiliza el principio de fotopolimerización para crear modelos 3D a partir de resinas sensibles a los rayos UV. “Basa su funcionamiento en fotopolímeros en un estado líquido viscoso que son capaces de cambiar a un estado sólido mediante la exposición a la luz”. (Bordignon F, Iglesias A. y Hahn A., 2018).

Continuando con el proceso, esta resina se solidifica mediante el paso de un láser, capa por capa, dotando con esto de mayor calidad a los modelos fabricados con esta tecnología. Restrepo S. indica que “el proceso se caracteriza por su material de

impresión líquido y por la presencia de una cubierta de protección UV (generalmente naranja, verde, rojo o amarillo)” (2017).

Una vez que la primera capa de material está solidificada, la plataforma desciende un nivel, que corresponde al grosor de una capa de impresión, y una nueva sección se solidifica. En términos generales, hay tantos ciclos de impresión como capas se requieran para obtener el volumen completo de la pieza. Con la tecnología SLA se obtienen volúmenes de producción menores en comparación con otras tecnologías. Dentro de los componentes de este tipo de máquinas se encuentran una bandeja de resina, una plataforma móvil (eje Z), un sistema de raspado (eje X), un láser UV, óptica de enfoque y un espejo galvanométrico (ejes X e Y).

Al finalizar por completo la impresión, la pieza o el modelo es sometido a una etapa de limpieza con un disolvente (generalmente alcohol isopropílico también conocido como isopropanol), esto es necesario para eliminar el exceso de resina no solidificada. A diferencia de otras técnicas tales como la sinterización selectiva por láser (SLS), la Deposición de Material Fundido (FDM) y la impresión PolyJet 3D, se requiere un post procesamiento para finalizar el proceso de fotopolimerización y conseguir la máxima fuerza del material (Ver figura 4).

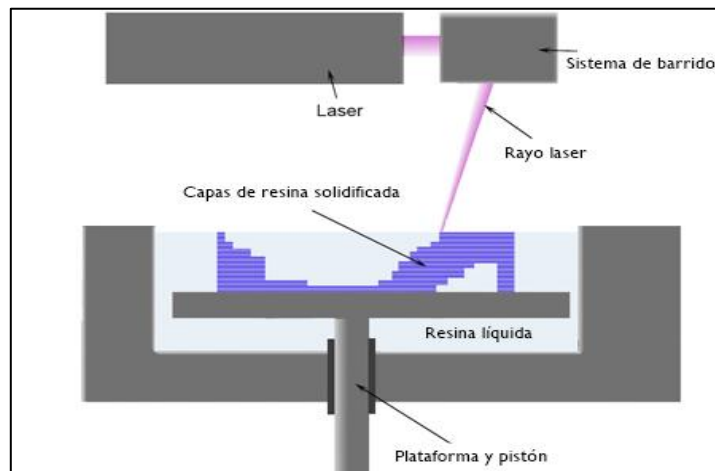


Figura 4: Esquema de un aparato de estereolitografía.
Fuente: Bordignon F, Iglesias A. y Hahn A. (2018)

2.2.4.2 Impresión 3D por Sinterización Selectiva por Láser (SLS)

Es otra de las técnicas de prototipado rápido que fabrica las piezas por capas. Formlaps (2021) afirma que “Es un proceso que utiliza un láser para sintetizar pequeñas partículas de polímero en polvo y convertirlo en una estructura sólida basada en un modelo 3D”. El funcionamiento es muy parecido al proceso SLA, en el sentido que ambos solidifican funden y solidifican el material mediante agentes ópticos, la diferencia entre ambos es que la Sinterización Selectiva por Láser básicamente utiliza material en polvo (Puede ser polimérico o metálico) y no resina para la fabricación de la pieza u objeto, no necesita de un soporte para la pieza, ya que el polvo ubicado alrededor sirve de apoyo y utilizan sistemas de fundición y/o solidificación distintos. (Bordignon F, Iglesias A. y Hahn A., 2018)

Los dos sistemas de lecho de polvo más comunes en la actualidad son los basados en material plástico, que normalmente reciben el nombre de sistemas SLS, y los basados en metal, conocidos como sinterizado directo de metal por láser (DMLS) o fusión selectiva por láser (SLM) Formlaps (2021). Hasta hace poco, los sistemas de fusión tanto del plástico como del metal tenían un coste prohibitivo y resultaban difíciles de manejar, lo que limitaba su uso a pequeñas cantidades de alto valor o piezas a medida, como componentes para la industria aeroespacial o dispositivos médicos. Además, cabe resaltar que “las piezas terminadas con este método tendrán una densidad que depende más de la potencia pico del láser que del tiempo de exposición”. (Bordignon F, Iglesias A. y Hahn A., 2018).

Recientemente, la innovación en este campo ha experimentado un rápido crecimiento y parece que los sistemas SLS basados en plástico están siguiendo los pasos de otras tecnologías de impresión 3D, como la estereolitografía (SLA) o el modelado por deposición fundida (FDM), para convertirse en sistemas accesibles o compactos de gran aceptación (Ver figura 5)

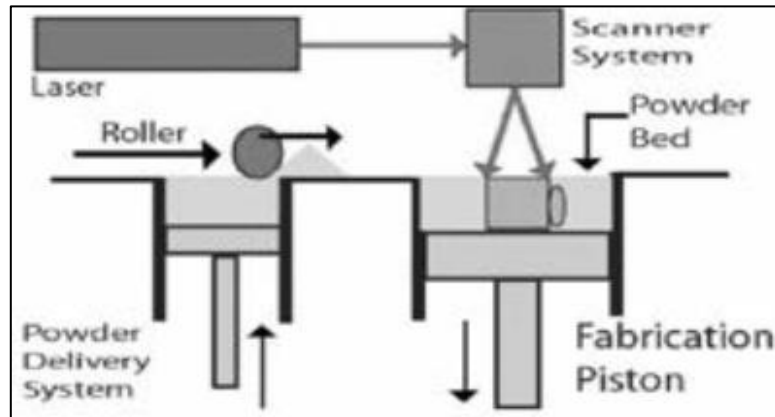


Figura 5: Sinterizado selectivo por láser
Fuente: Velasco, E. y Revelo, D. (2019)

2.2.4.3 Impresión por deposición de material fundido (FDM)

Según el fabricante de impresoras 3D Materialise NV con sede en Bélgica, “el FDM es una tecnología basada en filamentos en la que un cabezal controlado mediante temperatura realiza una extrusión de forma precisa de un material termoplástico capa a capa sobre una plataforma de construcción”. En este proceso, el material se encuentra inicialmente almacenado en rollos y en estado sólido, el mismo se funde al pasar por un pequeño dispositivo denominado hotend que eleva su temperatura y logra llevar el material a su punto de fusión, cambiando así su estado de sólido a líquido.

Posteriormente, el material ya fundido es expulsado mediante un cabezal inyector contra una superficie de soporte plana donde se empieza a modelar la pieza capa por capa hasta obtener el producto final. Existen diversos tipos de filamento a utilizar en este tipo de impresión, la aplicación de cada uno depende directamente de la aplicación que tendrá la pieza, teniendo en cuenta diversas propiedades como resistencia mecánica, flexibilidad, temperatura del ambiente donde se ubicará, entre otros.

Materialise NV indica que “las principales ventajas que ofrece el FDM es que utiliza materiales estandarizados y muy duraderos, la estabilidad de sus propiedades mecánicas a lo largo del tiempo y la calidad de sus piezas. Los materiales termoplásticos para procesos de producción que se utilizan en el FDM son adecuados

para prototipos funcionales detallados, herramientas de fabricación duraderas y volúmenes reducidos de piezas.”

El proceso típico de fabricación mediante impresión FDM requiere de un material de construcción (que es en el que constituirá la pieza deseada) y un material de apoyo, el cual se requiere para dar apoyo y soporte a la estructura que se desea realizar, este tipo de material es requerido, habitualmente, por salientes o socavados. Dentro de los materiales compatibles con el proceso FDM se encuentran una amplia gama de polímeros termoplásticos, polímeros de policarbonato (PET, PS, ASA, PVA, nylon) y muchos filamentos compuestos que estén basados en metal, piedra, madera.

La versatilidad de este proceso permite plasmar interesantes propiedades mecánicas al elemento fabricado, tales como conductividad, resistencia a temperaturas o condiciones extremas, entre otros. Además, si se reemplaza el extrusor de la impresora 3D con un sistema de jeringa, es posible la creación de piezas de cerámica, arcilla o materiales alimenticios, como el chocolate o el jarabe (Ver figura 6).

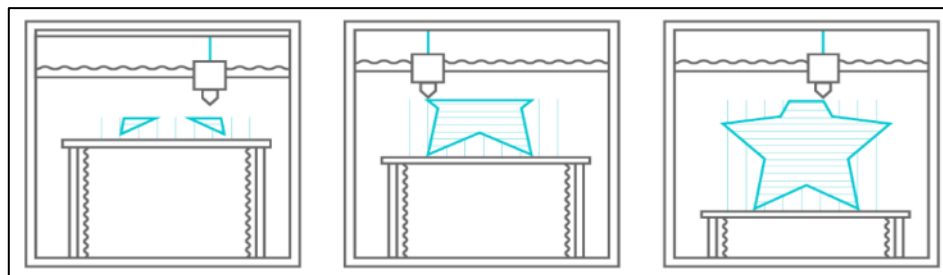


Figura 6: Modelado por deposición fundida.

Fuente: Abax 3D Tech

Existen varios tipos de impresoras 3D que funcionan bajo la deposición de material fundido, pero que poseen ciertas diferencias en cuanto al mecanismo de movimiento del cabezal. Dentro de esta clasificación se encuentran las siguientes:

- **Impresoras FDM cartesianas:**

Este tipo es de las más comunes, debido principalmente a su bajo costo de fabricación. Utilizan el sistema de coordenadas cartesianas (los ejes ortogonales X, Y, Z), los cuales se utilizan de referencia a la hora de determinar la dirección en la cual se moverá el cabezal.

Por lo general, el cabezal de impresión se mueve en los ejes X e Y, mientras que el cabezal de impresión o la cama se mueve hacia arriba y hacia abajo en el eje Z. Algunas impresoras 3D mueven el extrusor hacia arriba y hacia abajo para cada capa, mientras que algunas impresoras 3D cartesianas hacen que la cama de impresión se mueva hacia arriba y hacia abajo. Esto crea una estructura de impresión sólida en general, que conduce a impresiones uniformes, precisas y estables (Ver figura 7).

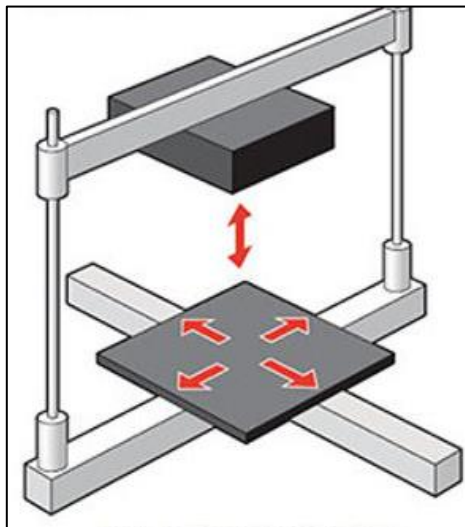


Figura 7: Impresora 3D cartesiana.
Fuente: 3D builders

- **Impresoras FDM polares:**

Permiten velocidades altas de impresión, la principal diferencia entre este tipo de impresora y la cartesiana es que la impresora delta utiliza como sistema de referencia las coordenadas polares, es decir, las coordenadas se encuentran descritas en puntos en una cuadrícula circular en lugar de un cuadrado, se encuentran determinados por ángulo y longitud. Son ideales para la fabricación de objetos que sigan una espiral (Ver figura 8).



Figura 8: Impresoras FDM polares.

Fuente: Imprimalia 3D

- **Impresoras FDM delta:**

Este sistema de impresión trabaja con coordenadas cartesianas y utiliza una cama o plataforma de impresión circular, sus dimensiones se encuentran limitadas por el diámetro de la base y la altura, El extrusor que se fija y controla a través de tres brazos articulados en posición triangular (delta) que le permiten desplazarse por el área de impresión (Ver figura 9).

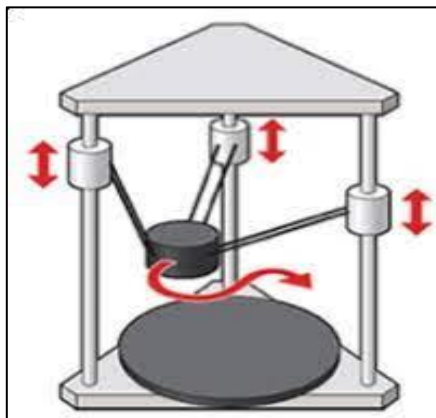


Figura 9: Impresora FDM delta

Fuente: 3D builders

- **Impresoras 3D con brazos robóticos:**

Es una tecnología que se encuentra aún en fase de desarrollo, presenta ciertas características llamativas en cuanto a posibilidades para el desarrollo de diseños

complejos, pero la calidad de impresión es, por el momento, notablemente más baja que la conseguida con impresoras cartesianas o polares (Ver figura 10).



Figura 10: Impresora 3d con brazo robótico.

Fuente: Yankodesing (2019)

Algunas especificaciones técnicas importantes a tener en cuenta en el proceso de impresión por deposición de material fundido se establecen en las figuras 11 y 12.

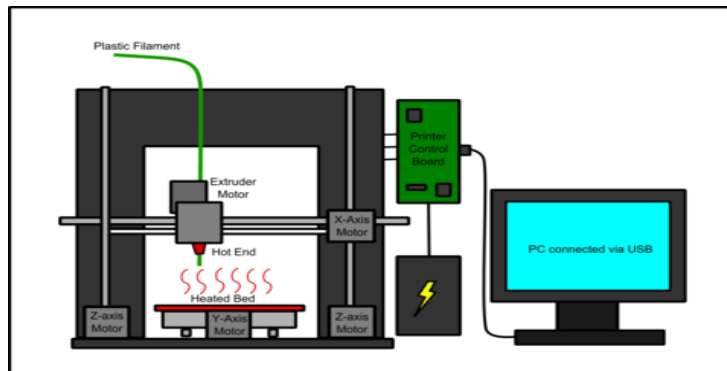


Figura 11: Esquema del proceso de impresión FDM.

Fuente: Impresoras3d (2017)

Tiempo de entrega estándar	Mínimo 4 días (o 48 horas para modelos que utilizan el servicio de gestión rápida), en función del tamaño de la pieza, número de componentes y grados de acabado.
Precisión estándar	± 0,15 % (con un límite inferior de ± 0,2 mm)
Grosor de la capa	0,18 - 0,33 mm (varía en función del material seleccionado)
Grosor mínimo de la pared	1 mm
Dimensiones máximas del área de construcción	No hay límites para las dimensiones, ya que los componentes pueden crearse con diferentes piezas. El tamaño máximo es maquina es de 914 x 610 x 914 mm.
Estructura de la superficie	Las piezas sin acabar suelen presentar una superficie rugosa, pero es posible aplicar cualquier tipo de acabado superficial. Las piezas producidas mediante FDM pueden pintarse y revestirse.

Figura 12: Especificaciones del proceso de impresión FDM

Fuente: Materialise (2022)

2.2.4.4 Impresión 3D por inyección (MJ) o Polyjet (PJ)

El fabricante ABAX Tech define la impresión 3D por inyección como “Una técnica que funciona con unas características similares a las de una impresión de tinta estándar” A pesar del hecho de que existan algunas similitudes, tienen una obvia diferencia; en el caso de la impresión por inyección se van construyendo numerosas capas sobre una, para crear, de esa manera, una pieza determinada.

La tecnología hace uso principalmente de resinas fotocurables que son depositadas por medio de goteo a través de cabezales de inyección (parecidas a la de una impresora de tinta) en lugares específicos y que se va solidificando una capa a la vez. La naturaleza de dicho proceso, permite fabricar piezas en multimateriales y multicolores, combinando materiales sólidos, flexibles y transparentes. La tecnología Polyjet (PJ) va colocando las gotas y solidificando (Ver figura 13).

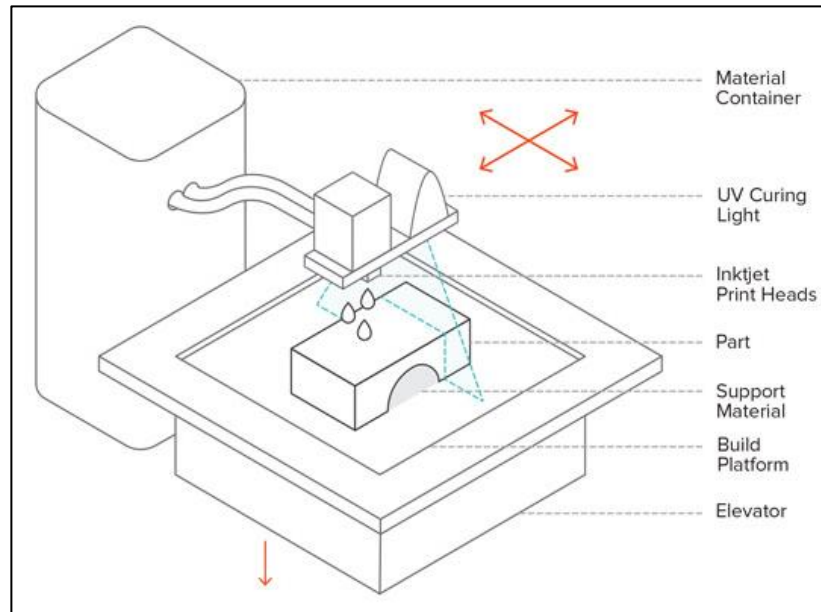


Figura 13: Impresión 3D por inyección de material.
Fuente: 3dHubs.

2.2.5 Proceso de impresión 3D mediante el método FDM.

Como se ha mencionado en el transcurso del presente proyecto de investigación, de manera general, el objetivo de la impresión 3D transformar un diseño, realizado a través de una computadora, en un objeto físico utilizando simplemente una única máquina. Claramente, para obtener dicha impresión “es necesario desarrollar un diseño mental preliminar, luego plasmarlo en un diseño digital y finalmente transformarlo en objeto físico”. (Bordignon F, Iglesias A. y Hahn A., 2018).

En la figura que se presenta a continuación se detalla de forma general el proceso a seguir para la realización del proceso, siendo el acabado un tema bastante específico según el tipo de proceso que se esté utilizando. (Ver figura 14).



Figura 14: Proceso de impresión 3D.
Fuente: Bordignon F, Iglesias A. y Hahn A. (2018)

Siguiendo lo indicado, el proceso comienza con la necesidad de transferir una idea desde el diseño a la realidad. “La concepción de esta idea puede surgir de un estudio exploratorio previo vinculado a un problema complejo”, una recomendación en esta etapa del proceso es que, para conceptualizar las ideas de mejor manera, el diseño en papel del objeto acotado con medidas precisas es de gran ayuda, aunque para aplicaciones menos exigentes puede ser suficiente tener un boceto vago. (Bordignon F, Iglesias A. y Hahn A., 2018).

De todas las ideas que surjan se escoge la más adecuada, luego de que se conceptualiza en su totalidad la idea, se comienza con el diseño del objeto utilizando algún software CAD (como SolidWorks, TinkerCAD o Blender, por ejemplo)”. (Restrepo, S., 2017). Una vez que se cuenta con el modelo 3D, es necesario que un software especializado, conocido como slicer, procese el archivo y lo transforme a código G. “Este código, es el archivo propiamente dicho de la impresión 3D, ya que es el que interpreta la impresora y, en general, es el lenguaje descriptivo que utilizan las máquinas de control numérico (CNC) para realizar los trabajos de materialización”. (Bordignon F, Iglesias A. y Hahn A. 2018).

Por lo tanto, se puede decir que el código G es el lenguaje que se utiliza para poder comunicar a las máquinas lo que se requiere para realizar el proceso de impresión. En otras palabras, en dicha etapa etapa se programan todas las variables e instrucciones para el correcto funcionamiento de la impresora. Siendo uno de los pasos más importantes del proceso.

Para simplificar la estructura el formato STL descompone todas las geometrías y las reduce a una sucesión de triángulos de diferentes formas y tamaños, que se adaptan a la geometría del objeto, dibujando exactamente todos sus contornos. Por lo que, la estructura en dicho punto, se encuentra compuesta en su totalidad por triángulos y sus superficies dejan de ser reconocidas por el programa de CAD, pasando a ser una entidad de malla.

Por ejemplo, para un modelo simple, como el cuadrado que se muestra en la **figura 15 (a)**, se puede aproximar a sus superficies con doce triángulos, como se muestra en la **figura 15 (b)**. Cuanto más compleja sea superficie, más triángulos se deberán realizar, como se muestra en la **figura 15 (c)**.

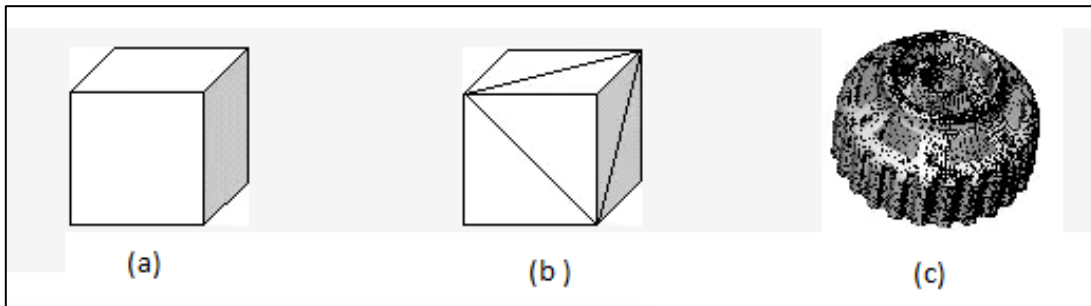


Figura 15: (a) Bloque básico, (b) aproximación de superficies, (c) ejemplo de figura compleja

Fuente: 3D Systems (202)

Regidor A. (2016) también indica lo siguiente:

“Como regla general, al cambiar ciertas opciones, como la tolerancia de la cuerda o el control angular, se modificará la resolución del archivo STL. Cuanto mayor sea el archivo STL, más triángulos se generarán en la superficie del modelo. Para geometrías simples (con pocas curvas), es posible que el archivo sea de tan solo algunos cientos de kilobytes. Para modelos complejos, los archivos de tamaño entre 1 y 5 MB generarán piezas de buena calidad. Para muchas geometrías, los archivos de tamaño mayor a 5 MB son innecesarios y, a menudo, solo implican más tiempo para obtener su cotización y recibir las piezas”.

En adición a lo anterior, el paso de transformación del archivo de la pieza modelada en tres dimensiones al archivo “.stl” es uno de los pasos claves dentro del proceso de funcionamiento operativo de la impresora. Esto se debe a que, gracias a dicho archivo, el programa slicer logra procesar o identificar la pieza para que luego de haber realizado la configuración de los parámetros dentro de dicho software, el mismo logre segmentar la pieza a imprimir en un número determinado de capas y así armar el Código G que establecerá el funcionamiento de la impresora.

Considerando lo antes mencionado, en términos generales, la diferencia principal entre dichos formatos es la manera en la que se muestra o en la que se encuentra el

contenido del archivo. Al manejar extensiones “.ipt” y “.iam” el archivo internamente contiene la pieza modelada en tres dimensiones en su forma natural o normal que puede ser procesada y modificada dentro de otros programas CAD si son compatibles con la extensión. Mientras que el contenido que manejan los archivos “.stl” son los que se encargan de proporcionar la superficie mallada de la pieza a modelar para lograr configurar el proceso de identificación y slicing.

Una vez finalizada la impresión, es momento de realizar los acabados finales; si hace falta, se remueve el material de soporte, se liman asperezas y se pueden aplicar distintos químicos para mejorar la presentación de la pieza. El flujograma del proceso de impresión 3D se describe a continuación. (Ver figura 16).

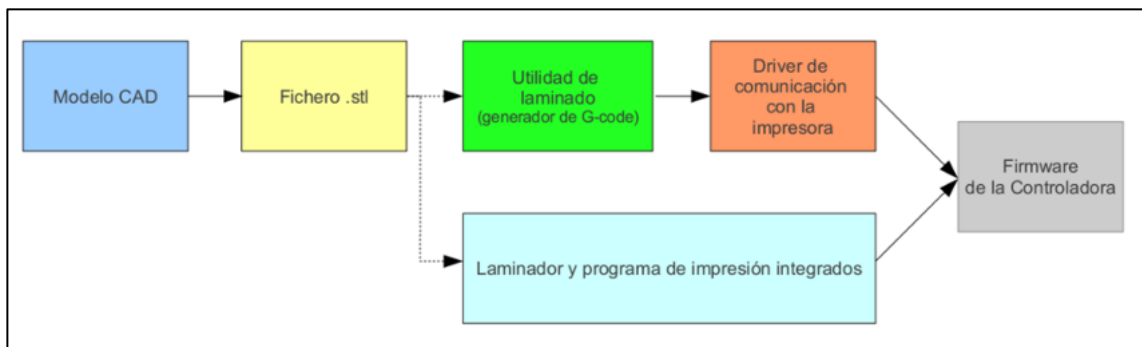


Figura 16: Flujograma del proceso de impresión 3D.

Fuente: Bordignon F, Iglesias A. y Hahn A. (2018)

2.2.6 Lenguajes de control numérico computarizado.

Se puede definir el sistema operativo de la impresora como un lenguaje que debe ser programado y adecuado para que, al proporcionar instrucciones, la impresora pueda decodificarlas y transformarlas en movimiento, funcionamiento y deposición de material, a través de la perfecta armonía de todos sus componentes, tanto mecánicos como electrónicos.

Existen distintos lenguajes para la programación y codificación de movimientos de una impresora 3D, cada uno presenta sus ventajas y desventajas. El G-Code representa uno de los lenguajes de control numérico más utilizados en equipos de fabricación automatizada, debido a ciertas facilidades que presenta en su implementación y comprensión a la hora de comenzar a programar con él, por lo que

resulta también atractivo para impresoras 3D DIY (Do it Yourself), desarrolladas por entusiastas.

En tal sentido, F. Bordignon, A. Iglesias y A. Hahn (2018) describen el G-code de la siguiente manera: “Se puede afirmar que el G-code o código G es en realidad el lenguaje mediante el cual las personas pueden decirle a las máquinas o herramientas controladas por computadora qué hacer y cómo hacerlo”. Es por ello que, resulta indispensable la comprensión del lenguaje de control que se implementará en la impresora 3D, para así seleccionar posteriormente los demás procesos que completan los pasos para lograr impresión, como lo es el software para realizar el slicing de la pieza.

Un aspecto en común entre varios lenguajes de control numérico se encuentra relacionado con el hecho de que utilizan números y letras en un orden específico y con ciertas combinaciones, los cuales permiten establecer dimensiones, tiempo, temperatura, velocidades, entre otros aspectos, todo ello resumido en líneas de código. Además del G-Code existen también otros lenguajes de control, como el X3G, que basa su funcionamiento en código binario, es decir, trabaja solamente con ceros y unos, la comprensión de dicho tipo de lenguaje resulta más complicada,

El G-Code cuenta con una variedad de comandos diferentes, que pueden combinarse en una línea de código para completar una instrucción a la máquina, como, por ejemplo, el código que se establece a continuación.

G1 X0 Y0 F2200

Con la línea de código establecida anteriormente, se le está dando la instrucción a la impresora de mover el extrusor hacia la posición X0 y Y0 de la cama caliente, a una velocidad de 2200 mm/min. Para una mejor comprensión del código G, se dispondrá una lista de los comandos pertenecientes a dicho lenguaje de control. (Ver cuadro 1)

Cuadro 1: Definición de variables en el lenguaje de control G-Code.

Letras de Código G para Impresoras 3D	
COMANDO	DESCRIPCIÓN
G = Comandos G	Comandos geométricos implementados para indicar movimientos del extrusor de la impresora 3D. Se usan para iniciar las instrucciones de movimientos a través de la plataforma de impresión.
M = Comandos M	Comandos máquina no geométricos, usados para iniciar acciones que no están asociadas a movimientos sobre la plataforma de impresión. Encender/apagar, calentar/enfriar, entre otras.
X/Y/Z = Ejes coordenados	Indican que el extrusor debe moverse en alguno de los ejes X, Y o Z.
F = Velocidad del movimiento	Se usa para indicar la velocidad a la que debe moverse el extrusor de la impresora 3D.
E = Extrusión de filamento	Se usa para indicar la cantidad de filamento que debe ser pasado a través de la boquilla del extrusor.
S = Temperatura del extrusor o velocidad del ventilador de enfriamiento	Cuando se usa con los comandos G, indica la temperatura (en grados centígrados) que debe alcanzar el extrusor. También sirve para ajustar la velocidad del ventilador que enfría el objeto impreso, cuando se usa acompañado de los comandos M.
T = Especificar extrusor.	Cuando se cuenta con más de 1 extrusor, es posible especificar cual extrusor se usará en cada comando específico. Con T0, normalmente, se solicita el extrusor derecho. T1 se suele usar para pedir el extrusor izquierdo.
El signo de punto y coma (;)	Se usa para agregar comentarios al código sin que esto afecte la programación. Es decir, el compilador no toma en cuenta nada que esté después del punto y coma.
NOTA: Cada letra va acompañada de uno o varios números que representan el valor a ejecutar o un argumento que complementa el comando.	

Fuente: impresora3dOnline (2022)

2.2.7 Softwares para realizar slicing.

F. Bordignon, A. Iglesias y A. Hahn (2018) afirman que “Cuando se transforma un archivo STL (u OBJ) a código G, se está convirtiendo un modelo 3D en una serie de pasos que va a tener que seguir la impresora para construir ese objeto”. El proceso de slicing representa una de las etapas más críticas en la impresión 3D, ya que, en dicho

punto es donde se realiza la conversión de la pieza diseñada mediante un software CAD en tres dimensiones a un formato legible e interpretable por la impresora 3D.

A través del slicing, además, se logra la segmentación de la pieza en un número determinado de capas, dependiendo de la precisión escogida para la impresión, además de la cantidad de relleno o también llamado porcentaje de “infill”, con un 0% de relleno se genera una pieza totalmente hueca y con carencias estructurales, al aumentar el porcentaje, también aumentan las características de resistencia de la pieza, debido a que se deposita mayor cantidad de material entre cada pared y tapa del elemento, lo que se traduce en más material de deposición por capa.

Al acercarse más al 100 % de relleno, se estaría generando un elemento totalmente macizo. Es de hacer notar que, mientras mayor cantidad de relleno tenga la pieza, mayores serán los costos y el tiempo de impresión.

En tal sentido, mediante el slicing se logra la sincronización de las características de funcionamiento de la impresora con el programa slicer, generando así las líneas de código adecuadas según el tipo de impresora implementada. Las instrucciones proporcionadas por el programa slicer llegan a ser tan precisas que pueden definir la temperatura de precalentamiento del extrusor, la velocidad del ventilador para enfriar el sistema de extrusión, la velocidad de deposición, temperatura de la cama caliente y cualquier otra variable que se encuentre relacionada con el funcionamiento de la impresora 3D.

2.2.7.1 Ultimaker Cura.

Cura es un software de slicing para máquinas FDM, libre y gratuito, desarrollado por la empresa de impresoras 3D Ultimaker, quienes son aún los encargados de llevar a cabo las actualizaciones y adelantos acorde a las nuevas corrientes que van surgiendo en lo relacionado a la impresión 3D.

A. Locker (2021) establece que el Cura es “Adecuado para novatos y expertos por igual. Como principiante, solamente verás los principales ajustes. Como experto, dispones de más de 200 ajustes para manipular. La interfaz de usuario gráfica es rápida: utilizando algunos trucos, incluso puedes gestionar impresiones en dos materiales”.

De lo descrito anteriormente, es importante resaltar la versatilidad con la que cuenta el programa, proporcionando la información adecuada para el usuario novato que no posee conocimientos avanzados en el desarrollo de la impresión, pero a su vez, permite el acceso a sectores de configuración idóneos para usuarios considerados expertos o que poseen un mayor manejo de las variables e instrumentos de impresión 3D, además de ello, la interface del software resulta agradable, intuitiva, permitiendo inclusive, observar los movimientos del extrusor a medida que va depositando el material. (Ver figura 17)

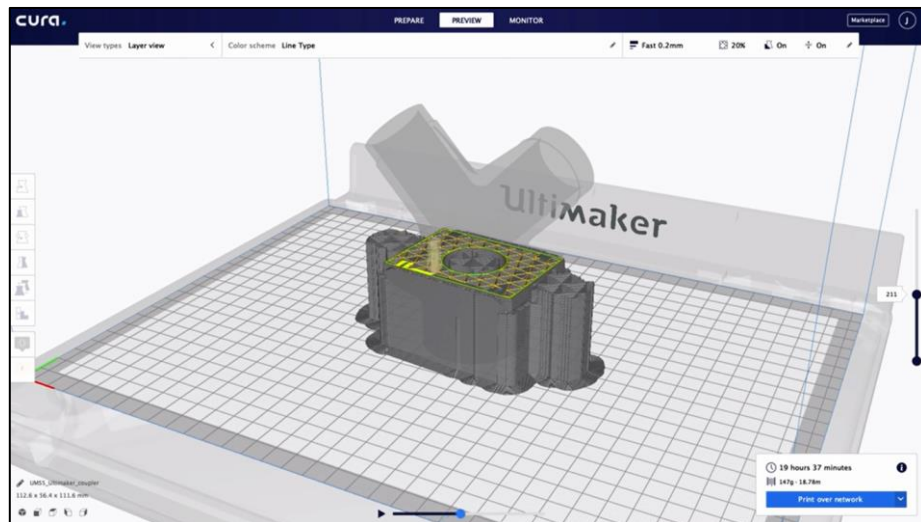


Figura 17: Interfaz del software de slicing Ultimaker Cura.

Fuente: Ultimaker (2022).

2.2.7.2 Netfabb.

3dnatives afirma que Netfabb: “Es un software de impresión 3D que tiene la finalidad de pasar sin problemas del diseño a la fabricación”, además de ello, resalta que “Podríamos dividir la mayoría de sus características en 4 categorías: preparación de la construcción, optimización del diseño para la fabricación aditiva, la integración de la máquina y, por último, la simulación”

Netfabb es un programa distribuido por la empresa Autodesk, especializada en el desarrollo de software CAD, como lo es el AutoCAD. Netfabb, por su parte, representa una herramienta sumamente útil en el desarrollo de procesos de impresión 3D, ya que

no solamente ofrece la posibilidad de realizar el slicing de la pieza, sino que también permite controlar las diversas condiciones que intervienen en el proceso de impresión.

Estos parámetros van desde el de diseño, pasando por la preparación y optimización del proceso según la pieza a fabricar y culminando con la posibilidad de simular el comportamiento del material en la impresión, considerando características mecánicas del mismo dependiendo de la temperatura y el tipo de impresión implementada. Todas las herramientas que ofrece Netfabb permiten reducir el porcentaje de error en el transcurso del proceso de impresión, ya que, permite estimar qué sucederá inclusive antes de comenzar a imprimir. (Ver figura 18)

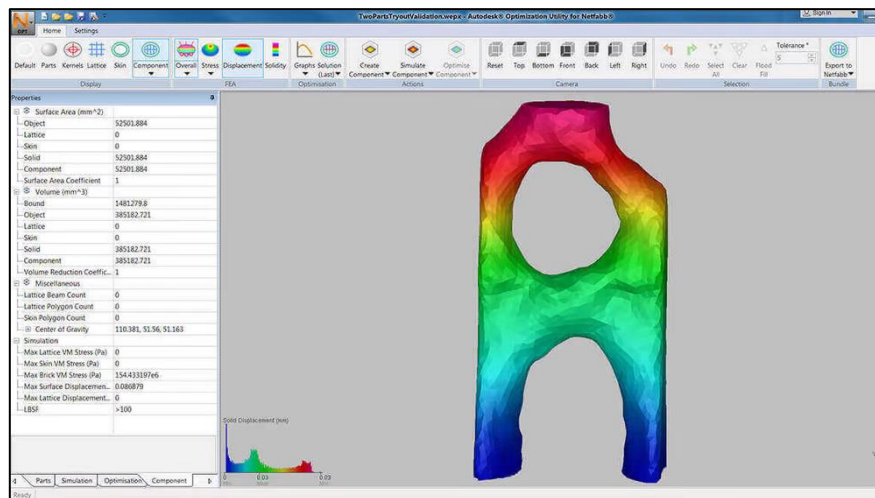


Figura 18: Interfaz del Netfabb.

Fuente: Autodesk (2022)

2.2.7.3 Repetier Host.

Repetier Host representa un software de desarrollo libre, gratuito y versátil que permite realizar procesos de slicing para impresión 3D FDM, cuenta con diversos motores slicers, como el Cura Engine, Slic3r, Skeinforge y Prusa Slicer. El programa, además, permite realizar configuraciones en cada una de las variables que pueden intervenir en el proceso de impresión 3D, con el programa se puede también visualizar el resultado que tendrá el proceso de impresión capa por capa, antes de comenzar a imprimir.

Adicionalmente, permite la edición y visualización del Código G luego de haber efectuado el slicing, posee también controles manuales para la impresora, en caso de que se requiera desactivar el movimiento automático. Repetier, en su página oficial, establece que “Repetier-Host es fácil de usar, incluso para principiantes, pero le brinda control total de su impresora, rebanadora y proceso de impresión si es necesario.” De la misma forma, afirman que “Esta es la razón por la que puedes imprimir cualquier filamento en perfecta calidad como PLA, ABS, PETG, chocolate o metal, si el hardware de tu impresora lo admite. Las empresas de biotecnología incluso imprimen órganos con Repetier-Host”

En tal sentido, Repetier Host es un software bastante completo para el control de un proceso de impresión 3D, fácil de utilizar e ideal para proyectos desarrollados por entusiastas, como los de la comunidad RepRap, gracias a su sencilla interfaz y a la compatibilidad que tiene con la mayoría de impresoras 3D en el mercado. El programa cuenta, además, con la capacidad de funcionar como un servidor remoto para controlar todos los parámetros desde la distancia, sin necesidad de realizar conexiones análogas. (Ver figura 19)

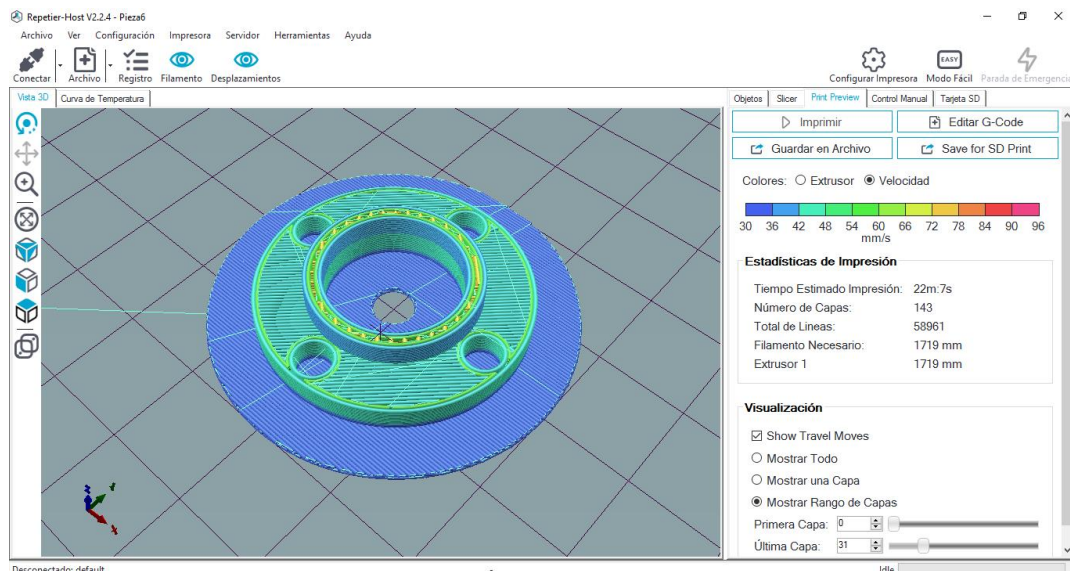


Figura 19: Interfaz de Repetier Host.
Fuente: Repetier Software (2022)

2.2.8 Proyecto RepRap.

El movimiento RepRap representa un grupo de entusiastas abocados a la prosecución de los adelantos tecnológicos relacionados con la impresión 3D, diseñando y ensamblando impresoras 3D de código abierto, replicables fácilmente y a las que puede acceder cualquier individuo que decida enlistarse en alguna de las comunidades que forman parte de dicho proyecto.

RepRap fue fundado por el Dr. Adrian Bowyer en el año 2005, quien además fungía como profesor de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Bath, en el Reino Unido. La idea del proyecto se basa en la fabricación de impresoras 3D de tipo autorreplicables, lo que quiere decir que la impresora puede imprimir las distintas piezas que la conforman para así generar una máquina nueva.

La idea del proyecto se basa en el hecho de que no es necesario comprar una impresora 3D, sino fabricarla mediante los datos, planos, herramientas y distintos otros elementos que proporciona de manera gratuita la comunidad, facilitando así el acceso a toda la información referente a la impresión 3D y sus distintos principios de funcionamiento, además de proporcionar datos de la propia impresora, algunas comunidades pertenecientes al movimiento RepRap plasman en sus portales y foros información concerniente a distribuidores y lugares donde puedan conseguirse cada una de las piezas requeridas para la construcción de la máquina, según la ubicación donde se quiera realizar dicha acción.

2.2.9 Cálculos necesarios para el diseño de la impresora.

2.2.9.1 Resistencia del mecanismo de movimiento de los ejes X e Y.

Para efectos de cálculo, el criterio de diseño a utilizar es el de las vigas estáticas en flexión, en la figura 20 se puede observar la distribución de esfuerzos a lo largo de la sección transversal del eje en función del criterio mencionado.

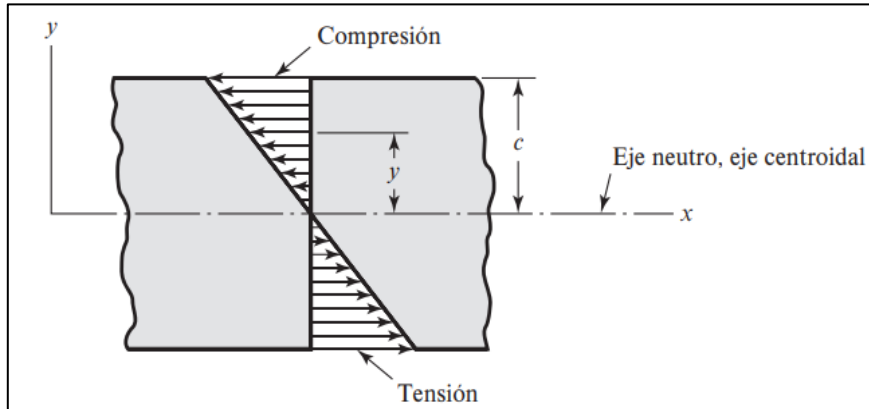


Figura 20: Distribución de esfuerzo en flexión

Fuente: Budynas, R (2018)

Considerando lo anterior, el diámetro de los ejes depende directamente del momento flector al que están sometidos, por tal razón se utiliza la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{M_f * r}{I} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (\text{Ec. 2})$$

Al sustituir y unificar las ecuaciones 1 y 2, se obtiene la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{M_f * 32}{\pi * d^3} \quad (\text{Ec. 3})$$

Al despejar para el diámetro se tiene que:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * M_f}{\pi * \sigma}} \quad (\text{Ec. 4})$$

El esfuerzo de trabajo resultante en el mecanismo debe ser menor que la división entre el límite de fluencia del material utilizado y el factor de seguridad para el diseño seleccionado, de donde se obtiene la ecuación 5

$$\sigma_{trab} < \frac{S_y}{N} \quad (\text{Ec. 5})$$

Para determinar el valor del momento flector máximo se sigue el mismo criterio donde se tiene que el valor máximo se obtiene con la siguiente expresión:

$$M_f = \frac{PL}{4} \quad (\text{Ec. 6})$$

- Desplazamiento Eje X

$$\Delta D_x = \frac{N_x P_c}{P_m} n \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

N_x = Número de dientes de la polea motriz

P_c = Paso de la correa dentada

P_m = Número de pasos por vuelta del motor

n = Pasos para el movimiento determinado

- Velocidad lineal y angular del eje x

$$V_x = \omega_x r_{px} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

ω_x = Velocidad angular del motor

r_{px} = Radio de la polea motriz

- Fuerza necesaria en el sistema

$$F_x = \frac{W}{\mu} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

W = Peso total del carro en el eje x

μ = Coeficiente de fricción

- Torque necesario para mover el sistema

$$T_x = F_x r_{px} \quad (\text{Ec. 10})$$

Las expresiones descritas anteriormente evalúan el comportamiento del sistema en condiciones de velocidad constante. Para obtener resultados más precisos del comportamiento del mecanismo se debe tomar en cuenta el efecto del movimiento

uniformemente acelerado donde se toma en consideración las cargas inerciales del sistema.

Para la inercia de la carga aplicada al sistema (carro de desplazamiento) se utiliza la siguiente expresión

$$J_a = \frac{d^2 M}{4} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

d = Diámetro de la polea acoplada al motor

M = Masa a mover en el eje x

Mientras que para la inercia de los rodamientos que reciben el movimiento relativo de la polea con el eje se utiliza el método de superposición para su determinación. Este consiste en considerar un elemento sólido, en este caso un cilindro con una altura “L” y un diámetro “d” definidos y sustraerle mediante el mismo cálculo otro cilindro con altura y diámetro definidos, dando como resultado la siguiente expresión:

$$J_r = \frac{\pi \rho d^4 L}{32} \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

ρ = Densidad del material del rodamiento

d = Diámetro exterior del rodamiento

L = Espesor del rodamiento

Ahora bien, la inercia total del sistema es el resultado de la sumatoria de las inercias descritas anteriormente:

$$J_t = \sum J_i J_r = \frac{\pi \rho d^4 L}{32} \quad (\text{Ec. 13})$$

Por su parte la aceleración lineal existente al momento de arrancar o detener el motor viene dada por la derivada de la velocidad angular del motor con respecto al tiempo siguiendo las leyes que rigen la dinámica de cuerpos sólidos. Proporcionando un resultado total como se expresa a continuación

$$T_t = T_x + J_y \frac{\partial \omega}{\partial t} J_r = \frac{\pi \rho d^4 L}{32} \quad (\text{Ec. 14})$$

2.2.9.2 Volumen y peso máximos a depositar por la impresora.

Para la determinación del volumen máximo que puede depositar la impresora 3D es necesario realizar la estimación de una figura descrita como un paralelepípedo, cuyas dimensiones se encuentran relacionadas con las capacidades de movimiento máximas a alcanzar con la impresora diseñada. (Ver figura 21)

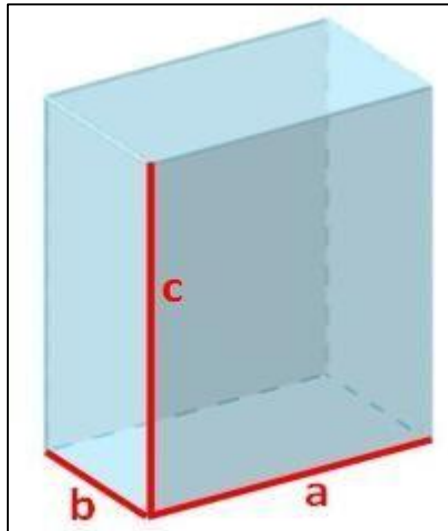


Figura 21: Lados de un paralelepípedo.

Fuente: Universoformulas (2020)

Donde el volumen puede ser calculado en base a la ecuación 15, que se obtiene con la multiplicación de su largo, ancho y alto.

$$V = a \cdot b \cdot c \quad (\text{Ec. 15})$$

El peso máximo soportado por la impresora se define en base al valor de su densidad y al volumen máximo que puede ser depositado por dicha máquina, para ello se realiza la multiplicación de ambas magnitudes.

$$P_{imp} = \rho * V \quad (\text{Ec. 16})$$

2.2.9.3 Parámetros de movimiento del eje Y en base al diámetro del eje .

Para realizar los cálculos relacionados con el movimiento del sistema en función de los elementos a seleccionar se recurren a las ecuaciones que rigen el funcionamiento de los tornillos de potencia, las cuales tienen en cuenta un conjunto de variables críticas para su operación, entre estas se encuentran las siguientes:

- i. Diámetro de paso: Este es el punto en el que entran en contacto las hélices de la tuerca con el del husillo de bolas. Como se puede observar en la Ec. 17 se toma en cuenta el diámetro total del husillo y el paso de la rosca del mismo.

$$D_p = d - \frac{p}{2} \quad (\text{Ec. 17})$$

- ii. Ángulo de avance: Es el ángulo formado por una línea helicoidal a lo largo del diámetro medio de la rosca y por un plano perpendicular al eje de la rosca. (Ver Ec. 18)

$$\lambda = \tan\left(\frac{p}{\pi D_p}\right) \quad (\text{Ec. 18})$$

- iii. Torque de ascenso y descenso de carga: Este representa el torque necesario para mover una carga en ascenso y descenso.

$$T_u = \left(\frac{FD_p}{2}\right) \left(\frac{\cos(\phi) \tan(\lambda) + f}{\cos(\phi) - f \tan(\lambda)}\right) \quad (\text{Ec. 19})$$

$$T_d = \left(\frac{FD_p}{2}\right) \left(\frac{f - \cos(\phi) \tan(\lambda)}{\cos(\phi) + f \tan(\lambda)}\right) \quad (\text{Ec. 20})$$

2.2.9.4 Parámetros de resistencia del eje Z.

El criterio de diseño para el cálculo de resistencia se basa en el de columnas bajo compresión. Esto para evitar condiciones de pandeo cuando los ejes estén sometidos a cargas verticales paralelas a su eje neutro. Tomando como referencia la teoría de diseño de columnas propuesta por Euler y citando a Budynas R. en su libro titulado “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley” se emplea la siguiente expresión: (Ver Ec. 21)

$$P_{cr} = \frac{C\pi^2 EI}{l^2} \quad (\text{Ec. 21})$$

Donde la constante C depende de las condiciones de los extremos de la siguiente manera:

Tabla 1: Condiciones de extremos para cálculo de columnas.

Condiciones de extremos de columnas	Constante C de condición de extremos		
	Valor teórico	Valor Conservador	Valor recomendado
Empotrado – Libre	0.25	0.25	0.25
Articulado – Articulado	1	1	1
Empotrado – Articulado	2	1	1.2
Empotrado – Empotrado	4	1	1.2

Fuente: Budynas, R (2018)

Realizando las sustituciones y despejes necesarios para el cálculo del diámetro mínimo posible en los ejes, queda de la siguiente manera;

$$d_{min} = \sqrt[4]{\frac{64P_{cri}L_e^2}{E\pi^3}} \quad (\text{Ec. 22})$$

2.2.9.5 Velocidad angular y potencia requerida para los motores utilizados en los mecanismos de movimiento.

El cálculo de la potencia se requiere para el desplazamiento del mecanismo, depende del torque suministrado por el motor y de las revoluciones por minuto (RPM) que es capaz de entregar el mismo, el valor de la potencia se obtiene a partir de la multiplicación de las magnitudes mencionadas anteriormente (torque y RPM). Dando como resultado la siguiente expresión: (Ver Ec. 23)

$$P = T * \omega \quad (\text{Ec. 23})$$

Donde, el valor de la velocidad angular ω se obtiene de la división entre la velocidad lineal y el radio del eje:

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (\text{Ec. 24})$$

Cálculo de pasos por revolución de los motores paso a paso

- Eje X.

Los pasos necesarios para que el motor pueda desplazar al HotEnd y al carro porta extrusor se obtienen mediante la siguiente expresión

$$\frac{P}{mm} = \frac{Pasos_{motor} * Micropasos\ del\ driver}{PASO_{correa} * Nro\ dientes_{polea}} \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde:

$Pasos_{motor}$ = Pasos que es capaz de entregar el motor

$Micropasos\ del\ driver$ = Magnitud que depende netamente del driver utilizado, referida a la cantidad de micro pasos en los que puede seccionarse un único paso del motor, siendo los más comunes desde 1/16 pasos, que quiere decir que por cada paso de motor realiza 16 micro pasos, también se encuentran los 1/32 que funcionan bajo el mismo principio.

$PASO_{correa}$ = El paso de la correa utilizada para el mecanismo

$Nro\ dientes_{polea}$ = Relacionado con la cantidad de dientes con los que cuenta la polea motriz del mecanismo

- Eje Z y Eje Y:

De manera análoga a la anterior, para determinar los pasos necesarios para desplazar la cama movable y la estructura que lleva consigo, se utiliza la siguiente expresión:

$$\frac{P}{mm} = \frac{Pasos_{motor} * Micropasos\ del\ driver}{PASO_{rosca\ tornillo}} \quad (\text{Ec. 26})$$

Donde:

$PASO_{rosca\ tornillo}$ = Al emplearse husillos de bola, depende de la rosca que posea dicho tornillo

- Extrusor

En el caso del extrusor, para calcular los pasos necesarios para desplazar 1 mm de material a lo largo del extrusor se utiliza la siguiente expresión:

$$\frac{P}{mm} = \frac{Pasos_{motor} * Micropasos\ del\ driver}{D_{p\ engr} * \pi} \quad (\text{Ec. 27})$$

Donde:

$D_{p\ engr}$ = Corresponde al diámetro de paso del engranaje principal utilizado en el extrusor.

2.2.9.6 Propiedades para funcionamiento del sistema de extrusión.

- Forma del filamento PLA.

“La importancia de la geometría del filamento en la impresora 3D FDM, se deriva del hecho de que la transferencia de calor por convección es altamente dependiente de la forma y la superficie expuesta de la masa térmica” (J. León, Torres E. 2013). De manera que, existe una relación directa entre la geometría del filamento utilizado para la impresión, la facilidad para el desarrollo de la transferencia de calor y, por último, el resultado final obtenido a través del proceso de extrusión. Al fundirse y depositarse, el cordón de material adopta una forma elíptica, donde se supone existe una distribución uniforme de la temperatura alcanzada bajo el proceso de convección. (Ver figura 22)

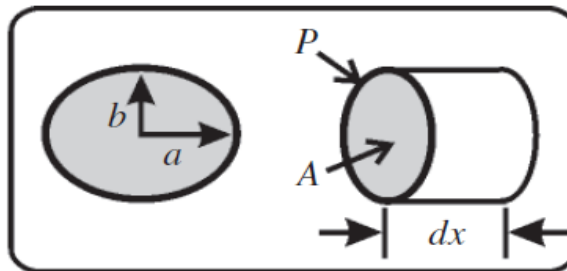


Figura 21: Morfología del filamento extruido.

Fuente: C. Bellehumeur, L. Li, Q. Sun, P. Gu, (2004)

El área y el perímetro de la elipse se describen a continuación.

$$A = \pi ab \quad (\text{Ec. 28})$$

$$P = \pi(a + b) \left(\frac{64 - 3\lambda^4}{64 - 16\lambda^2} \right) \text{ donde } \lambda = \frac{a-b}{a+b} \quad (\text{Ec. 29 y 30})$$

- Perfil de enfriamiento del material depositado.

La transferencia de calor en el proceso de deposición del material se basa en 3 consideraciones principales:

1. La distribución de la temperatura en el área de la sección transversal del filamento es uniforme.
2. Se considera una longitud de filamento semi-infinita,
3. Coeficientes de transferencia de calor por convección constantes.

El modelo matemático implementado para el análisis del enfriamiento del material, se encuentra basado en un modelo unidimensional de transferencia de calor, del que se tiene:

$$T = T_{\infty} + (T_0 - T_{\infty})e^{-mt} \quad (\text{Ec. 31})$$

Donde:

T = Temperatura del filamento.

T_{∞} = Temperatura del ambiente

T_0 = Temperatura de extrusión

t = Tiempo

$$m = \frac{\sqrt{1+4\alpha\beta}-1}{2\alpha} \quad (\text{Ec. 32})$$

Los valores de β y α se calculan a partir de las propiedades del filamento extruido.

$$\alpha = \frac{k}{\rho CA} \quad ; \quad \beta = \frac{hP}{\rho CA} \quad (\text{Ec.33 y 34})$$

Donde:

k = Conductividad térmica del material

ρ = Densidad

C = Capacidad térmica de calor

A = Área de la sección elíptica

P = Perímetro

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección

4.3.5.4 Tiempo de arranque del extrusor

Para el cálculo de la energía en forma de calor que es necesaria para calentar el disipador hasta la temperatura deseada se emplea la ecuación suministrada a continuación:

$$Q = mC_p\Delta T = mC_p(Td - Ta) \quad (\text{Ec. 35})$$

Donde:

Td =Temperatura deseada.

Ta =Temperatura ambiente.

C_p = Calor específico

Q =Transferencia de calor necesaria para alcanzar la temperatura deseada

Para el cálculo del tiempo de arranque del extrusor se toma en cuenta la transferencia de calor requerida para alcanzar la temperatura deseada y la energía calórica suministrada por el disipador \dot{Q} .

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}} \quad (\text{Ec. 36})$$

Tomando en consideración que la sección final del sistema de extrusión posee una forma cilíndrica y un agujero concéntrico por donde pasará el material, es posible calcular el volumen del cilindro a través del cual se desplazará el material para ser extruido se calcula de la siguiente forma:

$$V = \frac{\pi(D_e^2 - D_i^2)L}{4} \quad (\text{Ec. 37})$$

Flujo de material a través del extrusor.

La ecuación de conservación de la masa, considerando sistema y flujo estables, se define a continuación:

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m} \quad (\text{Ec. 38})$$

Donde:

\dot{m}_e =Flujo másico de entrada

\dot{m}_s =Flujo másico de salida

\dot{m} = Flujo másico

Ecuación de conservación de energía, despreciando pérdidas de energía cinética y energía potencial y asumiendo potencia $\dot{W} = 0$

$$\dot{Q} = \dot{m}\Delta h \quad (\text{Ec. 39})$$

$$\Delta h = C_p\Delta T \quad (\text{Ec.40})$$

Donde Δh es el cambio de entalpía y C_p es el calor específico a presión constante, ΔT representa la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de fusión.

Reemplazando el valor de la entalpía en la ecuación de conservación de energía, se tiene lo siguiente:

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p\Delta T \quad (\text{Ec. 41})$$

Despejando el flujo másico:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{C_p\Delta T} \quad (\text{Ec. 42})$$

El flujo másico obtenido de la ecuación anterior, resulta de utilidad para poder realizar el cálculo del caudal, cuya fórmula se establece a continuación:

$$Q^* = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (\text{Ec. 43})$$

Donde:

ρ =Densidad del material

Para flujo en régimen permanente, la ecuación se establece de la siguiente manera:

$$Q^* = v_d \cdot a \quad (\text{Ec. 44})$$

Donde “a” representa el área de la boquilla del extrusor.

Por último, la velocidad de flujo de deposición puede calcularse despejando “ v_d ” de la ecuación 44.

$$v_d = \frac{Q^*}{a} \quad (\text{Ec. 45})$$

2.3 Definición de términos básicos

Extrusor: Es la parte de la impresora 3D que hace la fusión real del plástico y lo extruye capa por capa sobre la cama o bandeja de impresión. Es una pieza crítica y fundamental de la impresora.

Fabricación aditiva: Es el proceso de crear un objeto 3D fusionando una capa sobre otra, en lugar de remover, devastar o tallar material, como en el proceso de mecanizado tradicional.

Gcode: El formato de archivo final laminado que la impresora utilizará como instrucciones para crear el objeto. Es el resultado de laminar un archivo STL. El gcode se programa con los ajustes de resolución y densidad que sean elegidos.

Puente: Es el área entre dos pilares que se imprime en el aire. Se usa la estructura de soporte para evitar que se caiga.

Volumen de Impresión 3D: Es el tamaño máximo de un objeto físico que se puede crear en la impresora, medido habitualmente en cm³, es decir, en sus tres dimensiones de alto x ancho x largo.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En un trabajo de investigación se define la metodología como la descripción de el o los tipos de investigación, técnicas y procedimientos que serán utilizados para llevar a cabo el proceso investigativo. (Arias, F., 2012, p19). A su vez, el manual de trabajo de grados de la UJAP (2020) indica que “la metodología es una creación personal, cuyas técnicas e instrumentos a utilizar para la recopilación de datos, pueden resultar convenientes a los objetivos que se persiguen”.

Se puede decir entonces que el marco metodológico es aquel espacio dentro de la investigación donde se plasman y se definen todas aquellas herramientas que se utilizarán en función del tipo de investigación. Además, proporciona una descripción secuencial de los pasos y procedimientos a seguir durante el proceso y que se deben tener en cuenta para la correcta ejecución del mismo, aportando así validez a los datos recolectados y por lo tanto a los resultados obtenidos.

3.1 Enfoque de la investigación

Según el enfoque de investigación, se tiene que el presente trabajo sienta sus bases en una investigación del tipo cuantitativa, ya que, se pretende seguir un plan de trabajo para llevar a cabo la investigación, el diseño y la simulación de la impresora 3D. Además, en el proceso se usarán como base los datos numéricos para obtener diversos resultados para luego someterlos a un proceso de análisis para determinar la relación entre ellos y así cumplir con el objetivo principal y con los objetivos específicos del trabajo de investigación.

Hernández, Fernández y Baptista (2014) definen la investigación cuantitativa como un proceso “Secuencial y probatorio. Donde cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos” (p.4). En tal sentido, la corporación SIS International Market Research (2021), establece en su portal web que “La investigación cuantitativa implica el uso de herramientas informáticas, estadísticas, y matemáticas para obtener resultados.”

En concordancia con lo descrito anteriormente, es posible afirmar que la investigación cuantitativa hace uso un número elevado de datos provenientes de distintas fuentes, para así efectuar un análisis de los mismos y poder encontrar algunas discrepancias entre ellos.

3.2 Tipo de investigación.

Según Arias F. (2012) “La investigación científica es un proceso metódico y sistemático dirigido a la solución de problemas o preguntas científicas, mediante la producción de nuevos conocimientos, los cuales constituyen la solución o respuesta a tales interrogantes” (p. 22).

En general no existe un solo tipo de investigación aplicable para todos los trabajos que se pueden realizar, sino que existen un conjunto que en función a las características específicas del tema a trabajar se escoge la más adecuada. Por lo tanto, estas suelen clasificarse bajo diversos grupos como, según su propósito, según el resultado, según el tiempo disponible, según el método de investigación, entre otros.

El presente trabajo de investigación se fundamenta en el desarrollo de un proyecto factible, para la implementación de las impresoras 3D como recurso didáctico en la Universidad José Antonio Páez. Por su parte, el proyecto factible es aquel que “consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales” (UPEL 2006, p.13). Por lo general, suele referirse a formulaciones de políticas, tecnologías, métodos o procesos. Además, debe basarse en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades.

3.3 Diseño de investigación

Arias F. (2012) define el diseño de investigación como “la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado” (p.27). En función a lo mencionado, se distinguen tres clasificaciones; Experimental, de campo y documental. Donde la estrategia de investigación depende del origen de los datos y de la manipulación que se les haga.

Para el presente trabajo de investigación, se aplicará el diseño de investigación documental, donde se dispondrá de diversos documentos, revistas, libros, artículos, entre otros. Para obtener información referente a las características que se deben tener en cuenta para realizar un diseño funcional y efectivo de impresoras 3D, además, dicha información será de utilidad para verificar y constatar los antecedentes que se han desarrollado con el pasar de los años en el ámbito de la manufactura aditiva.

Además, se encuentran presentes características del diseño experimental, debido a que se estudiará mediante ensayos estáticos y dinámicos computarizados la relación directa que tienen las cargas a soportar y transmitir los diversos componentes para el correcto funcionamiento del equipo con las propiedades mecánicas y físicas de los materiales disponibles, logrando escoger así el que más se adecúe a los requerimientos y criterios de diseño definidos.

Parella, S. y Martins, F. (2012) definen el diseño experimental como “aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas” (p.86). En términos básicos, su objetivo es “describir de qué modo y por qué causa se produce o puede producirse un fenómeno”. En el caso del presente trabajo los fenómenos corresponden a los movimientos necesarios que se deben realizar para el correcto desempeño de las actividades de la impresora, junto con las relaciones electrónicas y computacionales entre las variables que rigen o controlan el funcionamiento del equipo.

3.4 Nivel de investigación

Arias F. (2012) define el nivel de la investigación como “el grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio” (p.23). Partiendo de la premisa de identificar cuál es el nivel de investigación es el más adecuado para el proceso y la razón por la cual lo es.

El presente trabajo, se fundamenta en una investigación del tipo exploratoria, ya que, se basa en la explicación y aplicación de nuevos conocimientos, como la fabricación aditiva, para prácticas didácticas de manufactura en el laboratorio de la Universidad José Antonio Páez, conocimientos que, permiten enriquecer al estudiante

y proporcionar preparación para una tecnología que se encuentra en constante desarrollo y avance.

Arias, F. (2012) define a la investigación exploratoria como “aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos” (p.23).

Por su parte, Hernández, Fernández y Baptista (2014) indican que “Los estudios exploratorios son como realizar un viaje a un sitio desconocido, del cual no hemos visto ningún documental ni leído ningún libro, sino que simplemente alguien nos hizo un breve comentario” (p.91).

De tal forma, la presente investigación también posee características de una investigación descriptiva, ya que, uno de los objetivos planteados se centra en analizar el comportamiento y la relación entre diversas variables para poder asegurar el correcto funcionamiento del prototipo a diseñar.

Arias, F. (2012) define la investigación descriptiva como “la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento” (p.24). Pudiendo saber cómo se puede comportar un todo, conociendo el comportamiento de otras variables relacionadas.

Hernández, Fernández y Baptista (2014) indican que “Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” (p.92).

3.5 Población y Muestra

3.5.1 Población

Lepkowski citado por Hernández, Fernández y Baptista (2014), dicen que “la población o universo es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones”. (p. 174).

Por su parte, Arias, F. (2012) indica que “la población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio” (p.81). En el caso del presente trabajo de investigación, la población son todos aquellos tipos de impresoras 2D y 3D que se utilizan desde hace años para satisfacer distintas situaciones diarias tanto a nivel personal como a nivel empresarial y/o profesional.

3.5.2 Muestra

Arias, F. (2012) define la muestra de una investigación como “Un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (p.83). Por lo que la muestra constituye sólo una parte del conjunto total de la población y es poseedora de sus propias características.

Con base a este criterio, la muestra entonces constituye una porción de la población sobre la que se realiza el estudio. Siguiendo lo mencionado, la muestra para el presente trabajo de investigación se determina cómo todos aquellos tipos de impresoras 3D utilizadas mundialmente y que se encuentran en constante desarrollo.

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

“El proceso de recolección de datos, implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico” Hernández, Fernández y Baptista (2014, p.198)

Por su parte, Arias, F. (2012) establece que: “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información” (p.68). Es por ello que, para la presente investigación se utilizarán las siguientes técnicas de recolección de datos:

3.6.1 Análisis documental

Silva, I. y Tamayo, C. (2018) establecen que “A través del análisis documental se recolectan datos de fuentes secundarias, ya sean libros, boletines, revistas, folletos, y periódicos, estos se utilizan como fuentes para recolectar datos sobre las variables de interés. El instrumento que se acostumbra utilizar es la ficha de registro de datos”. Por

consiguiente, el análisis documental será de vital importancia para el desarrollo del proyecto de diseño, principalmente se deberá recurrir a fuentes bibliográficas como libros, folletos y demás elementos para sustentar las bases teóricas y técnicas del diseño de una impresora 3D que pueda ser útil para el desarrollo de actividades didácticas dentro de la Universidad José Antonio Páez.

3.6.2 Observación experimental

“La observación experimental se diferencia de la no experimental porque elabora datos en condiciones relativamente controladas por el investigador, particularmente porque éste puede manipular la o las variables”. (Silva, I. y Tamayo, C., 2018)

Según lo descrito anteriormente, la observación experimental forma parte de la investigación científica y puede utilizar como instrumento la hoja o ficha de registro de datos. Para el presente caso de estudio, se utilizará la observación experimental para el desarrollo de pruebas de funcionamiento y optimización de la impresora 3D, a través de distintos softwares de diseño asistido por computadora (CAD), los cuales permiten obtener datos experimentales que serán tomados en cuenta al momento de diseño y elaboración del prototipo, para generar así una versión final que cuente con las características y funciones para las que fue diseñada.

3.6.3 Entrevista guiada

Arias F. (2012, p.73) define la entrevista como “una técnica basada en un diálogo o conversación “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida”. Una entrevista se caracteriza por su profundidad, es decir, indaga de forma amplia en gran cantidad de aspectos y detalles. Por otra parte, la entrevista tiene un menor alcance en cuanto a la cantidad de personas que pueden ser entrevistadas en un período determinado, es decir, se abarcan menos personas.

Las entrevistas se pueden clasificar en dos grupos, la entrevista estructurada y la no estructurada. En el presente trabajo se hizo uso de la entrevista de tipo estructurada o formal, esta es la que se realiza a partir de una guía prediseñada que contiene las preguntas que serán formuladas al entrevistado.

En este caso, la misma guía de entrevista puede servir como instrumento para registrar las respuestas, aunque también puede emplearse el grabador o la cámara de video.

3.6.4 Guion de entrevista.

Según afirma Mejia T. (2021), “Un guion de entrevista es básicamente una lista con temas y preguntas que pretende hacer un entrevistador a su entrevistado. Pueden llegar a ser muy útiles independientemente del género que sea la entrevista”. De manera que, un guion de entrevista puede referirse a la lista de cada una de las temáticas o preguntas que se realizarán a la persona entrevistada, buscando la obtención de respuestas útiles, coherentes y que puedan ser de utilidad para dar forma a una investigación, tomando en cuenta la percepción de diversos individuos, ya sean capacitados o no en el área de estudio.

En concordancia con lo planteado anteriormente, se hizo uso de entrevistas semiestructuradas, realizadas a través del guion de entrevista como instrumento de recolección de datos para poder obtener información acerca de la percepción de los profesores dentro de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez

3.7 Validación del instrumento

La validez del instrumento, de acuerdo a Palella, S. y Martins, F. (2012) se define como “La ausencia de sesgos. Representa la relación entre lo que se mide y aquello que realmente se quiere medir”. (p. 172). Esta valoración se determina mediante la técnica del juicio de experto, se requirió la aprobación de dos profesionales expertos en el desarrollo de proyectos de investigación, donde se evaluó la validez de las preguntas a realizar, en función de la claridad, objetividad y cumplimiento del objetivo de la misma, logrando así proporcionar un enfoque mucho más realista al proceso. (Ver anexos del B al E).

3.8 Técnicas de análisis de resultados

El análisis requiere la aplicación de un conjunto de técnicas que le permitan al investigador obtener el conocimiento que estaba buscando, a partir del adecuado tratamiento de la información recogida. (Hurtado, J. 2010, p.325). Por su parte, Kerlinger, F. y Lee, H. (2002) hacen referencia a que:

El análisis significa la categorización, ordenamiento, manipulación y resumen de datos, para responder a las preguntas de investigación. El propósito del análisis es reducir los datos a una forma entendible e interpretable para que las relaciones de los problemas de investigación puedan ser estudiadas y aprobadas.

Para el caso de estudio presentado por los autores, los datos obtenidos podrán ser aquellos, arrojados por el software de diseño asistido por computadora (CAD), estos datos se obtendrán mediante diversos análisis estáticos a los que se someterán las piezas que componen el ensamblaje de la impresora 3D, donde en función de las diversas variables de entradas proporcionadas manualmente, como lo son la forma de la pieza o ensamblaje a analizar, material a utilizar, propiedades del material, capacidades de la impresora, entre otras, junto con los resultados de las pruebas iterativas realizadas en el Software CAD se procede a la comparación, evaluación y análisis entre estos teniendo como premisa

3.9 Fases metodológicas

La presente investigación se encuentra fundamentada en cinco fases metodológicas, destinadas a complementarse con cada uno de los objetivos definidos para el desarrollo de las prácticas definidas a través del objetivo general.

Fase I Diagnóstico la situación académica en la U.J.A.P en términos de manufactura aditiva como recurso de formación y apoyo en distintas cátedras y disciplinas.

Dentro de esta fase inicial, se argumentaron todas aquellas ideas que fundamentan la elaboración del proyecto, mediante entrevistas guiadas a profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UJAP, logrando así contrastar sus opiniones

con los distintos adelantos que han surgido a nivel mundial en términos de manufactura aditiva, además de conocer su receptividad acerca de la impresión 3D.

Fase II Definición de criterios, parámetros y procesos necesarios para el diseño de una impresora 3D.

En esta etapa del proceso, se procedió a realizar un análisis de la teoría de diseño que permita determinar de manera precisa, cada una de las variables y criterios que se deben considerar al momento de proceder con el diseño de una impresora 3D, abarcando desde los principios básicos, como el material con el que se imprimirán los objetos, hasta las características mecánicas y técnicas que definan el funcionamiento de la máquina.

Fase III Determinación de posibles alternativas para el diseño de la impresora 3D.

En esta fase se recurrió al análisis de los tipos de impresoras 3D presentes en el mercado, comparando sus características y aplicaciones, junto con los materiales que pueden ser impresos mediante cada modelo; esto con la finalidad de poder determinar el modelo que cumpla con los estándares y las características más acertados para su implementación como herramienta didáctica en la Universidad José Antonio Páez.

Fase IV Modelación y simulación mediante herramientas de diseño asistido por computadora

Luego de haber determinado el tipo de impresora más útil y viable para su implementación en la Universidad José Antonio Páez, se procedió con el diseño y modelado de los componentes de la impresora 3D, junto con sus conexiones, para posteriormente proceder con el ensamblaje general de la impresora, adicionalmente se realizará una simulación del funcionamiento del mecanismo de impresión 3D. Todo esto, utilizando herramientas de diseño asistido por computadora (CAD).

Fase V Elaboración del estudio de viabilidad económica para la implementación de la impresora 3D como herramienta didáctica en la Universidad José Antonio Páez.

Por último, en esta fase se procedió con el estudio de viabilidad económica relacionado con la implementación de la impresora 3D diseñada, para su uso dentro de la Universidad José Antonio Páez, todo esto analizando el costo de fabricación de la impresora en general, también el costo de cada componente y de las horas de funcionamiento de la máquina, todo esto para realizar una comparativa con procesos de manufactura que suelen utilizarse convencionalmente para la fabricación de determinados elementos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se hace referencia a los resultados obtenidos al efectuar la planificación, organización y ejecución de las actividades planteadas, para lograr así la finalización de las distintas fases del presente trabajo de grado, presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ahora bien, conforme a lo que se ha establecido en capítulos anteriores, el proyecto cuenta con cuatro fases secuenciales que permiten fundamentar las razones para la elaboración del proyecto y la delimitación de los distintos procesos a seguir para el diseño de una impresora 3D completamente funcional en todas las posibles áreas de aplicación dentro y fuera de las instalaciones de la UJAP. Es importante resaltar que cada fase cuenta con actividades específicas o “micros” que sirven de apoyo y aportan valor en la ejecución de todas las fases subsiguientes.

4.1 Diagnóstico de las condiciones para implementar la manufactura aditiva como recurso de formación y apoyo en distintas cátedras universitarias.

Según Concheso, A. (2018):

Los avances tecnológicos se suceden a una velocidad vertiginosa que hace que quienes no estén en condiciones de incorporarlos a sus actividades productivas no se queden parados como un tren en la estación, sino que se alejan del presente a la velocidad de otro tren que va en dirección contraria.

En relación a lo descrito anteriormente, la Universidad José Antonio Páez, desde su concepción, ha centrado sus esfuerzos en el desarrollo de entornos experimentales que proporcionen a sus estudiantes conocimientos relacionados a casos reales que puedan presentarse en los entornos laborales o en el ejercicio de sus carreras.

Por lo tanto, es necesario diagnosticar el estado actual de las cátedras relacionadas con manufactura de piezas en cualquier rama dentro de la escuela de ingeniería mecánica en la Universidad José Antonio Páez; en consecuencia, se consultó a los profesores de dichas cátedras cuál es su opinión con respecto a la impresión 3D como nuevo proceso de manufactura y saber según su experiencia si la implementación

de la misma sería una herramienta que pudiese aportar gran valor en el desarrollo de los futuros profesionales de la institución.

Dentro del presente contexto la finalidad primordial de la entrevista es acceder a la perspectiva de los sujetos; comprender sus percepciones y sus sentimientos; sus acciones y sus motivaciones. (Schettini P. y Cortazzo, I., 2016, pág. 19). Además, apunta a conocer las creencias, las opiniones, los significados y las acciones que los sujetos y poblaciones les dan a sus propias experiencias.

De manera análoga a lo antes mencionado, luego de haber obtenido la aprobación correspondiente del guion de entrevista, se procedió a entrevistar a los profesores que imparten las cátedras relacionadas con manufactura y diseño de piezas o mecanismos para comenzar la recolección de información con el objetivo de diagnosticar la situación en la Universidad.

4.1.1 Resultados obtenidos a través de la técnica de recolección de datos.

En el cuadro 2 se presenta el resultado de las preguntas realizadas a los profesores de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad José Antonio Páez que aceptaron colaborar con la realización y redacción del presente trabajo de investigación.

Cuadro 2: Respuestas de la entrevista guiada

Aspectos	Ítem	Entrevista 1	Entrevista 2	Entrevista 3
		Ing. Freddy Barragán (Profesor de Procesos de Manufactura I y II)	Ing. Giovanni Pizzella (Profesor Elementos de máquina)	Ing. Fernando Montero (Profesor de mecanismos)
¿Conoce acerca de la impresión 3D y qué función cree usted que cumple?				
Conocimiento del docente sobre la tecnología de impresión 3D	1	Si. se está implementando para nuevos materiales que son de difícil construcción y manufactura.	Sólo he leído acerca del tema. Creo que juega un papel importante en la industria gráfica	Si. Realiza el proceso de impresión con un alto nivel de precisión.

Cuadro 2 (continuación): Respuestas del guion de la entrevista

Aspectos	Ítem	Entrevista 1	Entrevista 2	Entrevista 3
		Ing. Freddy Barragán (Profesor de Procesos de Manufactura I y II)	Ing. Giovanni Pizzella (Profesor Elementos de máquina)	Ing. Fernando Montero (Profesor de mecanismos)
¿Qué opinión tiene usted acerca de la impresión 3D como proceso de manufactura?				
Conocimiento del docente sobre la tecnología de impresión 3D	2	La impresión 3D es un proceso de manufactura no convencional, porque los procesos convencionales se encuentran establecidos por aquellos que presentan arranque de viruta y los procesos por deformación volumétrica	Presenta ventajas con respecto al proceso de mecanizado, debido a que en ocasiones es necesario utilizar muchas máquinas para una sola pieza, mientras que con la impresión 3D no.	Te ahorras en materia prima; en material de desbaste, debido a que no requieres maquinar la pieza final; no se gasta en cuchillas, no requieres de una cantidad excesiva de energía. Tienes un tiempo más corto de producción.
¿Considera usted que la impresión 3D puede convertirse en un método de manufactura eficaz para la simplificación de procesos industriales?				
Conocimiento del docente sobre la tecnología de impresión 3D	3	Sí, creo que puede convertirse en un proceso de manufactura eficaz, porque, permitiría simplificar los procesos.	Si, pero tiene como limitación que no sustituye sería los dispositivos que están fabricados de Acero inoxidable	Si, ese es el próximo futuro
¿Qué aplicaciones cree usted que tendría la impresión 3D en el futuro de la manufactura?				
Utilidad de la impresora 3D como herramienta didáctica y de manufactura	4	Puede aplicarse en el campo de la Ingeniería Mecánica, la Ingeniería Civil, además de la Medicina y Odontología	Podría implementarse para la fabricación de moldes para fundir piezas en serie	Para hacer prototipos

Cuadro 2 (continuación): Respuestas del guion de la entrevista

Aspectos	Ítem	Entrevista 1	Entrevista 2	Entrevista 3
		Ing. Freddy Barragán (Profesor de Procesos de Manufactura I y II)	Ing. Giovanni Pizzella (Profesor de Elementos de máquina)	Ing. Fernando Montero (Profesor de mecanismos)
¿Según su conocimiento, cree usted que la adición de una impresora 3D como elemento didáctico puede aportar valor en el desarrollo de los profesionales formados dentro de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UJAP?				
Utilidad de la impresora 3D como herramienta didáctica y de manufactura	5	Si, yo pienso que el estudiante va a poder observar la forma, paso a paso como se irá construyendo la nueva pieza. Además de eso, el estudiante deberá realizar con anterioridad los planos, el diseño y la simulación de dicha pieza en herramientas como AutoCad o Solidworks, Inventor.	Claro que sí, Ahí es donde yo le veo más aplicación, en la educación	Va a depender del enfoque que se le quiera dar dentro del programa analítico de la escuela
¿Para qué cátedras considera usted que podría ser útil la implementación de una impresora 3D? ¿Qué función cumpliría la máquina?				
Impresión 3D en cátedras relacionadas a la manufactura dentro de la UJAP	6	Procesos de Manufactura II y Diseño Asistido por computadora	Procesos de Manufactura I y II, Diseño Asistido por Computadora en Ingeniería Mecánica y Mecanismos	Mecanismos, diseño asistido por computadora, diseño en ingeniería mecánica
¿Cree usted que sería fácil la adaptación de los estudiantes y profesores de las distintas cátedras donde pueda estudiarse la impresión 3D?				
Facilidad de adaptación a implementación de la nueva tecnología	7	Si	Si	Si

Autores: Fernández y Velásquez (2022)

Los resultados obtenidos mediante la implementación de entrevistas semiestructuradas como técnica de recolección de datos, permitieron conocer la disposición de los profesores para la implementación de la impresión 3D como instrumento didáctico para la formación de los estudiantes que cursen la carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad José Antonio Páez. Cada profesor entrevistado indicó su punto de vista acerca de dicho proceso de impresión.

En tal sentido, el profesor Barragán, quien imparte asignaturas que guardan vital importancia con ciertos principios de funcionamiento de la impresión 3d, muestra un grado de aceptación elevado a la implementación de dicha tecnología en las asignaturas que imparte y, de manera general, en la Escuela de Ingeniería Mecánica, destaca también la gran capacidad evolutiva de la tecnología de impresión 3D y los beneficios de su implementación.

De la misma manera, el profesor Giovanni Pizzella, posee buen entendimiento de la impresión 3D y los beneficios de dicha tecnología para generar enriquecimiento en los conocimientos de los estudiantes, además del efecto anímico positivo que resultaría del hecho de poder imprimir las piezas diseñadas por ellos mismos a través de herramientas de diseño asistido por computadora.

De igual forma, según lo indicado por el profesor Fernando Montero, resulta destacable la precisión de las impresoras 3D, la gran optimización en la que puede incurriarse al implementar de esta tecnología para la fabricación de elementos diversos, además, muestra un buen conocimiento acerca de la tecnología y establece que podría ser útil su implementación dentro de la Universidad José Antonio Páez

4.2 Definición de criterios, parámetros y procesos necesarios para el diseño de una impresora 3D.

Como segundo objetivo específico se tiene la definición de criterios, parámetros y procesos necesarios para el diseño de una impresora 3D, en ella se procede con el análisis de la teoría de diseño establecida por distintos desarrolladores como 3D Systems, Materialise, proyectos Open Source desarrollados por la comunidad Reprap, entre otros, dichas teorías permiten determinar de manera precisa, cada una de las

variables y criterios que se deben considerar al momento de diseñar una impresora 3D, abarcando desde los principios básicos, como el tipo de material con el que se conformarán los objetos, junto con sus propiedades, hasta las características mecánicas y técnicas que definan el funcionamiento de la máquina.

En términos básicos, representa la definición de todas aquellas variables y parámetros críticos que se deben tener en cuenta dentro del diseño de la impresora para que ésta cuente con un desempeño óptimo en sus funciones. En este punto se puede clasificar según su área de aplicación, tamaño, o material que se desea utilizar, en tal sentido, se cuenta con variables físicas, mecánicas, eléctricas, de programación, químicas y electrónicas.

4.2.1 Tipo de impresora más apropiada según la aplicación.

Tomando en consideración las tecnologías descritas en el apartado 2.2.4 del marco teórico para llevar a cabo procesos de fabricación aditiva, se determinó mediante comparación la tecnología de impresión que más se adapte a los requerimientos de la presente investigación y que, además, mejoren la experiencia de aprendizaje de los estudiantes de la Universidad José Antonio Páez.

Por lo anteriormente descrito, las características que se consideran indispensables para la elección del tipo de sistema se presentan a continuación:

1. Bajo costo de fabricación, trayendo consigo una baja inversión monetaria a realizar.
2. Versatilidad en cuanto a posibles modelos a fabricar, logrando así que el equipo sea de utilidad para la mayoría de las facultades que conforman la oferta académica de la Universidad José Antonio Páez.
3. Garantía de un funcionamiento básico y facilidad en la elaboración de material didáctico para el correcto entendimiento de los estudiantes.
4. Funcionamiento idóneo bajo las condiciones del laboratorio.
5. Facilidad de fabricación.

Dadas las características necesarias, se considera que los tipos de tecnología de impresión 3D que cumplen con los puntos anteriores, son la tecnología SLA y la FDM,

en comparación con tecnologías como la SLS. Las tecnologías SLA y FDM pueden considerarse como las más básicas, pero que proporcionan propiedades, acabados y características sumamente buenas aplicables en diversos rubros.

Para comparar ambas tecnologías, se recurre a 3d Natives, una revista virtual reconocida mundialmente, líder en información sobre impresión 3D. En términos de materiales utilizados, la tecnología FDM es mucho más popular, versátil y accesible a nivel económico. Mientras que la resina posee una mayor limitación de colores y además posee también un precio más alto.

Cuando se habla de calidad, la tecnología SLA está muy por encima de la FDM debido al principio de fabricación. La resolución de la primera depende del punto óptico del láser o proyector aportando grosores de capa de 0.05 a 0.01 mm, mientras que en la segunda depende netamente del tamaño de la boquilla del extrusor y de la precisión de los movimientos axiales, verticales y transversales del equipo, logrando aportar espesores de 0,5 a 0,127 mm. (Ver figura 23)



Figura 23: Impresora 3D de tipo SLA.
Fuente: directindustry 2022.

Al consultar precios en plataformas internacionales de comercialización en línea como Amazon, Aliexpress, Ebay, 3D Systems, Materialise, entre otras; la tecnología

FDM resulta más económica en comparación a la SLA. En el mercado se pueden encontrar desde aproximadamente 300€ mientras que su material o filamentos se pueden encontrar desde 20€ por kilo. Por otro lado, la tecnología SLA puede conseguirse desde aproximadamente 3000€, mientras que las resinas se encuentran a partir de los 70€.

Luego de analizar y comparar los tipos de impresión 3D, se llegó a la conclusión que la mejor opción en términos de operatividad regular del equipo dentro de la UJAP es la impresión por deposición fundida de material (FDM). Además, este mecanismo cuenta con la facultad de ser uno de los modelos de sencillo funcionamiento, ideal para la aplicación didáctica a la que está direccionada. (Ver figura 24)



Figura 24: Impresora 3D de tipo FDM.
Fuente: Amazon 2022.

4.2.2 Materiales utilizados para impresión 3D con FDM

Entre los materiales posibles para el desarrollo de este tipo de impresión, dentro de los más utilizados se encuentran el Ácido poliláctico (PLA) y el Acrilonitrilo Butadieno estireno (ABS).

4.2.2.1 Filamento de ácido poliláctico (PLA)

El ácido poliláctico, también llamado poliácido láctico es un material biodegradable fabricado a base de materia prima renovable (almidón), representa el

material más común en la impresión 3D, debido a su facilidad de impresión y los bajos costos (Ver Figura 25).



Figura 25: Rollos de material de impresión 3D, PLA.
Fuente: tu3dprintlab (2022)

Según el Instituto Argentino de educación y tecnología (2019). “El PLA imprime a bajas temperaturas (aproximadamente 215 °C) y no requiere cama caliente. Además, como es un material que, por su procedencia, no es tóxico, resulta ideal para su utilización en espacios educativos”. De manera que, se resalta la versatilidad del material, debido a sus bajas temperaturas de impresión, sin embargo, esto trae como consecuencia algunas desventajas, ya que, que las piezas creadas con este material tienen una resistencia limitada y no soportan temperaturas elevadas. En el cuadro 3 pueden apreciarse algunas características del PLA de tipo 403D.

Cuadro 3: Características del PLA de tipo 4043D.

Ingeo™ 4043D Monofilament		NatureWorks LLC	
PLA			
Processing/Physical Characteristics	Value	Unit	Test Standard
ASTM Data			
Melt Flow Index, MFI	6	g/10min	ASTM D 1238
Temperature	210	°C	-
Load	2.16	kg	-
Mechanical properties			
ASTM Data	Value	Unit	Test Standard
Flexural Modulus	3.8	MPa	ASTM D 790
Flexural Strength	83	MPa	ASTM D 790
Izod Impact notched, 1/8 in	16	J/m	ASTM D 256
Thermal properties			
ASTM Data	Value	Unit	Test Standard
Melting Temperature	153	°C	ASTM D 3418
Glass Transition Temperature	57.5	°C	ASTM E 1356
Other properties			
Value	Unit	Test Standard	
Density	1240	kg/m ³	ASTM D 792
Film Properties			
ASTM Data	Value	Unit	Test Standard
Tensile Modulus, MD	3.6	MPa	ASTM D 882
Tensile Strength at Yield, MD	60	MPa	ASTM D 882
Tensile Strength at Break, MD	53	MPa	ASTM D 882

Fuente: Altair Engineering Inc. (2022)

4.2.2.2 Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)

La empresa española imprimakers, dedicada a la fabricación y diseño de elementos mediante impresión 3D define las características del ABS de la siguiente manera “El ABS destaca por las amplias propiedades interesantes que ofrece para las industrias que desean imprimir en 3D piezas funcionales o prototipos” en tal sentido, también establece que el material posee una alta resistencia a la temperatura (entre unos -20 °C y 80 °C) y, a su vez, una alta resistencia a los impactos, adicionalmente es un material que requiere un poco procesamiento luego de realizada la impresión.

En el mismo orden de ideas, el ABS es un material versátil que proporciona una gran cantidad de posibilidades de diseño, al poseer buenas características mecánicas esto lo hace un material bastante llamativo para diseñadores que busquen crear piezas con ciertas características de resistencia y que puedan perdurar durante mucho más tiempo que materiales como el PLA que es biodegradable. En el cuadro 4 se especifican las principales características de estos materiales. (Ver cuadro 4)

Cuadro 4: Características del ABS y PLA.

Material	Características
Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)	Emisión de olores: El ABS emite un olor fuerte al imprimirse, el olor conocido comúnmente como plástico quemado, además, los gases emanados son tóxicos.
	Características mecánicas: El material resulta resistente y fuerte, permite un buen acabado y cierto grado de flexibilidad, pero presenta la posibilidad de warping (encogimiento al enfriarse), cracking y delaminación (tendencia a separación de capas).
	Temperatura de impresión: 210 °C – 250 °C y la temperatura de la cama se sitúa entre 80 °C y 110 °C.
	Colores y opacidad: Variedad de colores, e incluso elementos transparentes.
	Aplicaciones: Elementos que se sometan a elevadas temperaturas y que requieran de buena resistencia, se requiere de una cámara de impresión cerrada.
Ácido Poliláctico (PLA)	Emisión de olores: Emite menos olores que el ABS al imprimirse y no son considerados tóxicos.
	Características mecánicas: Posee una elevada dureza y baja flexibilidad, su durabilidad es media.
	Temperatura de impresión: 180 °C - 230 °C y una temperatura de la cama de impresión de 20 °C a 60 °C, aunque no es necesaria.
	Ecológico: Es un plástico biodegradable, ya que, proviene de elementos orgánicos como el almidón del maíz, pero esto significa que se deteriora más rápido que el ABS y otros materiales.
	Aplicaciones: Piezas que requieran de elevada dureza, pero que no se sometan a elevadas temperaturas.

Fuente: F. Bordignon, A. Iglesias, A. Hahn (2018)

Elaborado: Fernández y Velásquez (2022)

A pesar de que el ABS cuenta con muchas bondades, también posee algunas limitaciones, dentro de ellas se destaca que es un material más difícil de imprimir que el PLA y emite más olores que este mismo, requiriendo espacios más abiertos para el desarrollo de elementos de un tamaño considerable. (Ver figura 26)

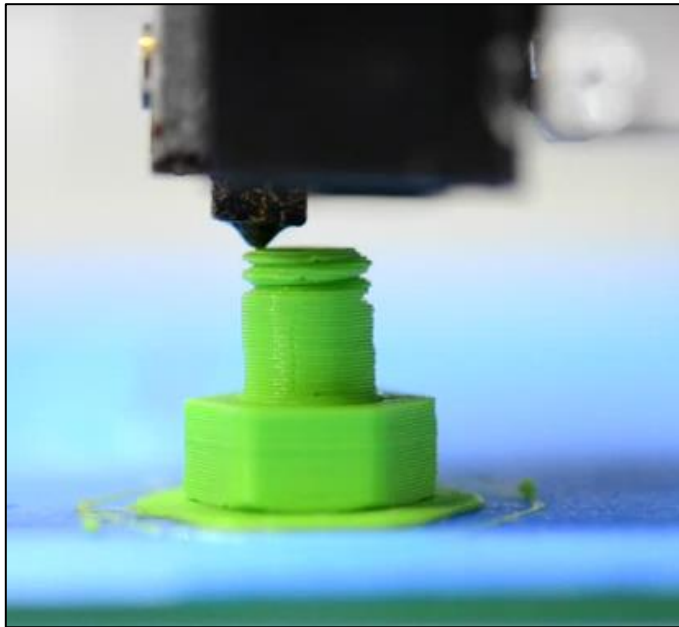


Figura 26: Impresión 3D con material ABS.

Fuente: Crear 4D. Desing Solutions (2021)

4.2.3 Parámetros de selección de materiales.

Teniendo en consideración que el presente trabajo de investigación se fundamenta en la elaboración de una impresora 3D para ser utilizada de manera didáctica en el laboratorio de la escuela de Ingeniería Mecánica de la UJAP, la cual funcionará bajo el principio de modelado por deposición fundida, se busca la fundición de un material para ser posteriormente depositado en una base donde progresivamente se irán apilando y uniendo capas hasta formar el modelo o la pieza que se diseñó previamente.

En relación con lo mencionado anteriormente, el material que se utiliza en el proceso de modelado debe cumplir con un estándar de calidad mínimo que incluye los parámetros descritos en el cuadro 5, todos esos parámetros permitirán obtener información importante para la selección del material más adecuado para la impresora

3D diseñada para ser utilizada dentro de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez

Cuadro 5: Parámetros del material a utilizar en la impresión FDM

Parámetro	Especificación
Punto de fusión	Debe ser bajo ya que el cabezal extrusor posee una temperatura máxima a la cual podrá trabajar y si es menor a la temperatura de fusión del material, este no podrá fundirse y depositarse en la cama caliente para así formar el modelo requerido.
Buen acabado superficial	No debe sentirse rugosidad excesiva en la superficie del modelo
Resistencia, resiliencia y ductilidad	Debe poseer buenas propiedades mecánicas con el propósito de que el modelo no se deforme y/o destruya fácilmente
Velocidad de solidificación	El material debe ser de rápido tiempo de solidificación, debido a que la capa depositada debe estar parcial o completamente seca o solidificada para que así la capa siguiente tenga una superficie de apoyo y no se mezcle con la anterior.

Autores: Fernández y Velásquez (2022)

4.2.3.1 Punto de fusión

En lo que respecta a la temperatura de fusión del material, se tiene una relación de dependencia con el cabezal extrusor que se esté empleando en el equipo y su rango de temperatura operativa nominal en función del material. Al tratarse de polímeros, suelen tener bajas temperaturas de fusión en comparación con los materiales metálicos debido al debido al comportamiento térmico de sus moléculas. Por lo general para los materiales de impresión 3D, específicamente para el PLA y el ABS el rango de temperatura es de 180°C a 250 °C. Es necesario recordar que las fases de los polímeros varían a medida que la temperatura va en aumento o decrecimiento como se muestra en la figura 27.

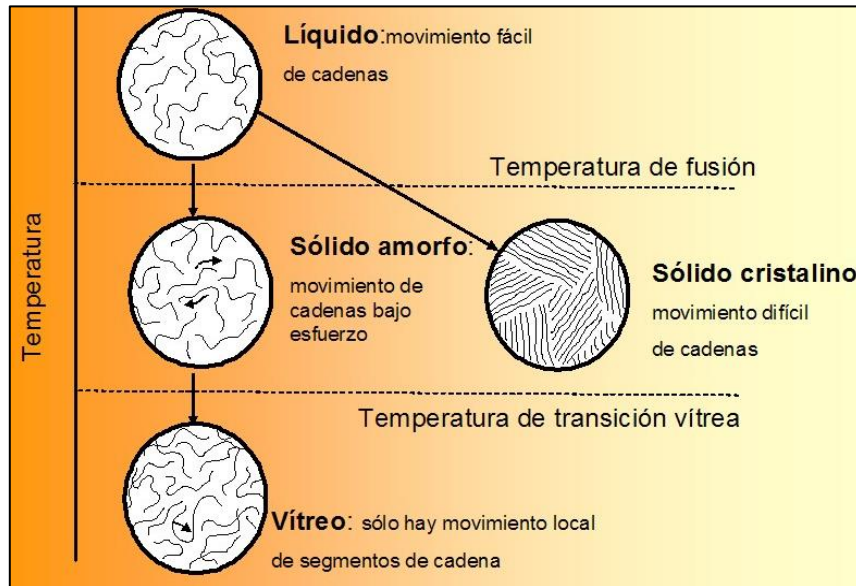


Figura 22: Fases de materiales poliméricos según su temperatura.
Fuente: Universidad Politécnica de Valencia, España (Colocar fecha).

Luego que el polímero sobrepasa su temperatura de fusión y se le continúa suministrando calor por un tiempo prolongado, los enlaces covalentes de sus moléculas se van destruyendo, ocasionando así la destrucción del material. La temperatura a la que ocurre este fenómeno se denomina “Temperatura de degradación”, esta limita la utilidad del polímero y representa la temperatura superior a la cual el polímero puede ser conformado de manera útil, por lo tanto, la temperatura propiciada por el cabezal extrusor debe ser la adecuada para que el proceso se dé de manera eficaz, sin llegar a afectar el material hasta un punto.

4.2.3.2 Temperatura de extrusión.

Los materiales, para que puedan ser extruidos a través del cabezal de la impresora 3D deben contar con la temperatura adecuada para poder así proporcionar el grado de ductilidad (maleabilidad) que permita a dicho material desplazarse fácilmente a través de un espacio reducido, tal como lo es la boquilla del extrusor, esto se logra mediante el sistema de inducción que se encuentra dentro del extrusor, proporcionando calor al material para que éste alcance la temperatura donde se vuelva lo suficientemente dúctil para ser extruido.

La temperatura de extrusión representa una variable importante en el proceso de impresión 3D, ya que, cada material posee propiedades químicas y mecánicas propias. Antes de comenzar con la impresión del material deben considerarse aspectos como su temperatura de transición vítrea y la cantidad de calor que debe aplicarse para poder alcanzarla. La temperatura de transición vítrea representa un punto donde el material pasa de un estado rígido y frágil a otro donde se comporta de manera viscoelástica al aplicarle más calor.

4.2.3.3 Velocidad de solidificación del material

Un material luego de encontrarse en estado líquido, puede volver a ser un sólido siempre y cuando se cuiden y se esté en presencia ciertas condiciones, entre ellas, una de las más importantes es la temperatura. Manejar un entorno adecuado para poder generar una solidificación rápida en los procesos de impresión 3D es una tarea sumamente importante para el desarrollo de dichas actividades, la verdadera incógnita recae en el hecho de que se pueden utilizar distintos materiales con características propias en cada uno de ellos, esto quiere decir que existe una amplia variedad de posibilidades para desarrollar un solo elemento. La rápida solidificación del material permite reducir el tiempo de impresión, lo que, a su vez, reduciría costos y se traduciría en la presencia de un proceso optimizado, todo esto depende principalmente de la capacidad que tenga el material de enfriarse de manera rápida.

Como ha sido descrito con anterioridad, trabajar con tecnología FDM presenta ciertos retos y complicaciones en algunos casos de aplicación, en tal sentido, existen limitaciones al momento imprimir ciertas geometrías, como elementos que cuenten con ángulos rectos, agudos o secciones en voladizo, los cuales resultan difíciles de imprimir mediante la tecnología FDM si se utiliza un único extrusor, debido a que el material depositado en la capa de impresión no alcanza a solidificarse lo suficientemente rápido para evitar que la gravedad genere deformidades en la pieza por la elevada ductilidad que presenta el material en su punto de fusión. (Ver figura 28)

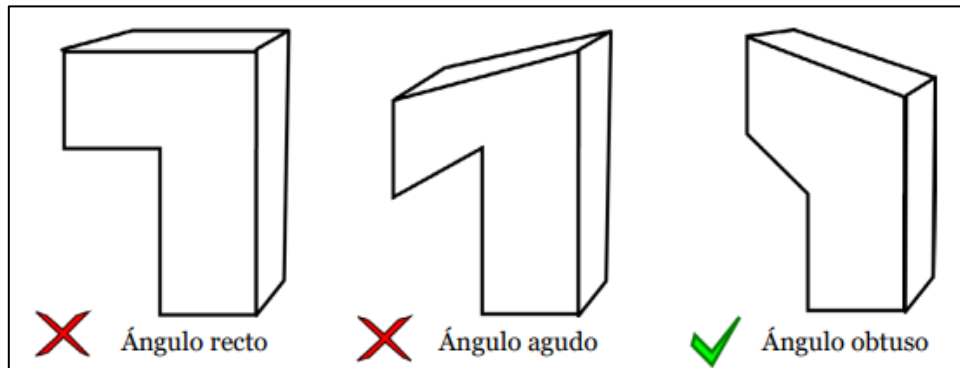


Figura 28: Ángulos de estructuras 3D.

Fuente: A. Hahn, F. Bordignon, A. Iglesias (2018)

Para solucionar el inconveniente de las deformaciones en las piezas, suelen utilizarse materiales de soporte, pero para la implementación del mismo, se requiere de la adición de un segundo extrusor que pueda depositar dicho material al momento de realizar la impresión de la pieza y así asegurar que la misma no sufra deformaciones.

A su vez, también es necesario que el material de soporte sea diferente al que va a conformar la pieza impresa para que se pueda retirar con facilidad y no genere una fusión con el material de impresión principal. Con frecuencia, se utilizan materiales solubles en agua, para facilitar las tareas de separación entre ambos materiales (el de la pieza y el material de soporte), algunos materiales de relleno y sus características se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6: Materiales de relleno utilizados en la impresión 3D.

Poliamida 6 (Nailon)	Características mecánicas: Comparado con la mayor parte de los filamentos utilizados para impresoras 3D, es el mejor en dureza, flexibilidad y durabilidad.
	Temperatura de impresión: 240 °C - 260 °C y una temperatura de la cama de impresión de 70 °C a 100 °C.
	Aplicaciones: Se recomienda para la elaboración de elementos que requieran soportar elevadas temperaturas y flexibilidad considerable. Suele ser caro y sensible a la humedad
Alcohol Polivinílico (PVA)	Temperatura de impresión: 170 °C - 195 °C, no deben superarse los 210 °C para este material
	Aplicaciones: Ideal para ser utilizado como material de soporte para la impresión 3D

Fuente: F. Bordignon, A. Iglesias, A. Hahn (2018)

Elaborado: Fernández y Velásquez (2022)

4.2.3.4 Selección de material polimérico para la impresión tridimensional.

En base a las características resaltadas y descritas en las secciones 4.2.3.1 a 4.2.3.3, se considera oportuna la implementación de Ácido poliláctico como material de impresión 3D, debido a que presenta características químicas y mecánicas suficientes y adecuadas para las aplicaciones que tendrá la impresora 3D dentro de las instalaciones de la Universidad José Antonio Páez, donde se realizarán diseños e impresión de piezas para ser utilizadas como elementos didácticos o de experimentación. Una característica que resalta del material es su capacidad ecológica, al ser biodegradable, garantiza la reducción de residuos provocados por las prácticas de impresión desarrolladas en el recinto universitario.

Asimismo, se resaltan las características mecánicas y térmicas en los cuadros 7 y 8 respectivamente, que lo convierten en el material idóneo para la impresora 3D propuesta en el presente trabajo.

Cuadro 7: Propiedades mecánicas generales del PLA.

Propiedad	Valor
Modulo Elástico	3000-4000 MPa
Resistencia a la Tracción	50-70 MPa
Alargamiento a la Rotura	2-5%
Resistencia a la Flexión	100 MPa
Temperatura de transición vítrea Tg	60-70

Fuente: Auras et al. (2011)

Cuadro 8: Propiedades térmicas del PLA.

Propiedades Térmicas	PLA
Peso molecular (g/mol)	66.000
Gravedad específica	1.27
Densidad del solido (g/cm ³)	1.252
Tg (°C)	55
Tm (°C)	165
Capacidad Calorífica (J/kg-°C)	
190 °C	2060
100 °C	1955
55°C	1590
Conductividad Térmica (W/m-°C)	
190°C	0.195
109°C	0.197
48°C	0.111

Fuente: Cienciacierta UADEC (2018)

4.2.4 Selección del tipo de mecanismo FDM de impresión 3D.

A lo largo de la sección 2.2.4.3 perteneciente al capítulo 2, se describieron los distintos mecanismos de impresión 3D mediante el sistema de modelado por deposición fundida, en tal sentido, los mecanismos más comunes en el mercado y que, por lo tanto, pueden emplearse con más frecuencia dentro de ámbitos industriales y educativos son las impresoras cartesianas o las polares, cada mecanismo cuenta ventajas y desventajas, dependiendo directamente del uso y aplicación que tendrán, las condiciones del entorno donde se encuentre el equipo y del tipo de modelo a fabricar.

Por lo general, las máquinas FDM polares se emplean para la fabricación de modelos con forma cilíndrica, aprovechando al máximo su principio de funcionamiento, en este caso, los conjuntos de coordenadas describen puntos en una cuadrícula circular en lugar de un cuadrado, no determinados por los ejes X, Y y Z, pero con ángulo y longitud. Esto significa que la cama de impresión redonda gira mientras que el cabezal de impresión puede moverse hacia arriba, abajo, izquierda y derecha.

Por su parte, las máquinas FDM Cartesianas presenta grandes facilidades para el diseño y ensamblaje de estructuras o modelos, además, pueden fabricar una gran diversidad de piezas en campos de aplicación diferentes. Estas están compuestas por tres ejes ortogonales (X, Y, Z) que se utilizan para determinar dónde y cómo se debe mover el cabezal de impresión en las tres dimensiones de forma correcta, y corregir así la dirección del movimiento. Además, existen varias configuraciones posibles para el movimiento del mecanismo.

Teniendo en cuenta lo antes descrito, a continuación, se presenta un cuadro comparativo que permite resaltar algunas de las ventajas y desventajas que puede presentar cada uno de los mecanismos mencionados con anterioridad (Ver cuadro 9).

Cuadro 9: Cuadro comparativo entre impresoras 3D Cartesianas y Polares

	Cartesianas	Polares
Ventajas	Es un mecanismo sencillo para fabricar y diseñar.	Pueden funcionar con 2 motores
	Cuentan con un mejor acabado superficial.	Posee una mayor capacidad de producción en un espacio reducido.
	Precio económico de materia prima.	No requiere de un espacio excesivamente grande.
Desventajas	Requiere de 1 motor por cada eje, lo que representa un total de 3.	Posee baja calidad del producto final.
		Posee baja precisión.

Autores: Fernández, Velasquez (2022)

Luego de haber definido, descrito y analizado las ventajas y desventajas de cada mecanismo y comparados con las condiciones y requerimientos reales esperados de la máquina dentro de la Universidad José Antonio Páez, se llegó a la conclusión que el mecanismo adecuado para llevar a cabo el diseño de la impresora es el sistema cartesiano, esto debido a que:

1. Su funcionamiento es uno de los más simples, lo que facilita la comprensión y manipulación por parte de los estudiantes a los que se les compartirán conocimientos a fines.
2. El costo total del diseño no es tan elevado en comparación con otros mecanismos.
3. Tiene la facultad de poseer una calidad superficial alta y adecuada para el nivel educativo.
4. Permite la posibilidad de aumentar la capacidad volumétrica de la impresora rediseñando y alargando bases y soportes.

4.2.5 Componentes necesarios para el funcionamiento de la impresora.

Una impresora 3D funciona mediante sistemas que se engranan de manera armónica para darle vida y desarrollo al proceso de modelado y extrusión. Cada uno de

estos sistemas está compuesto por una serie de equipos que cumplen una función específica dentro del proceso. Por ejemplo, los mecánicos son los encargados de darle movimiento y dinamismo a la máquina, los electrónicos son los que se encargan de convertir señales y/o impulsos físico-mecánicos en código programable para que el sistema de control tome las acciones correspondientes para que el funcionamiento no se desvirtúe de lo que realmente se quiere lograr.

A continuación, se hace referencia a cada uno de estos sistemas, donde se describen cuáles son los equipos que componen cada uno, cual es la función que cumplen y como se relacionan con los demás sistemas para así armar el todo que es tan importante en la máquina.

4.2.5.1 Sistema mecánico.

Como se mencionó en el apartado anterior, el sistema mecánico es el encargado de proporcionar el movimiento necesario para el modelado de la pieza y la extrusión del material se desarrolle sin ninguna discrepancia que pueda afectar la calidad del producto final.

En el mismo orden de ideas, en este sistema no solo se comprende los equipos motrices de la máquina, sino que también comprende los elementos que sirven de apoyo y deslizamiento del sistema como por ejemplo canales deslizantes, poleas, tornillos a bolas, etc. Luego de haber realizado dicha aclaración, se procede a describir los elementos constituyentes del sistema.

- a) **Motores:** Todos los mecanismos de la impresora 3d necesitan de un sistema motorizado para generar el desplazamiento necesario en los componentes y así poder realizar la impresión de los distintos elementos que se deseen desarrollar. Específicamente, para la aplicación de una impresora 3D cartesiana se precisan de 3 motores paso a paso independientes entre sí que se encargan de mover cada eje de la máquina (Ver figura 29).

Se prefiere este tipo de motor ya que tienen la posibilidad de rotar en ambas direcciones, moverse con incrementos angulares precisos, sostener un torque de retención a velocidad cero y se logran posicionar con precisión sin ningún

sensor de retroalimentación. El tipo de motor a emplear son los motores paso a paso híbridos, ya que, al ser una combinación de los otros 2 tipos, presentan cualidades y desempeño más favorables, como mayor torque, mayor velocidad, más precisión, entre otras cosas. A continuación, se presenta imagen de representación del mismo.



Figura 29 Motor paso a paso nema 17

Fuente: Traceparts product content everywhere (2022).

- b) **Poleas y correas:** Las poleas junto con sus correas se encargan de transmitir el movimiento de los motores en la máquina y también son las encargadas de transformar el movimiento circular (el que sale del motor) a movimiento traslacional (el que los ejes requieren) y así asegurar el correcto funcionamiento de la impresora.

Dichas poleas y correas son las encargadas de generar los 4 movimientos principales del extrusor en el plano x-y. Es decir, de arriba a abajo y de izquierda a derecha con respecto a la superficie plana de la cama caliente. De igual manera, como se requiere una alta precisión en los movimientos de la máquina, se hará uso de poleas (Ver figura 30) y correas dentadas para proporcionar un mayor agarre entre sí evitando así los deslizamientos comunes en este mecanismo de transmisión.



Figura 30: Polea síncrona dentada

Fuente: traceparts product content everywhere (2022)

- c) **Husillo de bolas y deslizante:** Al cubrir el movimiento del cabezal y de la cama extrusora haciendo uso de las poleas y correas, es necesario emplear otro mecanismo de transmisión para el movimiento del eje z (arriba hacia abajo, plano x-z). Para esto se emplean husillos de bolas como sistema motriz central y ejes deslizantes como sistema de soporte. (Ver figura 31)

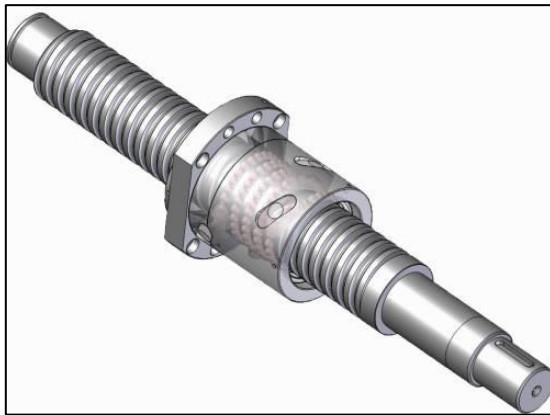


Figura 31: Husillo de bolas y deslizante.

Autores: Fernández, Velasquez (2022)

- d) **Rodamientos:** Se emplean rodamientos rígidos de bolas preferiblemente sellados, tal como se muestra en la Figura 32, para facilitar el movimiento del husillo de bolas en los dos puntos de apoyo al cual está sujeto y así evitar algún

tipo de contaminación del mismo ya que la impresora se encontrará ubicada en una locación en la que estará en contacto directo con el polvo del aula de clase.



Figura 32: Rodamientos de bola

Fuente: traceparts product content everywhere (2022)

- e) **Estructura:** Además de proporcionar estabilidad y rigidez al conjunto, es en la estructura donde reposan todos los mecanismos y componentes de la impresora 3D, es por ello que, se requiere que la misma cuente con características mecánicas adecuadas para soportar las diversas cargas y esfuerzos derivados de los elementos sujetos a ella y de los movimientos realizados por la máquina en su funcionamiento. (Ver figura 33)

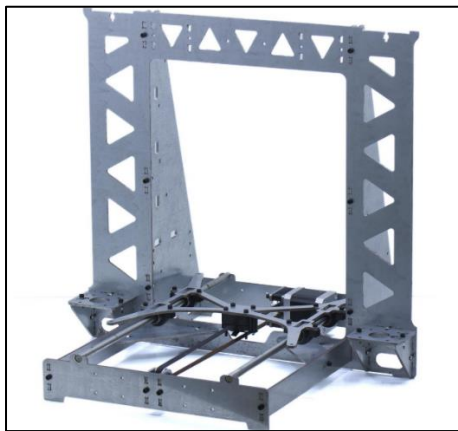


Figura 33: Ilustración de estructura para impresora 3D

Fuente: Hta 3D (2021)

- f) **Extrusor:** El extrusor es la pieza de la impresora que se encarga de alimentar el filamento y hacerlo pasar a través del hotend o fusor (lugar donde ocurre el calentamiento), el movimiento del filamento es generado por una polea y una

rueda dentada que se encuentran acopladas a un motor, el cual es el encargado de transmitir la potencia. El extrusor, mientras que el filamento pasa a través del hotend, se va fundiendo al entrar en contacto con la elevada temperatura a la que se encuentra el sistema de extrusión, lo que permite la fundición del material y la deposición gracias al movimiento generado por el extrusor, dicho movimiento se realiza de manera continua o dependiendo de la capa que vaya a depositar la impresora 3D.

Existen dos tipos de extrusores principales, el directo y el extrusor Bowden, la diferencia entre ambos tipos de extrusores radica en la forma como se alimenta el filamento hacia el sistema de extrusión. En el extrusor Bowden, el sistema que transmite movimiento al filamento (por lo general ruedas dentadas) se encuentra fijo y una zona alejada del hotend, mientras que el filamento pasa a través de un tubo denominado “Tubo Bowden” mientras que, en el sistema de extrusión directa, el mecanismo de alimentación de filamento se encuentra justo arriba o muy cercano al hotend. (Ver figura 34). El extrusor seleccionado para la impresora a diseñar en el presente proyecto, será el de tipo Bowden.

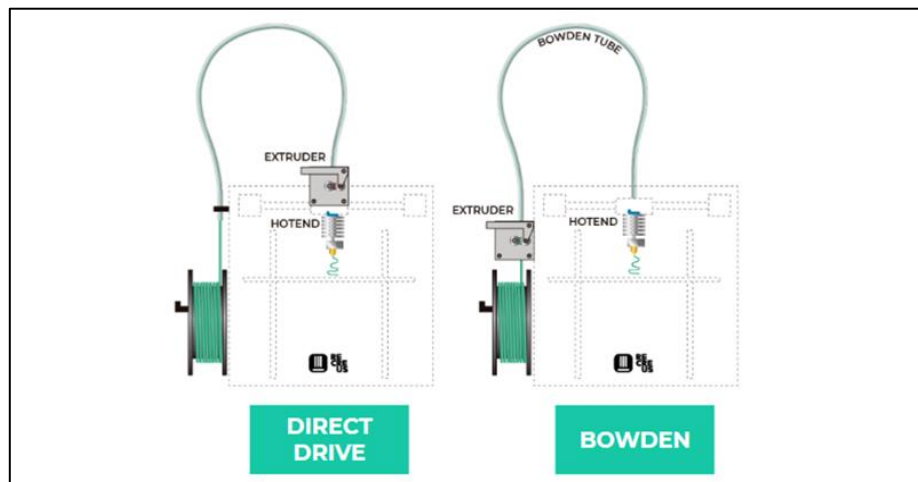


Figura 23: Ilustración de extrusor directo (izquierda) y Bowden (derecha)
Fuente: Recreus (2022).

g) **Hotend (Fusor):** El fusor es el encargado de suministrar el calor necesario para generar la fundición del material, para que el mismo pueda ser depositado en la cama caliente en las distintas capas que conformen la pieza a imprimir.

Un hotend cuenta con cuatro partes principales: la boquilla (nozzle) es el espacio a través del cual pasa el filamento ya fundido para ser depositado, el heating block o bloque calefactor que se encarga de generar el aumento de temperatura en el nozzle hasta llegar a la temperatura de extrusión del material y mantenerla estable en un mismo valor, el heat break se encarga de separar la zona fría de la que se encuentra a elevada temperatura y por último el disipador, que se encarga de disipar toda la energía en forma de calor transmitida por el heating block. (Ver figura 35 y figura 36).

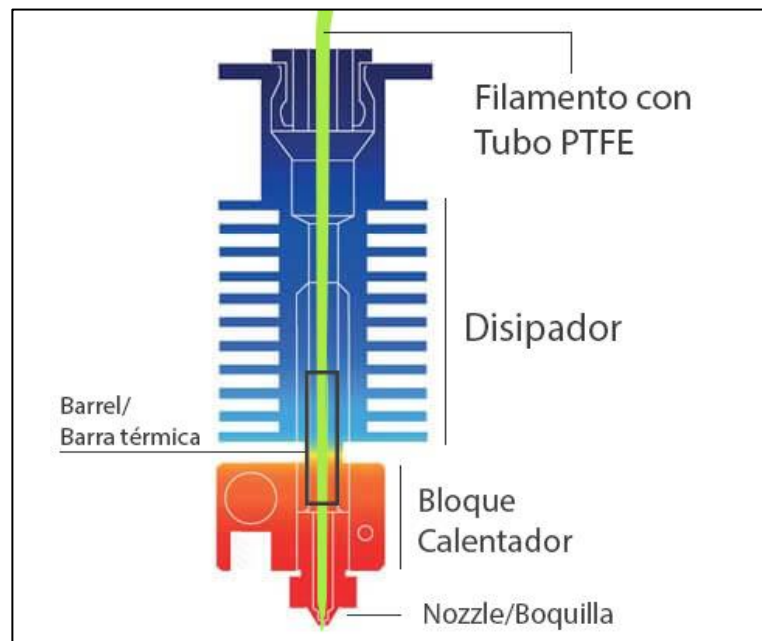


Figura 35: Partes y zonas que componen un hotend.
Fuente: Filament2print (2022)



Figura 36: Hotend utilizado para impresión 3D.
Fuente: Fernández, Velasquez (2022)

4.2.5.2 Sistema eléctrico y electrónico.

Dentro de este sistema se encuentran los elementos que se encargan de energizar eléctricamente los componentes que conforman la máquina, logrando así el correcto funcionamiento de la misma. Entre estos elementos destacan los que se mencionan a continuación:

- a) **Cables, conexiones y fuente de alimentación:** Son los encargados de transportar y conducir la energía eléctrica desde el punto inicial (batería, toma corriente, etc.) hacia los diversos elementos que componen la impresora, logrando así activar sus funciones y operar el sistema.
- b) **Pantalla LCD:** Es la herramienta proporcionada al usuario final donde podrá configurar la máquina según parámetros definidos previamente en el programa de slicing. Además, la pantalla sirve también como panel de control donde se revisan y chequean todas las variables críticas para la operación de la máquina, cuando se inicia y para la máquina, se calibra el sistema extrusor y el sistema motriz, entre otras funciones que son relevantes para el correcto desarrollo del proceso.

c) **Sensores:** Para garantizar el óptimo funcionamiento de una impresora 3D, se debe contar con elementos que ayuden a detectar, medir y controlar una serie de variables críticas, las cuales permiten generar la sincronía en el movimiento de la máquina. Estas variables son: La posición del extrusor y los elementos de alta temperatura de la máquina.

Para asegurar dicha condición, en términos de posición se hace uso de sensores de contacto directo denominados finales de carrera. En la impresora a diseñar serán los elementos que indican a la máquina donde está el inicio de impresión, el punto 0, 0, 0. Además, conociendo el punto de partida, mediante gcode se indica a la placa programable de la máquina cuando y cuanto se puede mover en cada dirección para el modelado de la pieza sin salirse de los límites dimensionales de la misma. (Ver figura 37)



Figura 37: Sensor final de carrera.

Fuente: traceparts product content everywhere (2022)

Por otra parte, en términos de temperatura se hace uso de termistores encargados de medir la temperatura del extrusor y de la cama caliente. Para la impresora 3D FDM diseñada en el presente proyecto, se implementarán termistores del tipo NTC 3950 de 100K, Dichos sensores son resistencias térmicas, varían de manera drástica la resistencia si existen cambios de temperatura. El sensor seleccionado, además, funciona bajo el principio NTC

(Negative Temperature Coefficient según sus siglas en inglés) que en español se entiende como “Coeficiente de Temperatura Negativo”, cuando el termistor funciona bajo dicho principio, disminuye la resistencia cuando existe un aumento de temperatura. (Ver figura 38)



Figura38: Termistor

Fuente: Electropeak (2019)

- d) Arduino:** La máquina necesita de una Unidad de Control Electrónico, también llamada E.C.U para poder controlar el funcionamiento de cada uno de sus componentes, según ciertos parámetros decodificados por un sistema operativo enlazado a ella. En el caso de un elemento que combina piezas mecánicas y electrónicas como sensores, motores, mecanismos de movimiento, controladores de posición y temperatura, resulta de vital importancia contar con una herramienta que procese dichos datos de manera precisa, rápida y eficiente.

El Arduino representa un sistema electrónico de código abierto (open-source) que permite generar infinidad de unidades de control, utilizando la combinación de una única placa base y software programable, lo que facilita el desarrollo de proyectos de investigación y experimentación.

En la impresión 3D, suele utilizarse Arduino como controlador electrónico, debido a su versatilidad y facilidad de programación. Para investigadores que deseen desarrollar proyectos mecatrónicos o electrónicos, dicho controlador resulta ser una herramienta imprescindible. La impresora 3D

diseñada en el presente proyecto de investigación cuenta con una placa base de Arduino (Ver figura 39), combinada con un software controlador.

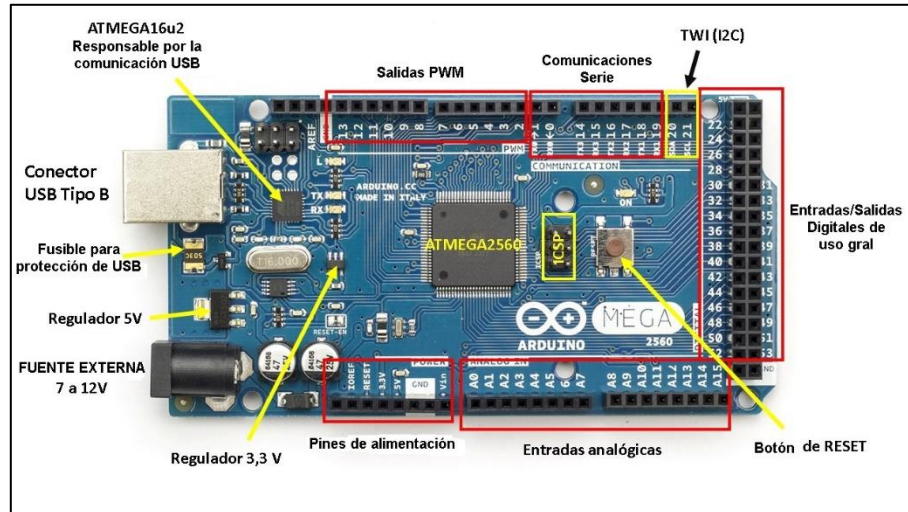


Figura 39: Placa base de Arduinio MEGA 2560.

Fuente: Bolaños, D. (2022)

- e) **MotherBoard (Placa base):** La placa base funciona como punto de conexión para cada uno de los componentes de la impresora 3D, incluyendo ventiladores, extrusor o extrusores, motores, sensores, pantalla LCD y todos los demás elementos que se deseen agregar a dicha impresora.

La placa base juega un papel fundamental en la distribución de las funciones de la máquina, ya que, en ella, a cada elemento se le asigna un puerto específico al cual debe conectarse, logrando así que puedan distribuirse las instrucciones para que los elementos necesarios sean energizados acorde a lo que sea requerido en el momento, logrando así la sincronización del conjunto y la conformación de la pieza que se desea imprimir. El encargado de la decodificación de las líneas de código es el firmware instalado en la placa de Arduino, la cual se conecta directamente con la motherboard de la impresora, que es la garante de distribuir la energía para cada componente, según lo amerite el proceso.

Existe gran variedad de placas base que pueden utilizarse para el funcionamiento de una impresora 3D, dentro de las más comunes se encuentran la de tipo “RAMPS” y las denominadas “RUMBA”

La shield RAMPS 1.4, según sus siglas en inglés “Reprap Arduino Mega Pololu Shield”, como su nombre lo indica, son shields diseñados para trabajar con Arduino Mega y controlar el funcionamiento de hasta 6 motores paso a paso (Junto a sus 6 finales de carrera), compatible con drivers del tipo DVR8825 o POLOLU A4988 (Ver figura 40), además de permitir la conexión de diversos componentes. Cuenta con una precisión de 1/16 pasos, lo que indica que puede dividir un solo paso en 16 micro pasos.

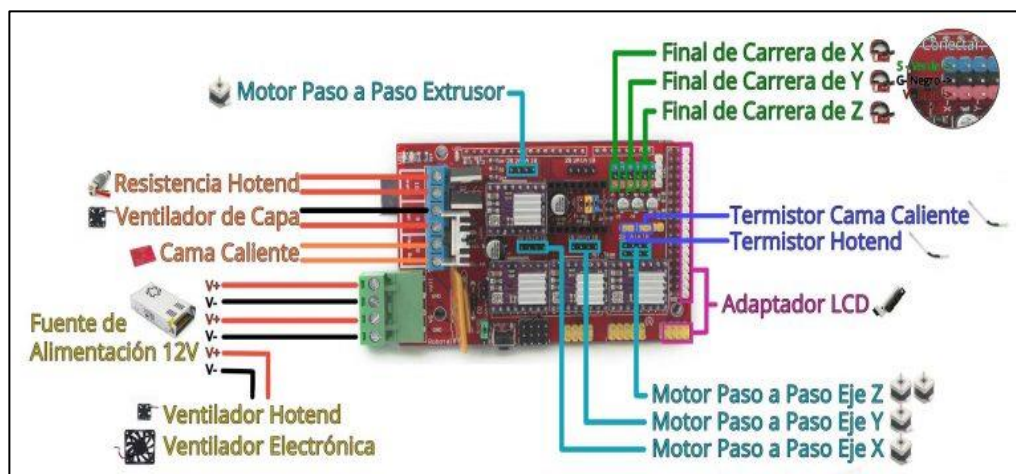


Figura 40: Diagrama de un shield RAMPS 1.4

Fuente: Prometec (2019)

RUMBA (Reprap Universal Mega Board with Allegro driver, según sus siglas en inglés), es una placa base que puede usarse en diversas máquinas pertenecientes al proyecto Reprap e inclusive máquinas de tipo CNC (Ver figura 41), una peculiaridad que posee la placa RUMBA es que cuenta con el microcontrolador ATmega2560, dicho chip le permite compatibilidad con Arduino sin necesidad de una placa adicional) y firmwares como Marlin, Sprinter, Repetier-Firmware. La placa puede funcionar con cualquier fuente de alimentación de 12V-35V, es compatible con 3 extrusores. Existe otra variante

de la ya mencionada placa base, llamada RUMBA +, que cuenta con ciertas mejoras con respecto a la placa convencional, dentro de dichas mejoras, se encuentra la capacidad de conectar controladores de pantalla táctil.

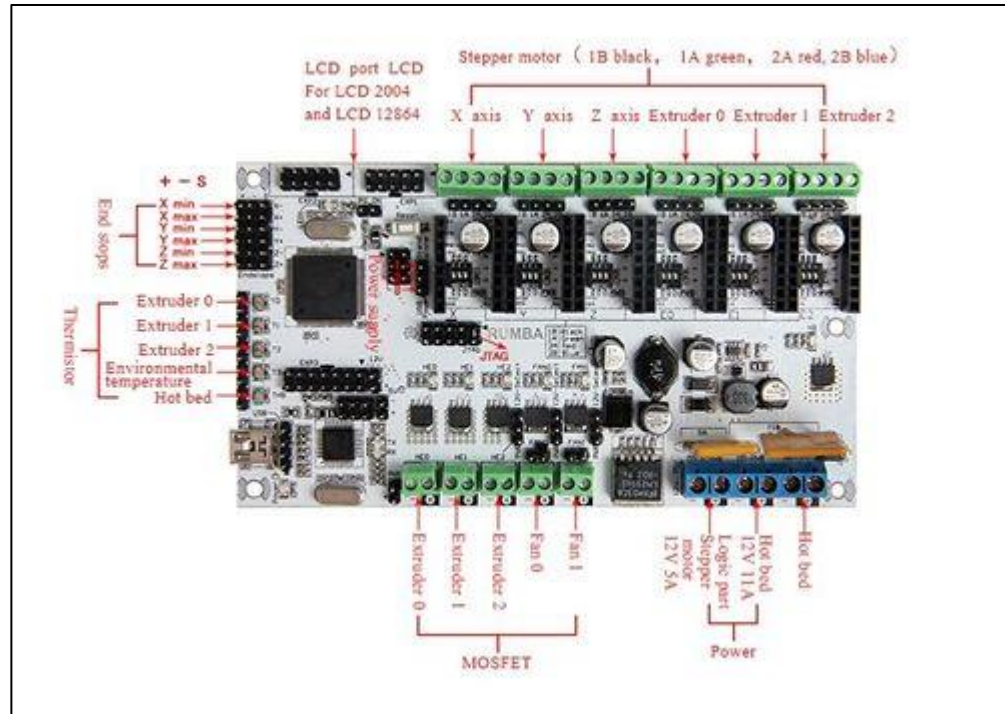


Figura 41: Placa base RUMBA+.

Fuente: Reprap Org (2022)

La placa base (shield) seleccionada para la impresora 3D diseñada en el presente trabajo de investigación será una del tipo Ramps 1.4, debido a su bajo costo, facilidad de recambio y alta compatibilidad con los componentes que se desean implementar en el desarrollo del proyecto.

- f) **Cama caliente:** La cama caliente representa la superficie donde se realiza la deposición de material y, por lo tanto, es el lugar donde se forma la pieza que se desea imprimir. Dicho elemento posee una forma plana y puede fabricarse en diversos materiales, como el Aluminio o PCB (Printed Circuit Board), acompañado en la mayoría de ocasiones por una superficie adicional como cristal templado o un recubrimiento microporoso, tales superficies se disponen por encima de la cama caliente y pueden proporcionar aspectos adicionales para

mejorar la calidad y facilidad de impresión, como una mejor adherencia del material, mejor tasa de transferencia de calor, mayor velocidad de calentamiento, entre otros aspectos.

Las distintas camas calientes suelen diferenciarse bajo una nomenclatura, por ejemplo, las fabricadas en aluminio y que no presentan cristal en la parte superior, poseen el nombre de camas MK3, las camas fabricadas en PCB (Printed Circuit Board) se denominan MK2. Adicionalmente, se encuentran las camas calientes magnéticas que pueden generar una velocidad de calentamiento superior y trabajan con 24V de corriente.

La cama caliente más utilizada y versátil para procesos de impresión 3D convencionales (materiales poliméricos como el PLA) es la MK2a (Ver figura 42) junto con un cristal templado de borosilicato (compuesto en su mayoría por sílice y óxido de boro) debido a su simplicidad, facilidad de mantenimiento y bajo costo. Es por lo descrito anteriormente que, para la impresora diseñada en el presente trabajo de investigación, se implementará una cama caliente del tipo MK2a con 200 x 200 mm de largo y alto, además del cristal de borosilicato como superficie de impresión.



Figura 42: Cama caliente PCB tipo MK2a
Fuente: Electronilab (2022)

g) **Driver potenciómetro de los motores:** Al utilizar motores paso a paso, se requiere de una unidad de control de potencia, que puede resumirse como un pequeño chip que permite controlar todas las variables de funcionamiento del motor, como la potencia, RPM, desplazamiento, torque, entre otras. Para ello, se requiere enlazar dicho módulo o módulos (dependiendo de la cantidad de motores a utilizar) con la placa base de la impresora y esta, a su vez, se enlaza al Arduino para poder transformar un código de programación elaborado en un lenguaje compatible con la impresora, en desplazamiento de los motores, según los parámetros establecidos en la línea de código. El tipo de driver seleccionado para la impresora 3D diseñada, será el DRV8825, debido a que incorpora ciertas características y protecciones diseñadas específicamente para motores paso a paso, como el Microstepping (se pueden realizar pasos menores al paso nominal del motor) y la capacidad de regular la intensidad de corriente, lo que permite proteger el motor de las elevadas intensidades de corriente. (Ver figura 43)

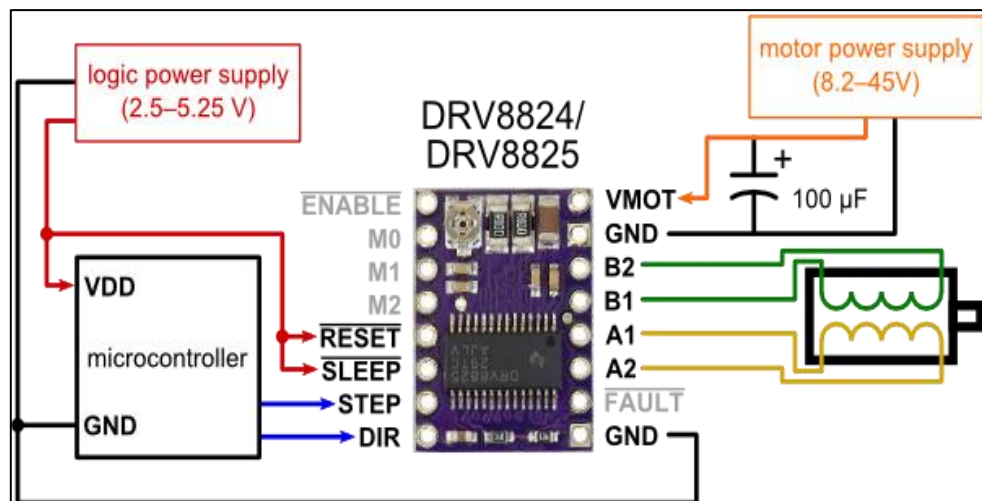


Figura 43: Diagrama de un Driver potenciómetro DVR8825 para motores paso a paso, distribuido de manera comercial

Fuente: Naylamp Mechatronics SAC (2021)

h) **Ventilador:** El ventilador forma parte del sistema de extrusión de la impresora, es importante acotar nuevamente que mediante el proceso de impresión 3D, se alcanzan temperaturas elevadas, por encima de los 200 °C en la mayoría de los

casos, es por ello que, se debe contar con un elemento que permita el descenso o control de la temperatura a la que se encuentra el sistema de extrusión, ya que, al encontrarse en períodos largos de impresión, podría existir alguna afectación en cualquiera de los materiales que intervienen en el proceso de extrusión, incluyendo el material de deposición.

Los ventiladores, además, permiten un enfriamiento rápido en caso de ser necesario para la preparación de la siguiente capa de impresión y así permitir al material alcanzar la temperatura indicada. El ventilador forma parte de los elementos que debe controlar la placa base de la impresora, ya que la velocidad y frecuencia con la que actúe dicho elemento, dependerá de las condiciones de temperatura requeridas para la impresión.

4.2.5.3 Selección del lenguaje de programación de control numérico.

La impresora, al ser un equipo mecatrónico, debe obedecer ciertas instrucciones para poder generar el correcto movimiento de su mecanismo. Si a la máquina no se le proporcionan los parámetros específicos y precisos para ejecutar cada una de las instrucciones, ésta no podrá realizar la impresión de manera precisa o, inclusive, no realizará el proceso de impresión.

Ahora bien, para que la impresora pueda decodificar las líneas de código, se requiere cargar un firmware al Arduino, el cual debe ser compatible con las características, tipo de placa y de impresora a utilizar. Existe gran variedad de firmwares compatibles con impresión 3D y programables mediante Arduino, tales como Sprinter, gbrl y Marlin.

El lenguaje Marlin es un sistema de código abierto gratuito que permite controlar de manera sencilla y rápida máquinas que requieren de un sistema computarizado para ejecutar sus funciones, como las impresoras 3D, e inclusive máquinas CNC. Una de características más resaltantes del Marlin como firmware es que busca adaptarse a la mayor cantidad de placas posible, es por ello que, posee una gran versatilidad para su implementación en proyectos experimentales para el desarrollo de máquinas que funcionen bajo los principios de deposición de materiales, corte o desprendimiento de

viruta. El lenguaje de programación que maneja Marlin es un derivado del G-code, que está destinado al control de máquinas de impresión 3D, al ser un lenguaje fácil de interpretar, permite a entusiastas desarrollar de manera fácil conocimientos para su uso y sincronización.

Para el caso particular de las impresoras 3D que funcionan bajo el principio de modelado por deposición fundida (FDM según sus siglas en inglés) el firmware Marlin se ejecuta en la placa principal de la impresora, gestionando todas las actividades que desarrolla la máquina en tiempo real, generando la coordinación del calentador, los motores paso a paso, sensores como los finales de calera, pantalla LCD, botones y todo lo demás involucrado en dicha tecnología de impresión 3D.

Para la impresora 3D FDM, diseñada en el presente trabajo de investigación, fue seleccionado el Marlin como firmware para la interpretación del lenguaje de control numérico, debido a las ventajas descritas anteriormente, resaltando su practicidad y facilidad de implementación en impresoras 3D desarrolladas de manera experimental.

4.2.6 Software de diseño y preparación de piezas.

4.2.6.1 Modelado 3D.

El objetivo de los programas o softwares de modelado de piezas en tres dimensiones, dentro de cualquier aplicación, es poder mostrar una idea de cómo quedará la pieza luego de someterse al proceso de modelado de fabricación aditiva. Dentro de la gran variedad de programas que existen en la actualidad, para el presente trabajo de investigación se recomienda el uso del software CAD Autodesk Inventor 2020 o sus versiones posteriores. Dicho software permite modelar piezas individuales tanto normales como chapas metálicas que manejan extensiones “.ipt”. Además, posee la facultad de crear ensamblajes y conjuntos soldados bajo la extensión “.iam”.

Una de las ventajas que proporciona dicha versión es que de manera predeterminada y natural de la solución CAD sin necesidad de una integración con otro programa externo, logra incluir una extensión para preparar la pieza modelo 3D de extensión “.iam” o “.ipt” en el formato requerido por el software de slicing en formato “.stl”. La empresa 3D systems encargada del diseño, fabricación y venta de impresoras

3D define el formato STL como “el formato de transmisión de datos estándar por excelencia de la industria de creación rápida de prototipos”. “Un archivo STL es una versión simplificada de un archivo CAD, con menos cantidad de información y con la geometría final «sintetizada», resumida, optimizada, reducida al mínimo posible para que no se pierda la geometría y estructura del objeto.” (Regidor A., 2016).

4.2.6.2 Preparación para la impresión de piezas (Slicing)

Una vez definido el software de modelado 3D se procede a definir cuál será el software a utilizar para la configuración de los parámetros de impresión 3D. En este punto se hace uso de los programas slicer, encargado de descomponer la pieza modelada en tres dimensiones en capas, además junto con los parámetros configurados dentro del sistema, como la velocidad con la que se moverán los ejes que componen la máquina, el tiempo de deposición, la temperatura del extrusor, entre otros parámetros; logra construir y diseñar el código g necesario para el funcionamiento de la impresora. A continuación, en la figura 44, se presenta un ejemplo de código g para movimiento lineal.

```
G0 X12 ; mover hasta 12 mm en el eje X
G0 F1500 ; ajustar el feedrate a 1500 mm / minuto
G1 X90.6 Y13.8 ; mover hasta 90.6 mm sobre el eje X y 13.8 mm sobre el eje Y
```

Figura 44: Fragmento de un código g para movimiento lineal

Fuente: Impresora3DOnline (2022)

Existen una gran cantidad de software slicer dentro del mercado, cada uno con características y compatibilidades que los hacen únicos con relación a los demás sistemas. A continuación, se presenta en el cuándo 10, algunos de los softwares más comunes e implementados para realizar el proceso de rebanado o slicing de las piezas comúnmente en formato STL, para poder generar el lenguaje de código y así transmitir a la máquina qué acciones debe realizar para lograr la impresión 3D de dicha pieza diseñada.

Cuadro 10: Comparación entre softwares para realizar proceso de slicing.

Sistema	Fabricante	Firmwares Compatibles	Movimiento manual	Controles manuales del extrusor	Desactivar motores manualmente	Control manual de la cama caliente	Terminal Gcode en vivo	Compilador de Gcode integrado
Printrun AKA Pronterface	Kliment	Sprinter	Si	Si	Si	Si	Si	No
Cura	Daid	Marlin Sprinter	Si	Si	Si	Si	Si	Si
ReplicatorG	RRRF	Makerbot, 5D	Si	Si	Si	Si	No	Si
EMCRepRap	EMC and RepRap.org	Linux PC	Si	-	-	-	-	No
RepRap Host Software	RepRap.org	5D GCode Interpreter FiveD on Arduino	Si	Si	No	Si	No	Si
RepSnapper	Kulitorum et al.	5D GCode Interpreter 3D GCode Interpreter	Si	Si	Si	Si	Si	Si
send.py (bundled with SkeinForge)	Brendan Erwin and John Gilmore	5D GCode Interpreter 3D GCode Interpreter	No	No	No	No	No	No
GCode-utils	Ralith	5D GCode Interpreter 3D GCode Interpreter	Si	-	-	-	Si	No
Repetier-Host	repetier	Repetier-Firmware Sprinter, Teacup Marlin	Si	Si	Si	Si	Si	Si
RebRep	RebRep	Sprinter	Si	Si	Si	No	Si	No

Autores: Fernández, Velásquez (2022)

En lo que respecta al presente proyecto de investigación, considerando que el diseño de la impresora se enmarca dentro de la metodología Rep Rap, se pretende trabajar con software de código abierto para el procesamiento funcional del gcode por parte del Arduino mediante el firmware Marlin, se puede observar en el cuadro 11 que los programas o softwares compatibles con dicho firmware son el Software Cura y el Software Repetier-Host. (Ver cuadro 11)

Cuadro 11: Características de los softwares Cura y Repetier-Host.

Sistema	Fabricante	Firmwares Compatibles	Movimiento manual	Controles manuales del extrusor	Desactivar motores manualmente	Control manual de la cama caliente	Terminal Gcode en vivo	Compilador de Gcode integrado
Cura	Daid	Marlin Sprinter	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Repetier-Host	repetier	Repetier-Firmware Sprinter, Teacup Marlin	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Autores: Fernández, Velásquez (2022)

El software Repetier-Host representa una interfaz intuitiva y fácil de utilizar, una de las ventajas que presenta se encuentra relacionada con la capacidad de trabajar con distintos motores de slicing, pudiendo realizar el proceso de distintas maneras, buscando resultados y parámetros específicos según lo requerido para la impresión. Repetier-Host permite visualizar los trazados de la impresora en cada una de las capas, pero al contar con una interfaz tan sencilla, tiende a contar con una menor capacidad de simular el movimiento dinámico de un extrusor al momento de realizar la impresión. (Ver figura 45)

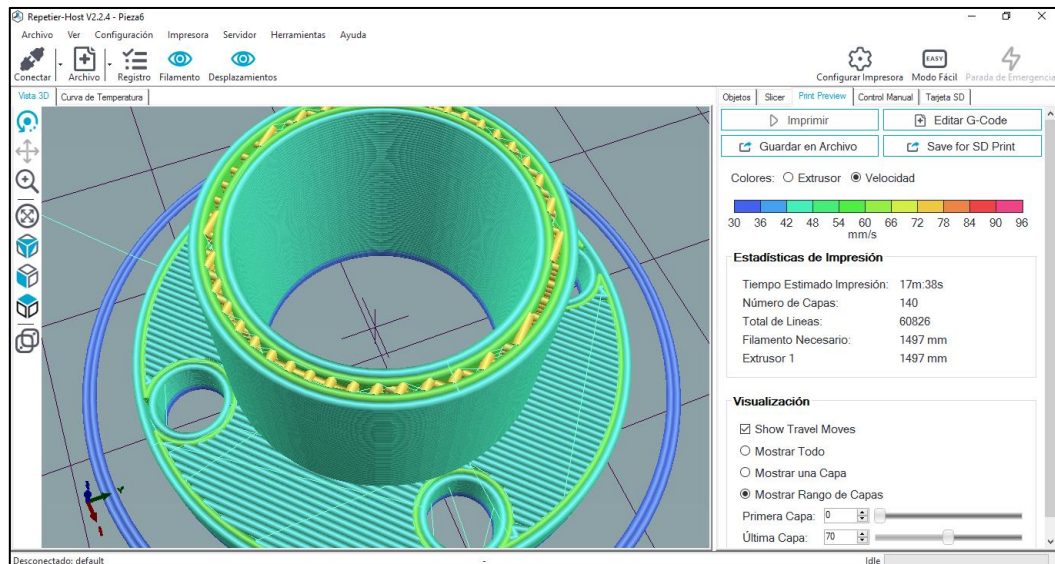


Figura 45: Visualización de un procedimiento de slicing realizado con repetier-host
Autores: Fernández, Velásquez (2022)

El Cura, por su parte, posee prácticamente las mismas capacidades de su homólogo, el Repetier-Host, una de las mayores diferencias con respecto al software descrito anteriormente, se relaciona con la resolución de la interfaz y la posibilidad de previsualizar los recorridos del extrusor de forma dinámica y no con líneas solamente, como es el caso del repetier Host. (Ver figura 46)

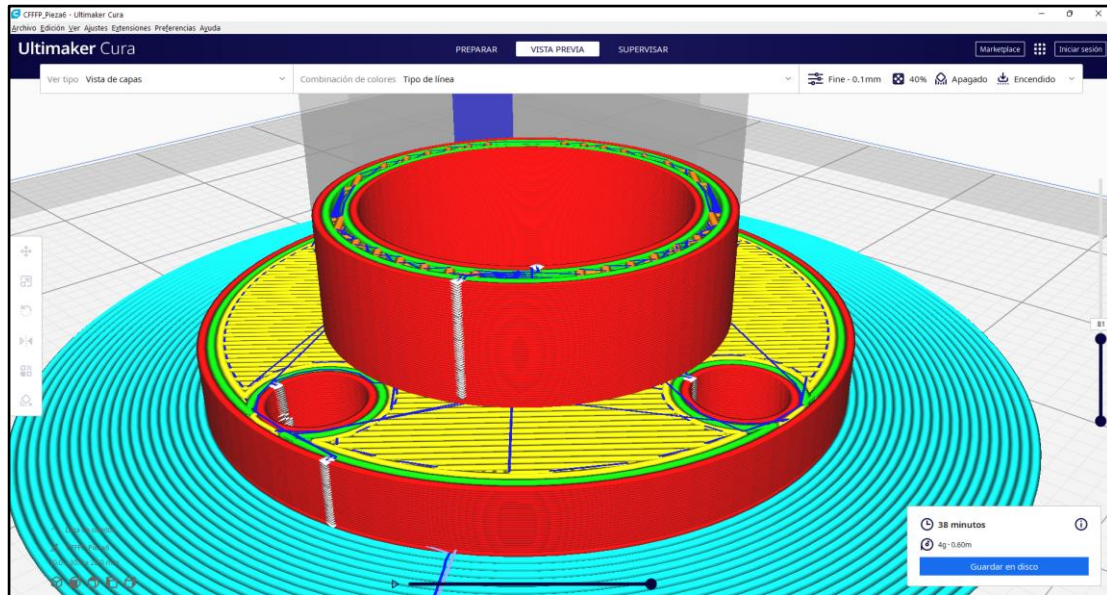


Figura 46: Proceso de slicing de una pieza, utilizando el software Cura.

Autores: Fernández, Velásquez (2022)

Al realizar una comparación entre ambos programas, se puede observar que poseen funcionalidades muy parecidas, pero en términos de interfaz y en ciertas funcionalidades el software cura es superior, por lo tanto, es el elegido para el diseño de la impresora 3D propuesta en el presente trabajo.

4.2.6.3 Selección de software computacional para modelado 3D de propuestas de impresora y simulación final del prototipo.

El programa empleado para el modelado de la impresora 3D, diseñada a través del presente proyecto de investigación, será Autodesk Inventor, esto debido a que, al ser el software principal de la empresa Autodesk, posee un conjunto de herramientas profesionales y específicas para el diseño mecánico 3D, que incluyen desde el diseño paramétrico de piezas y ensamblajes, simulación, visualización, automatización, bibliotecas de elementos normalizados y bocetaje, que en otros programas CAD son secundarias. Además, el software permite la integración de datos en 2D y 3D en un mismo entorno logrando crear así una representación virtual del producto final, de forma que se puede inspeccionar y ajustar el funcionamiento del producto en cualquier momento durante la fase de diseño. (Ver figura 47)

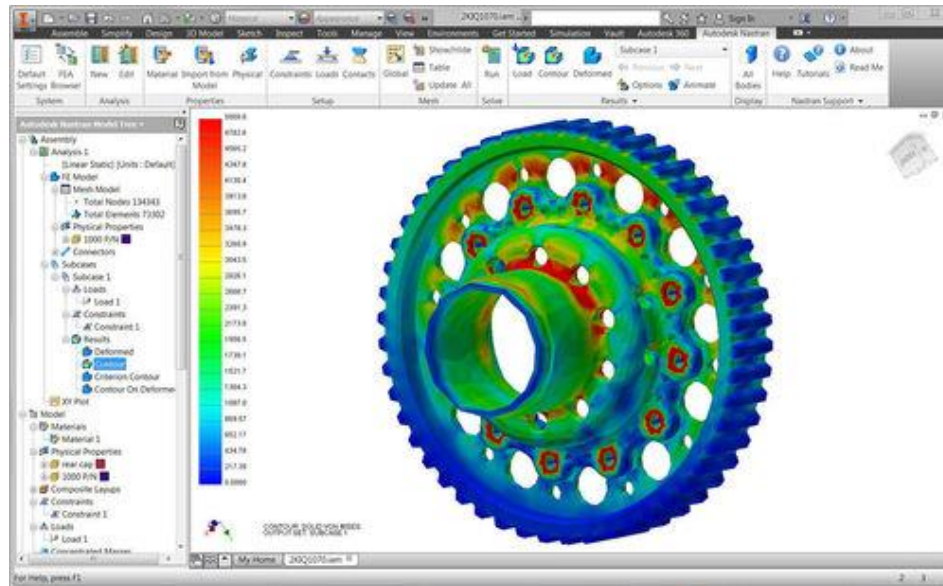


Figura 47: Simulación de esfuerzos y deformación en Inventor
Fuente: Fernandez, Velasquez (2022).

4.3 Determinación de posibles alternativas para el diseño de la impresora 3D

Como se hizo mención en la fase anterior, el diseño contempla una impresora 3D de tipo FDM que cuente con las características necesarias para ser utilizada como herramienta didáctica.

Para la selección del mecanismo de movimiento de la máquina a diseñar se toman como referencia los siguientes modelos de impresora 3D.

4.3.1 Sistema basado en el funcionamiento de las máquinas Supra i3:

En este modelo comercial de impresora el eje “X” se identifica como el eje de desplazamiento horizontal del extrusor y del carro porta extrusor. Por su parte, el eje “Y” es aquel por el cual se desplaza la cama caliente y sus elementos asociados, mientras que el eje “Z” es el encargado del desplazamiento vertical del extrusor y del carro porta extrusor. En la figura 48 se presenta el esquema de movimiento antes descrito. (Ver figura 48)

Ventajas:

- Tienen bajo costo
- Poseen un diseño no complejo
- Auto replicable

- Área de impresión grande.

Desventajas:

- Poca estabilidad a lo largo del eje z.
- Suele ocupar más espacio debido al desplazamiento del eje “Y”

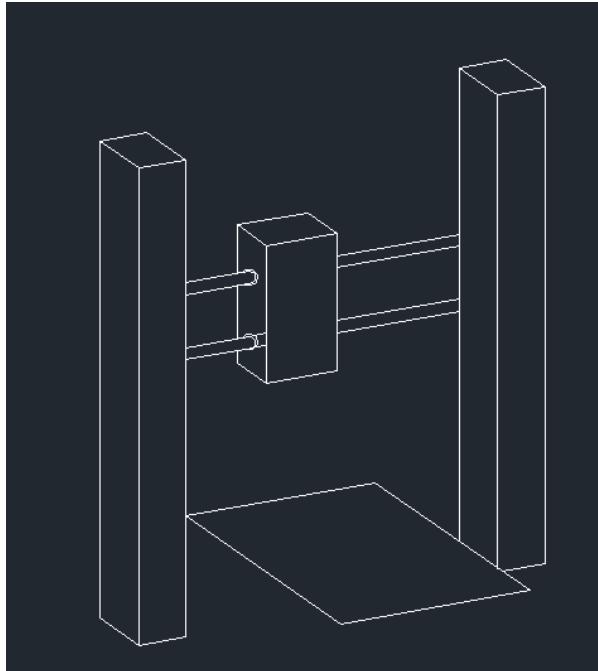


Figura 48: Estructura de una impresora 3D Supra i3.
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

4.3.2 Sistema basado en el funcionamiento de las máquinas MarketBot:

En este modelo, la estructura consta de cuatro columnas verticales en donde se apoyan los ejes “X” – “Y” encargados del desplazamiento del extrusor y del carro porta extrusor, mientras que, por otro lado, el eje Z se encarga de mover la cama caliente de arriba hacia abajo. (Ver figura 49)

Ventajas:

- Posee una mayor estabilidad a lo largo del cabezal y la base de impresión
- Ocupa menos espacio debido al desplazamiento en el eje Z de la base de impresión.
- Posee una mayor área de impresión
- Puede facilitarse una carcasa cerrada, protegiendo así el modelo

Desventajas:

- Mayor costo de fabricación.
- Requiere ejes más resistentes para el desplazamiento del eje Z.

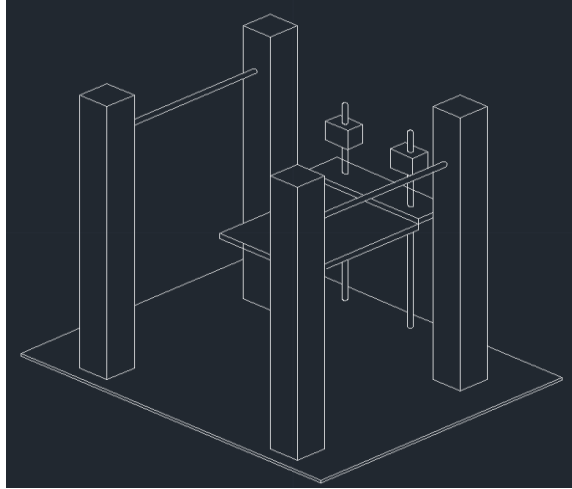


Figura 49: Máquina de tipo Marketbot
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

4.3.3 Sistema basado en el funcionamiento de las máquinas Cube 3D:

En este modelo, la estructura consta de dos columnas encargadas de soportar el peso del eje X, en la cual se desplaza el cabezal extrusor. Por su parte, la base de deposición se traslada a lo largo del eje Y, al mismo tiempo esta sobre el eje Z, Por lo que una de las columnas tendrá que soportar la carga del eje Y. En la figura se puede apreciar la estructura y los ejes de movimiento. (Ver figura 50)

Ventajas:

- Costo moderado
- Construcción sencilla
- Fácil operación.

Desventajas:

- Poca estabilidad de los ejes Y – Z
- Área de impresión muy pequeña,
- No se encuentra totalmente cerrada.

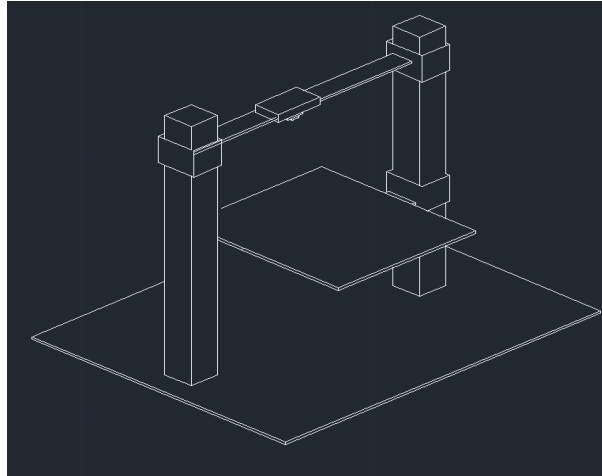


Figura 50: Impresora con estructura tipo Cube 3D.

Autores: Fernández, Velasquez (2022)

Para la selección del modelo de impresora más adecuado para ser aplicado en la Universidad José Antonio Páez se hizo uso de un sistema de ponderación en base a características como el costo, facilidad de instalación, de diseño y de mantenimiento, además de la resistencia de cada tipo de mecanismos. Cada mecanismo fue identificado con un número de opción, siendo la opción 1 el mecanismo Supra I3, la opción 2 el mecanismo marketbot y la opción 3 el mecanismo de tipo Cube 3D, dichos mecanismos fueron ponderados para obtener una puntuación final, la mayor puntuación asignable a cada mecanismo fue de cinco puntos, dicha puntuación fue comparada en base a la ponderación asignada a cada característica evaluada, donde luego de realizada la suma de los valores, resultó más viable la opción 1.

Cuadro 12: Criterio para la selección del mecanismo de movimiento

Sistema de movimiento	Opción 1		Opción 2		Opción 3		
	Ponderado	Puntuación	Ponderado de puntuación	Puntuación	Ponderado de puntuación	Puntuación	Ponderado de puntuación
Costo	30	5	1,5	3	0,9	4	1,2
Facilidad de instalación	15	5	0,8	3,5	0,5	4	0,6
Facilidad de diseño	15	4	0,6	2	0,3	3,5	0,5
Facilidad de mantenimiento	15	3,5	0,5	3	0,5	3,5	0,5
Resistencia	25	4	1,0	4	1,0	2	0,5
Total	100	21,5		15,5		17	

Autores: Fernández, Velasquez (2022)

4.3.4 Diseño de los mecanismos de transmisión de movimiento.

Como se mencionó en puntos anteriores del presente trabajo, se requiere de un sistema compuesto de elementos mecánicos para lograr propiciar el movimiento necesario que requiere la máquina para su funcionamiento en condiciones nominales.

Para esto, se trabaja con 3 ejes sincronizados mediante el sistema electrónico y de control, pero a su vez independientes entre sí, encargados de dar vida al modelo 3D diseñado previamente por el usuario.

4.3.4.1 Mecanismo de movimiento en el eje X

El mecanismo escogido para el eje X, encargado de mover el extrusor a lo largo y a lo ancho de dicho eje, como se puede observar en figura 51, corresponde a un mecanismo de transmisión de potencia y movimiento mediante poleas y una correa dentada o de sincronización, a su vez se emplea un conjunto de rodamientos que se encargan de disminuir la fricción entre el/los ejes y el agujero interior de las poleas.

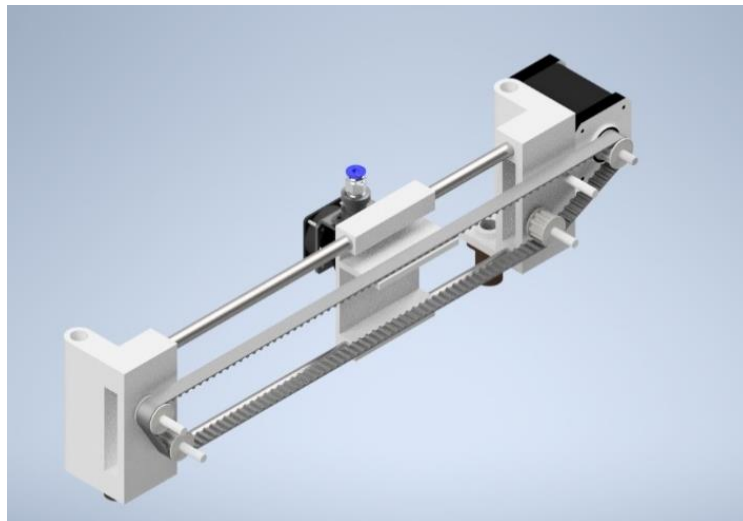


Figura 51: Mecanismo de desplazamiento Eje X
Autores: Fernández y Velásquez (2022)

De igual manera, como elemento motriz se emplea un motor paso a paso Nema 17 de 200 pasos por revolución con un ángulo de movimiento de 1.8° para darle movimiento al sistema, proporcionando la velocidad y el torque necesario para el desplazamiento de los elementos y para el vencimiento de la resistencia mecánica del sistema. Por lo tanto, para conocer el detalle de los parámetros generales y básicos de

funcionamiento es necesario aplicar un análisis matemático que relacione las variables adecuadamente.

Teniendo en cuenta lo anterior, el desplazamiento horizontal del extrusor se encuentra relacionado directamente con el número de pasos por vuelta del motor, la relación de transmisión existente entre las poleas del mecanismo y el paso de la correa.

Por su parte, la velocidad angular del motor depende del radio de la polea dentada y de la velocidad a la que se espera mover la máquina en el proceso de impresión, mientras que la potencia depende de la inercia y de la resistencia del mecanismo.

A continuación, se presenta el modelo matemático empleado para el cálculo de los parámetros antes mencionados

- Resistencia Eje X

En la figura 52 se presentan los elementos que constituyen el apoyo al sistema de del eje X. En ella se puede observar que se cuenta con un soporte en cada extremo y el carrito se desplaza a lo largo de dos ejes que sirven de apoyo para obtener así mayor exactitud en el avance del extrusor, además estos son los que soportan todo el peso del carro extrusor.

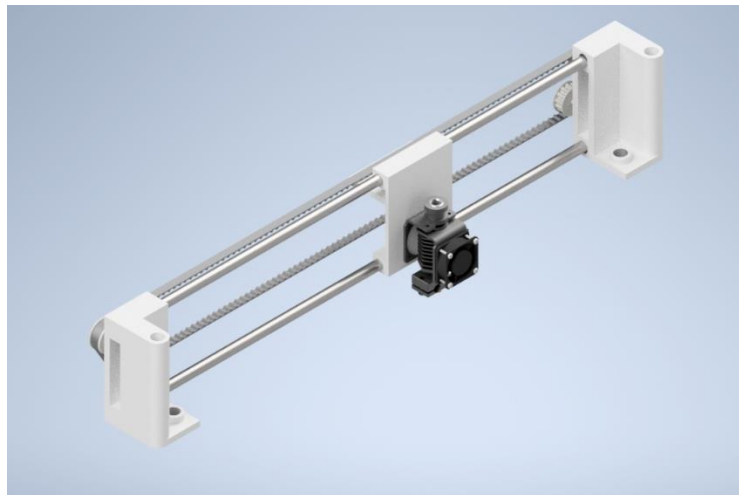


Figura 52: Soportes del eje X
Autores: Fernández y Velásquez (2022)

Ahora bien, la carga que soportan los ejes es la suma del peso del carro porta extrusor y el peso del extrusor. En función del modelado realizado en el software Autodesk Inventor los valores son:

1. Peso del carro porta extrusor: 0.039 kg o 39 gr
2. Peso del extrusor: 0.1 kg o 100 gr

Además de las cargas mencionadas anteriormente, se debe tomar en cuenta el peso del filamento que se introduce en el extrusor, el peso de los cables utilizados en la máquina entre otras consideraciones que en total dan un peso aproximado de 100 gr más.

Aplicando un factor multiplicador de carga con valor de 3 para la aumentar la confiabilidad del diseño se tiene que la carga total a soportar por los ejes es de 0.717 kg o 7.04 N. Como se está trabajando con 2 ejes de soporte, la carga total debe dividirse entre los dos ejes. Por lo tanto, el valor que actúa en cada eje es de 3.52 N.

El material que se propone para los ejes es el acero inoxidable gracias a su gran propiedad anticorrosiva, el esfuerzo de fluencia del material es de 195 N/mm^2 . Por lo tanto, utilizando la ecuación 5, con un factor de seguridad de 3 se debe cumplir que:

$$\sigma_{trab} < \frac{Sy}{N} < \frac{195 \text{ N/mm}^2}{3} \quad \sigma_{trab} = 65 \text{ N/mm}^2$$

Realizando la sustitución de los cálculos en las ecuaciones 5 y 6 se tiene que:

$$M_f = \frac{3.52 \text{ N} * 280 \text{ mm}}{4} = 246.4 \text{ Nmm}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * 246.4 \text{ Nmm}}{\pi * 65 \text{ N/mm}^2}} = 3.38 \text{ mm}$$

Lo que da como resultado un diámetro para cada eje utilizado de 3.38 mm como mínimo. En función de lo anterior, en la máquina se utilizarán ejes cilíndricos de acero inoxidable 304 de 8 mm de diámetro para disminuir costos debido a la normalización y gran producción de la pieza.

4.3.4.2 Mecanismo de movimiento en el eje Y

En lo que respecta al movimiento del eje Y, en la imagen X se presenta un bosquejo de la distribución de los elementos que componen el mecanismo. Para proceder con el cálculo se sigue la misma base de cálculo que se describió anteriormente con la diferencia que acá se tienen 3 ejes en lugar de dos. (Ver figura 53)

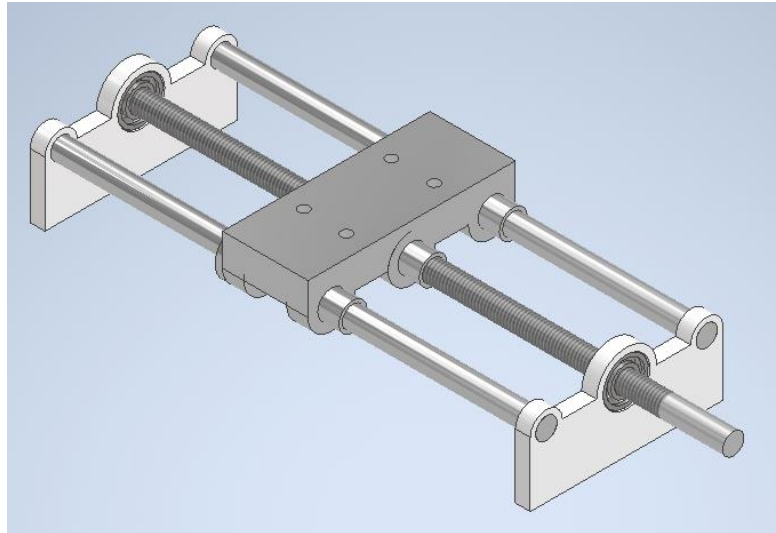


Figura 53: Mecanismo de desplazamiento Eje Y

Autores: Fernández y Velásquez (2022)

Para realizar el cálculo del diámetro mínimo del eje se procede a definir el material a utilizar. Para este mecanismo igualmente se empleará el acero inoxidable, por lo que se tiene que cumplir la siguiente condición, según la ecuación 5:

$$\sigma_{trab} < \frac{Sy}{N} < \frac{195 \text{ N/mm}^2}{3} \quad \sigma_{trab} = 65 \text{ N/mm}^2$$

Para determinar el valor del momento flector máximo se sigue el mismo criterio donde se tiene que el valor máximo se obtiene con la ecuación N° 6:

$$M_f = \frac{PL}{4}$$

Para la definición de la carga total que actúa sobre los ejes no solamente se debe tomar en consideración el peso de los componentes sino también la capacidad volumétrica de la impresora, esto debido a que el eje Y es el que soportará todo el peso de las piezas a fabricar. Siguiendo lo anterior y considerando que los modelos de

impresora involucrados en la selección del mecanismo fluctúan en un rango de $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ hasta $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$, se tiene entonces que la capacidad volumétrica total de la impresora a diseñar en el presente trabajo viene dada por las siguientes medidas que se muestran en la figura 54.

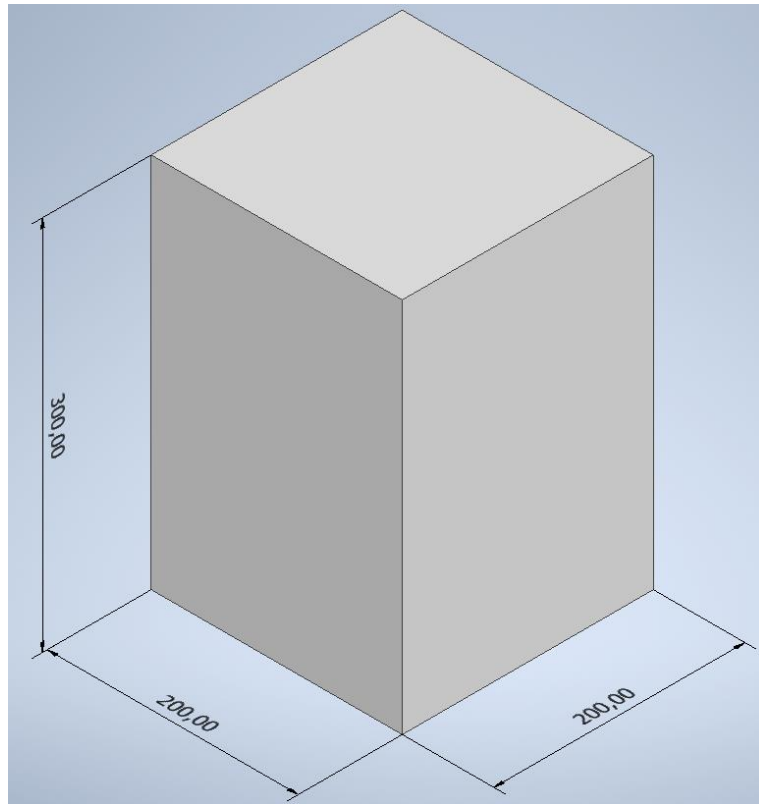


Figura 54: Capacidad volumétrica de la impresora 3D diseñada
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

Lo que, al reemplazar en la ecuación 16, da un volumen total de:

$$V = 0,200 \text{ m} * 0,300 \text{ m} * 0,200 \text{ m} = 0.012 \text{ m}^3 = 12000 \text{ cm}^3$$

Al relacionarlo con la densidad del material a imprimir (PLA) se tiene que

$$\rho = 1,26 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Por lo tanto, el peso máximo que la impresora podrá imprimir será calculado en base a la ecuación 17:

$$P_{imp} = 1,26 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 12000 \text{ cm}^3 = 15120 \text{ g} = 15,120 \text{ Kg}$$

Para determinar el peso del carro porta cama caliente se empleó nuevamente el software Autodesk Inventor dando un total de 0.482 Kg, mientras que para el soporte de la cama caliente es de 0.323 Kg. Al realizar la sumatoria se tiene que:

$$P = 0,323 \text{ Kg} + 0,482 \text{ Kg} + 15,120 \text{ Kg} = 15,925 \text{ Kg} = 150 \text{ N}$$

Los ejes deslizantes poseen una longitud total de 234 mm mientras que el eje central posee una longitud de 264 mm.

- Ejes laterales: Utilizando las ecuaciones 6 y 7 se tiene:

$$M_f = \frac{50 \text{ N} * 234 \text{ mm}}{4} = 2925 \text{ Nmm}$$

Sustituyendo los valores se tiene lo siguiente:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * 2925 \text{ Nmm}}{\pi * 65 \text{ N/mm}^2}} = 7.71 \text{ mm}$$

- Eje central

$$M_f = \frac{50 \text{ N} * 264 \text{ mm}}{4} = 3300 \text{ Nmm}$$

Sustituyendo los valores se tiene lo siguiente:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * 3300 \text{ Nmm}}{\pi * 65 \text{ N/mm}^2}} = 8.02 \text{ mm}$$

En función de lo calculado anteriormente, en el mecanismo se utilizarán barras comerciales de 10 mm de diámetro.

Una vez definido el diámetro se procede a calcular los parámetros necesarios para el movimiento del sistema. Tomando como dato principal el diámetro de la barra escogida y utilizando las ecuaciones de la 16 hasta la 20 se tiene que:

$$D_p = 10 \text{ mm} - \frac{2 \text{ mm}}{2} = 9 \text{ mm}$$

$$\lambda = \tan\left(\frac{2 \text{ mm}}{\pi 9 \text{ mm}}\right) = 4.04^\circ$$

$$T_u = \left(\frac{150 \text{ N} 9 \text{ mm}}{2}\right) \left(\frac{\cos(20) \tan(4.04) + 0.18}{\cos(20) - 0.18 * \tan(4.04)}\right) = 179.39 \text{ Nmm} = 0.18 \text{ Nm}$$

$$T_d = \left(\frac{150 \text{ N } 9 \text{ mm}}{2} \right) \left(\frac{0.18 - \cos(20) \tan(4.04)}{\cos 20 + 0.18 * \tan(4.04)} \right) = 80.53 \text{ Nmm} = 0.085 \text{ Nm}$$

4.3.4.3 Mecanismo de movimiento en el eje Z

En lo que respecta al eje Z, en la imagen X se presenta un boceto descriptivo del mecanismo donde se puede observar que al igual que en el eje Y se hace uso de husillos de bolas encargados de transmitir el movimiento que requiere la máquina para subir y bajar el extrusor. (Ver figura 55)

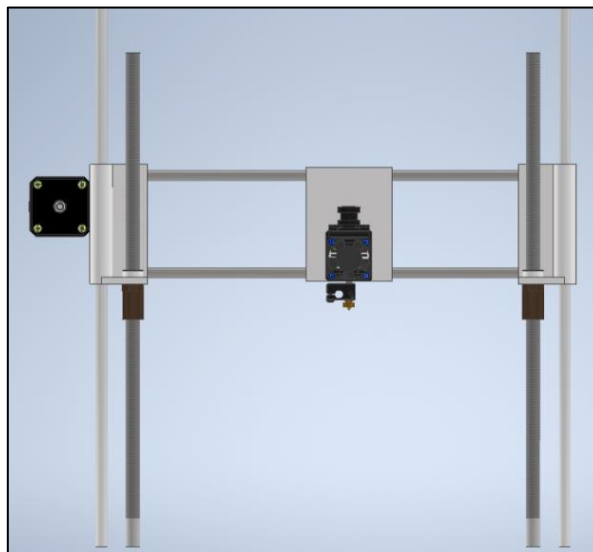


Figura 55: Mecanismo de desplazamiento Eje Z

Autores: Fernández, Velásquez (2022)

Para determinar la carga total que actuará sobre los ejes se deben considerar todos los elementos que componen el mecanismo del eje X, esto se obtiene de la siguiente manera:

- Peso del mecanismo de movimiento para el eje x
 - Motor: 350 gr
 - Soportes laterales: 174 gr
 - Ejes laterales: 226 gr
 - Carro porta extrusor: 50 gr
 - Hot End: 150 gr
 - Elementos adicionales (correas y poleas): 100 gr

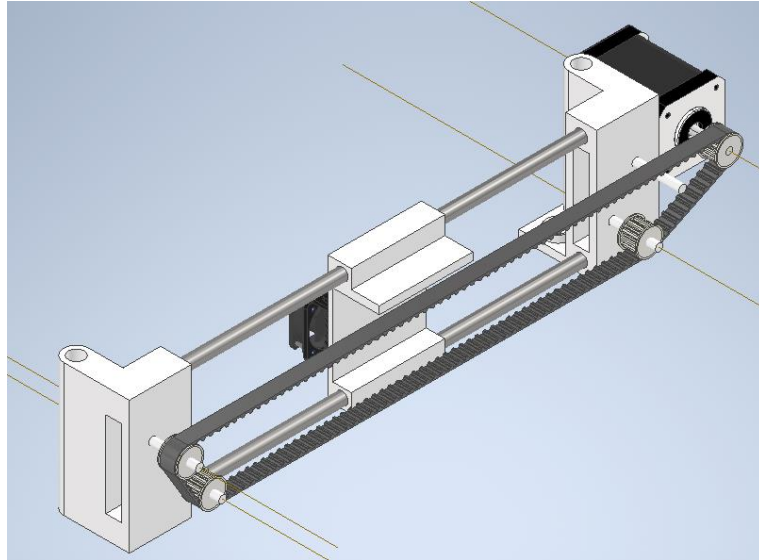


Figura 56: Mecanismo motriz para el eje X
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

Por lo tanto, el peso total es de 1,05 Kg o 10.3 N. Sin embargo, de igual manera se utiliza un factor multiplicador de carga para aumentar la confiabilidad del diseño, esto da como resultado lo siguiente:

$$P = 10.3 \text{ N} * 3 = 30.9 \text{ N}$$

Recordando que el criterio de diseño a emplear para el cálculo de resistencia será el criterio de columnas bajo compresión, para evitar la condición de pandeo que se presenta cuando los ejes están sometidos a cargas verticales paralelas a su eje neutro.

Al realizar la sustitución en la ecuación 22, para el cálculo del diámetro mínimo posible del eje se obtiene lo siguiente:

$$d_{min} = \sqrt[4]{\frac{64 * 30.9 \text{ N} * 0.350 \text{ m}^2}{206 \text{ GPa} * \pi^3}} = 3.23 \text{ mm}$$

Para facilidad de selección de componentes se escogen 2 tornillos de potencia normalizados de 8 mm de diámetro con la rosca más fina posible para así darle más precisión al desplazamiento del sistema.

Una vez definido el diámetro se procede a calcular los parámetros necesarios para el movimiento del sistema. Para esto se toman en cuenta las ecuaciones desde la 17 a la 20.

$$D_p = 8 - \frac{2}{2} = 7 \text{ mm}$$

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{2 \text{ mm}}{\pi * 7 \text{ mm}}\right) = 5.19^\circ$$

$$T_u = \left(\frac{30.9 \text{ N} * 7 \text{ mm}}{2}\right) \left(\frac{\cos(20) \tan(5.19) + 0.18}{\cos(20) - 0.18 * \tan(5.19)}\right) = 31.1 \text{ Nmm} = 0.031 \text{ Nm}$$

$$T_d = \left(\frac{30.9 \text{ N} * 7 \text{ mm}}{2}\right) \left(\frac{0.18 - \cos(20) \tan(5.19)}{\cos(20) + 0.18 * \tan(5.19)}\right) = 10.70 \text{ Nmm} = 0.01 \text{ Nm}$$

Para el cálculo de la potencia requerida de los motores para el movimiento del mecanismo, se tiene lo siguiente, tomando en cuenta las ecuaciones 23 y 24.

Sustituyendo inicialmente los valores en la ecuación 24 los valores del radio calculado para el eje y la velocidad de movimiento se tiene lo siguiente:

$$\omega = \frac{50 \text{ mm/s}}{4 \text{ mm}} = 25 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 238.72 \text{ rpm}$$

Por lo tanto, al sustituir en la ecuación 23 se tiene:

$$P = 0.18 \text{ Nm} * 25 \frac{\text{Rad}}{\text{s}} = 4.5 \text{ W}$$

En función de la potencia y torque máximo calculado anteriormente, se procede a la selección de los motores a utilizar en los mecanismos de la impresora. Para esto se consideran los motores paso a paso que abarcan una cantidad de aplicaciones dentro de la mecatrónica. Específicamente para la presente aplicación se definen los motores paso a paso NEMA 17 ya que cumplen con los requerimientos solicitados por el sistema teniendo un torque nominal promedio de 0.5 Nm. En el cuadro 13 se presentan las características de dichos motores.

Cuadro 13: Características de motores NEMA 17

Marca	SureStep
Voltaje	DC
Tipo de motor	Sin escobillas
Numero de fases de salida	2
Freno integrado	No
Bastidor del motor	NEMA 17
Clasificación del amperaje	1,7A
Ángulo de paso	1,8°
Pasos por revolución	200
Tipo de bobinado	Bipolar
Tipo de conector	Macho 4 posiciones
Torque Máx (Nm)	0,43
Inercia del rotor (Ncm²)	0,05
Corriente nominal (A)	1,7
Carga radial máx (Kg)	6,8
Material	Carcasa de acero al carbono y eje de acero inoxidable
Peso (Kg)	0,3

Fuente: Automationdirect (2022)

Elaborado: Fernández y Velásquez (2022)

4.3.4.4 Cálculo características mecánicas del mecanismo motor – sistema motriz

Luego de haber realizado la selección del motor a emplear en la impresora, en función del cuadro x que representa la ficha técnica del equipo y del driver que lo controla y monitorea, se tiene que:

Cálculo de pasos por revolución

- Eje X.

Los pasos necesarios para que el motor pueda desplazar al HotEnd y al carro porta extrusor se obtienen mediante la ecuación 25, donde se cuenta con los siguientes valores:

Datos:

$$Pasos_{motor} = 200$$

$$Micropasos\ del\ driver = 16$$

$$Paso_{correa} = 2$$

$$Nro\ dientes_{polea} = 20$$

Al sustituir los datos en la ecuación 25 se tiene lo siguiente:

$$\frac{P}{mm} = \frac{200 * 16}{2 * 20} = 80\ Pasos/mm$$

- Eje Z y Eje Y

De manera análoga a la anterior, para determinar los pasos necesarios para desplazar la superficie de impresión y la estructura que se encuentra acoplada a ella, se utiliza la ecuación 26. Los datos a reemplazar se describen a continuación:

Datos:

$$Pasos_{motor} = 200$$

$$Micropasos\ del\ driver = 16$$

$$Paso_{rosca\ tornillo} = 2\ mm$$

Al sustituir los datos en la ecuación 26 se tiene lo siguiente:

$$\frac{P}{mm} = \frac{200 * 16}{2} = 1600\ Pasos/mm$$

- Extrusor

Para el cálculo de los pasos necesarios para generar el desplazamiento de 1 mm de material a través del sistema de extrusión, se utiliza la ecuación 27, los datos se describen a continuación:

Datos:

$$Pasos_{motor} = 200$$

$$Micropasos\ del\ driver = 16$$

$$D_{p\ engr} = 29.7\ mm$$

Al sustituir los datos en la ecuación 27 se tiene lo siguiente:

$$\frac{P}{mm} = \frac{200 * 16}{29.7 mm * \pi} = 34.3 \text{ pasos/mm}$$

4.3.5 Funcionamiento del sistema de extrusión.

4.3.5.1 Parámetros mecánicos del extrusor.

El extrusor utilizado para la impresora 3D, diseñada en el presente proyecto de investigación; cuenta con materiales como el Acero Inoxidable para la estructura interna del hotend, en cuanto al bloque de calentamiento y la parte externa del calentador fue seleccionada en Aluminio, el nozzle o boquilla será de latón. (Ver cuadro 14)

Cuadro 14: Propiedades de los materiales que componen el extrusor.

Material	Conductividad térmica $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	Calor específico $\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$	Densidad (Kg/m ³)
Aluminio	235	900	2690
Acero inoxidable	16.3	500	7930
Latón	109	380	8600

Fuente: Búsqueda de los distintos datos en la web por los autores.

Elaborado: Fernández, Velásquez (2022)

4.3.5.2 Tiempo de arranque del extrusor

Para el cálculo del tiempo de arranque del extrusor, el calentador que será utilizado para generar la energía térmica es un cartucho Reprap de 40 W de potencia incluido en kits comerciales, además se consideran las dimensiones del extrusor, con un largo de 88 mm, una sección circular con un diámetro exterior de 21 mm y la zona interior por donde pasará el filamento de PLA contará con un diámetro de 3mm. (Ver figura 57)

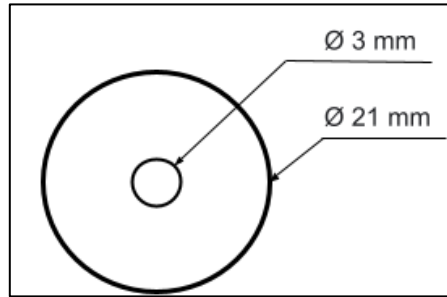


Figura 57: Sección transversal del sistema de extrusión.
Autores: Fernández, Velásquez (2022)

Para el cálculo del volumen del cilindro por donde se desplazará el material, se empleó la ecuación 37, sustituyendo los en dicha ecuación valores se tiene:

$$V = \frac{\pi(0.021^2 - 0.003^2) \cdot (0.088)}{4} = 2.986 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Para el cálculo de la masa, se considera que el extrusor se encuentra fabricado en un único material, el cual reúne las características de los materiales reales que conformarán el extrusor. El calor específico se encuentra alrededor de los $600 \frac{J}{Kg} ^\circ K$ y la densidad ronda los 6400 Kg/m^3

$$m = \rho V = \frac{6400 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot 2.986 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 0.191 \text{ Kg}$$

La energía requerida para que el disipador alcance la temperatura deseada $T_d = 230 \text{ }^\circ\text{C}$, asumiendo que la temperatura ambiente tiene un valor de $T_a = 25^\circ\text{C}$, implementando la ecuación 35 se tiene que:

$$Q = mC_p\Delta T = (0.191 \text{ Kg}) \left(600 \frac{J}{Kg} ^\circ K \right) (205^\circ K) = 23493 \text{ J}$$

Las pérdidas de energía calórica se estiman en un 10%, lo que dejaría la energía que proporciona el cartucho en $\dot{Q} = 36 \text{ W}$. Para el cálculo del tiempo se sigue la ecuación 36.

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}} = \frac{7910 \text{ J}}{36 \text{ W}} = 652.58 \text{ s} = 10.87 \text{ min}$$

4.3.5.5 Flujo de material.

Para el cálculo del flujo másico de material, hace uso de la ecuación 42.

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{C_p \Delta T} = \frac{36 \text{ W}}{(2060 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}}) \cdot (503^\circ\text{K} - 298^\circ\text{K})} = 0.0852 \text{ g/s}$$

Para calcular el caudal se requiere reemplazar los valores en la ecuación 43, obteniendo lo siguiente:

$$Q^* = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0.0852 \text{ g/s}}{1.252 \text{ g/cm}^3} = 0.068 \text{ cm}^3/\text{s}$$

4.3.6. Flasheo y configuración del firmware Marlin en el Arduino.

Para la configuración del Marlin, inicialmente, deben conocerse los componentes que conforman la impresora y las características de cada uno, además de todos los parámetros que rigen el funcionamiento de la impresora, como velocidad de impresión, recorrido máximo y mínimo, tipo de extrusor, material de impresión, temperatura de impresión, entre otros parámetros que resultan de vital importancia al momento de reemplazar los parámetros en las líneas de código y crear la configuración en el Marlin, la cual será grabada posteriormente hacia la placa de Arduino Mega.

Para flashear y configurar el Marlin, se requiere del software Arduino IDE, en donde debe realizarse la apertura del archivo Marlin.pde, que se encuentra en la carpeta donde se descargó el firmware. Una vez abierto el firmware en el Arduino, se debe seleccionar la ventana “configuración.h”, ya que, en ella es donde se llenarán los parámetros de configuración según la impresora. (Ver figura 58)

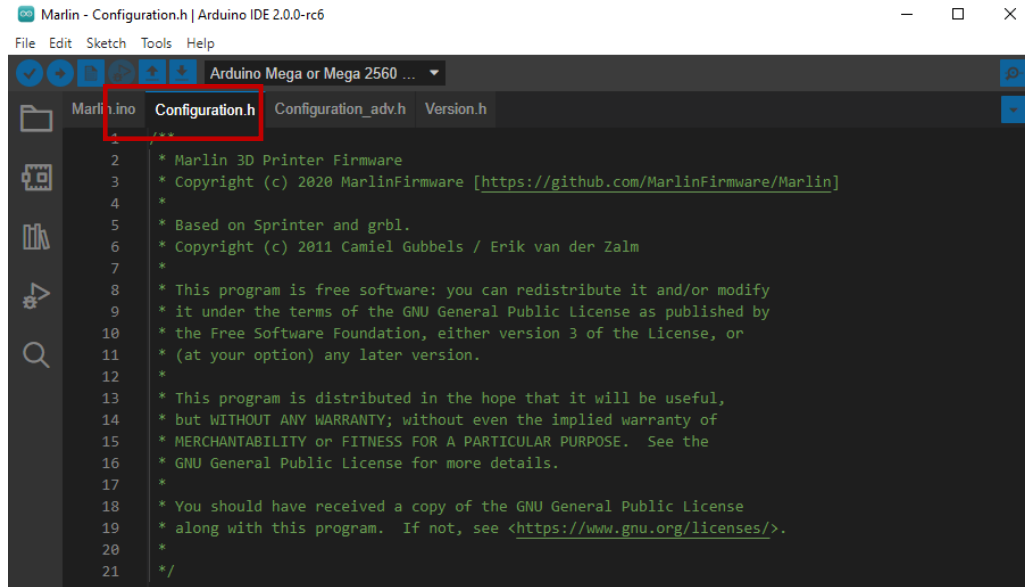


Figura 58: Selección de la ventana de configuración en el Marlin.

Autores: Fernández, Velásquez (2022)

El siguiente paso es configurar el tipo de tarjeta madre (shield) que está siendo utilizada para conectar todos los componentes electrónicos de la impresora, para ello se hace uso de la librería “Boards.h” con la que cuenta el Marlin y donde aparecen la mayoría de placas base que pueden conseguirse en el mercado, en el caso de la impresora 3D diseñada en el presente proyecto de investigación, se hace uso de una shield Ramps 1.4, cuyo código según la librería del Marlin es “**#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB**” identificada con el número 43 y que establece como salidas de potencia un Hodend, un fan (ventilador) y la cama caliente. (Ver figura 59)

```
boards: Bloc de notas
Archivo  Editar  Ver
#define BOARD_UNKNOWN -1

//
// RAMPS 1.3 / 1.4 - ATmega1280, ATmega2560
//

#define BOARD_RAMPS_OLD      3    // MEGA/RAMPS up to 1.2

#define BOARD_RAMPS_13_EFB   33   // RAMPS 1.3 (Power outputs: Hotend, Fan, Bed)
#define BOARD_RAMPS_13_EEB   34   // RAMPS 1.3 (Power outputs: Hotend0, Hotend1, Bed)
#define BOARD_RAMPS_13_EFF   35   // RAMPS 1.3 (Power outputs: Hotend, Fan0, Fan1)
#define BOARD_RAMPS_13_EEF   36   // RAMPS 1.3 (Power outputs: Hotend0, Hotend1, Fan)
#define BOARD_RAMPS_13_SF    38   // RAMPS 1.3 (Power outputs: Spindle, Controller Fan)
#define BOARD_RAMPS_14_EFB   43   // RAMPS 1.4 (Power outputs: Hotend, Fan, Bed)
#define BOARD_RAMPS_14_EEB   44   // RAMPS 1.4 (Power outputs: Hotend0, Hotend1, Bed)
#define BOARD_RAMPS_14_EFF   45   // RAMPS 1.4 (Power outputs: Hotend, Fan0, Fan1)
#define BOARD_RAMPS_14_EEF   46   // RAMPS 1.4 (Power outputs: Hotend0, Hotend1, Fan)
#define BOARD_RAMPS_14_SF    48   // RAMPS 1.4 (Power outputs: Spindle, Controller Fan)

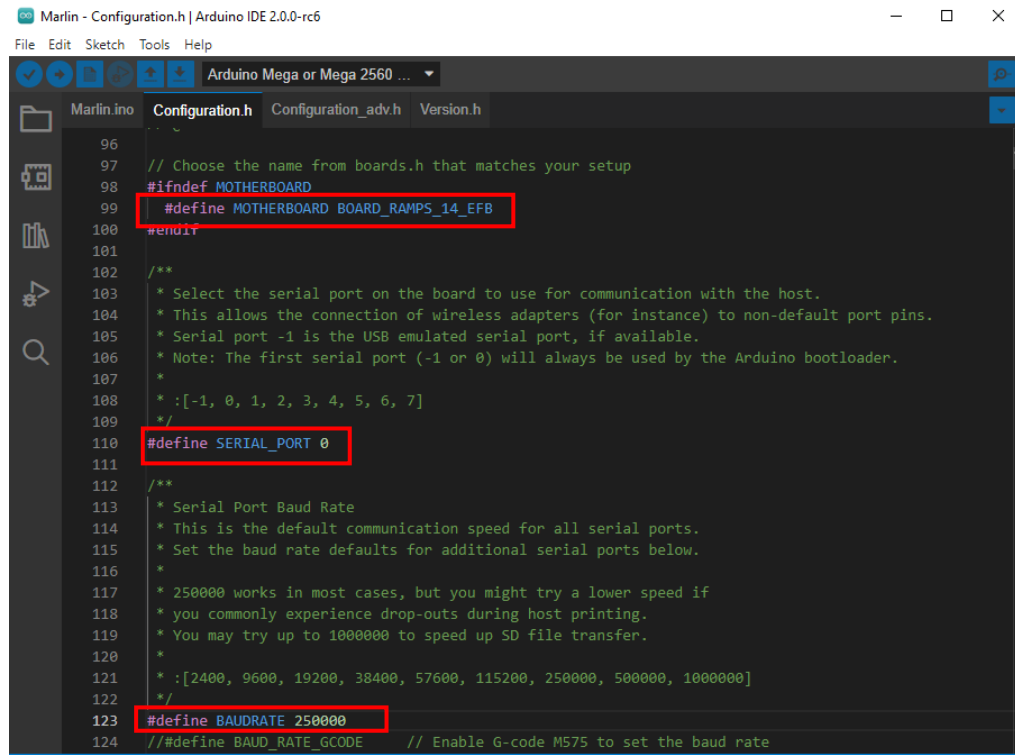
#define BOARD_RAMPS_PLUS_EFB 143   // RAMPS Plus 3DYMY (Power outputs: Hotend, Fan, Bed)
#define BOARD_RAMPS_PLUS_EEB 144   // RAMPS Plus 3DYMY (Power outputs: Hotend0, Hotend1, Bed)
#define BOARD_RAMPS_PLUS_EFF 145   // RAMPS Plus 3DYMY (Power outputs: Hotend, Fan0, Fan1)
#define BOARD_RAMPS_PLUS_EEF 146   // RAMPS Plus 3DYMY (Power outputs: Hotend0, Hotend1, Fan)
#define BOARD_RAMPS_PLUS_SF  148   // RAMPS Plus 3DYMY (Power outputs: Spindle, Controller Fan)

//
// RAMPS Derivatives - ATmega1280, ATmega2560
//

#define BOARD_3DRAG          77    // 3Drag Controller
#define BOARD_K8200          78    // Velleman K8200 Controller (derived from 3Drag Controller)
#define BOARD_K8400          79    // Velleman K8400 Controller (derived from 3Drag Controller)
```

Figura 59: Ubicación de la placa Ramps 1.4 en el archivo “Boards.h”.
Autores: Fernández, Velásquez (2022)

Se define el puerto de conexión de la tarjeta, en la línea donde se ubica el código “#define SERIAL_PORT 0”, de manera predeterminada se selecciona el puerto serie “0”, debido a que no hay adaptadores inalámbricos conectados a puertos no predeterminados y no existe alguna modificación adicional a los puertos. Descendiendo, en la línea de código, debe definirse el Baudrate, que es la velocidad con la que se conecta el ordenador con la impresora, por defecto posee un valor de 250000, el cual permanecerá igual. Si existen problemas de conexión o cambios en la misma, puede reducirse dicho valor para conseguir una sincronización más adecuada. (Ver figura 60)



```
96
97 // Choose the name from boards.h that matches your setup
98 #ifndef MOTHERBOARD
99 #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
100 #endif
101
102 /**
103  * Select the serial port on the board to use for communication with the host.
104  * This allows the connection of wireless adapters (for instance) to non-default port pins.
105  * Serial port -1 is the USB emulated serial port, if available.
106  * Note: The first serial port (-1 or 0) will always be used by the Arduino bootloader.
107  *
108  * :[-1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]
109  */
110 #define SERIAL_PORT 0
111
112 /**
113  * Serial Port Baud Rate
114  * This is the default communication speed for all serial ports.
115  * Set the baud rate defaults for additional serial ports below.
116  *
117  * 250000 works in most cases, but you might try a lower speed if
118  * you commonly experience drop-outs during host printing.
119  * You may try up to 1000000 to speed up SD file transfer.
120  *
121  * :[2400, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 250000, 500000, 1000000]
122  */
123 #define BAUDRATE 250000
124 // #define BAUD_RATE_GCODE // Enable G-code M575 to set the baud rate
```

Figura 60: Selección de Motherboard, Serial_Port y Baudrate.

Autores: Fernández, Velásquez (2022)

La siguiente configuración se encuentra relacionada con el número de extrusores y la definición del diámetro del filamento. Para establecer cuántos extrusores tiene la máquina, se reemplaza el valor en la línea “#define EXTRUDERS 1”, el valor “1” se asigna a una máquina que cuente con un único extrusor, por lo que es aplicable a la impresora 3D diseñada en el presente proyecto de investigación. El diámetro del filamento resulta indispensable para determinar el funcionamiento de la impresora; el filamento a utilizar para realizar las impresiones será de 3 milímetros de diámetro, por lo tanto, se realiza el cambio en la línea “#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA”, se procede a colocar el valor 3.00 al final de la línea. (Ver figura 61)

```

// This defines the number of extruders
// :[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]
#define EXTRUDERS 1

// Generally expected filament diameter (1.75, 2.85, 3.0, ...). Used for Volumetric, Filament Width S
#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 3.0

// For Cyclops or any "multi-extruder" that shares a single nozzle.
//#define SINGLENOZZLE

```

Figura 61: Configuración del número de extrusores y diámetro del filamento.

Autores: Fernández, Velásquez (2022)

A continuación, se realizan las configuraciones de temperatura, en las líneas de código deben seleccionarse los distintos sensores utilizados para controlar o medir la temperatura en la cama caliente y extrusor de la impresora 3D. Los sensores seleccionados para el hotend y la cama caliente, son termistores del tipo NTC 3950, que poseen los números de identificación 504 y 505 respectivamente. (Ver figura 62)

```

493
494 * !!! Use these for Testing or Development purposes. NEVER for production machine. !!!
495 * 998 : Dummy Table that ALWAYS reads 25°C or the temperature defined below.
496 * 999 : Dummy Table that ALWAYS reads 100°C or the temperature defined below.
497 *
498 */
499 #define TEMP_SENSOR_0 504
500 #define TEMP_SENSOR_1 0
501 #define TEMP_SENSOR_2 0
502 #define TEMP_SENSOR_3 0
503 #define TEMP_SENSOR_4 0
504 #define TEMP_SENSOR_5 0
505 #define TEMP_SENSOR_6 0
506 #define TEMP_SENSOR_7 0
507 #define TEMP_SENSOR_BED 505
508 #define TEMP_SENSOR_PROBE 0
509 #define TEMP_SENSOR_CHAMBER 0
510 #define TEMP_SENSOR_COOLER 0
511 #define TEMP_SENSOR_BOARD 0
512 #define TEMP_SENSOR_REDUNDANT 0
513

```

Figura 62: Configuración de termistores para el extrusor y la cama caliente.

Autores: Fernández, Velásquez (2022).

Configurar rangos mínimos y máximos de temperatura permiten establecer límites para el funcionamiento de la impresora y que la misma, al salirse de dicho rango, entre en un estado de protección y proceda a apagarse inmediatamente. Las elevadas temperaturas pueden provocar que la máquina y sus componentes se dañen, además de presentar alta probabilidad de generar un incendio. Se seleccionó como valor mínimo de temperatura 5°C y como valor máximo 275°C para el extrusor, para

el caso de la cama caliente, se estableció como temperatura máxima 70°C, debido a que el PLA en la mayoría de ocasiones no requiere de cama caliente y en caso de utilizarse, la temperatura máxima sería de 60°C. (Ver figura 63)

```
552 // Below this temperature the heater will be switched off
553 // because it probably indicates a broken thermistor wire.
554 #define HEATER_0_MINTEMP 5
555 #define HEATER_1_MINTEMP 5
556 #define HEATER_2_MINTEMP 5
557 #define HEATER_3_MINTEMP 5
558 #define HEATER_4_MINTEMP 5
559 #define HEATER_5_MINTEMP 5
560 #define HEATER_6_MINTEMP 5
561 #define HEATER_7_MINTEMP 5
562 #define BED_MINTEMP 5
563 #define CHAMBER_MINTEMP 5
564
565 // Above this temperature the heater will be switched off.
566 // This can protect components from overheating, but NOT from shorts and failures.
567 // (Use MINTEMP for thermistor short/failure protection.)
568 #define HEATER_0_MAXTEMP 275
569 #define HEATER_1_MAXTEMP 275
570 #define HEATER_2_MAXTEMP 275
571 #define HEATER_3_MAXTEMP 275
572 #define HEATER_4_MAXTEMP 275
573 #define HEATER_5_MAXTEMP 275
574 #define HEATER_6_MAXTEMP 275
575 #define HEATER_7_MAXTEMP 275
576 #define BED_MAXTEMP 70
577 #define CHAMBER_MAXTEMP 60
```

Figura 63: Configuración de temperatura máxima y mínima de los componentes
Autores: Fernández, Velásquez (2022)

El siguiente paso consiste en configurar valores para prevenir la extrusión en frío del filamento, ya sea porque el hotend está encendido o porque no ha alcanzado la temperatura mínima de extrusión. Por defecto, dicha configuración se encuentra activa, pero resulta importante establecer una temperatura mínima acorde al filamento PLA que se extruirá, para el presente caso, 180 °C. (Ver figura 64)

```
* Prevent extrusion if the temperature is below EXTRUDE_MINTEMP.
* Add M302 to set the minimum extrusion temperature and/or turn
* cold extrusion prevention on and off.
*
* *** IT IS HIGHLY RECOMMENDED TO LEAVE THIS OPTION ENABLED! ***
*/
#define PREVENT_COLD_EXTRUSION
#define EXTRUDE_MINTEMP 180
```

Figura 64: Temperatura mínima de extrusión.
Autores: Fernández, Velásquez (2022).

Para poder controlar la posición inicial o Homing de la impresora 3D, suelen implementarse 3 finales de carrera para que indiquen los toques o mínimos recorridos de los mecanismos de movimiento en cada eje (X, Y, Z), los finales de carrera resultan de vital importancia para facilitar al Marlin el determinar la posición 0. (Ver figura 65)

```
// Specify here all the endstop connectors that are connected to any endstop or probe.
// Almost all printers will be using one per axis. Probes will use one or more of the
// extra connectors. Leave undefined any used for non-endstop and non-probe purposes.
#define USE_XMIN_PLUG
#define USE_YMIN_PLUG
#define USE_ZMIN_PLUG
//#define USE_IMIN_PLUG
//#define USE_JMIN_PLUG
//#define USE_KMIN_PLUG
//#define USE_XMAX_PLUG
//#define USE_YMAX_PLUG
//#define USE_ZMAX_PLUG
//#define USE_IMAX_PLUG
//#define USE_JMAX_PLUG
//#define USE_KMAX_PLUG
```

Figura 65: Activación de finales de carrera en posiciones iniciales (min).

Autores: Fernández, Velásquez (2022)

Los ENDSTOP_INVERTING permiten configurar el funcionamiento de los finales de carrera, dicho código facilita realizar configuraciones en caso de que el sensor produzca una señal alta o una baja. (Ver figura 63)

```
// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here (most common setup).
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define I_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define J_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define K_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define I_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define J_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define K_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the probe.
```

Figura 66: Lógica de los finales de carrera.

Autores: Fernández, Velásquez (2022)

La definición de los drivers potenciómetros de los motores paso a paso, también debe realizarse en el firmware Marlin. En el caso del eje Z, se hará uso de 2 motores

paso a paso, por lo que se requerirán 2 drivers potenciómetros, adicionalmente, los mecanismos de movimiento en los ejes X e Y contarán, cada uno, con 1 motor paso a paso y un driver potenciómetro, además del sistema de extrusión que también requiere de un motor y un driver. En total, deben configurarse 5 drivers potenciómetros, cuyo modelo será el DRV8825. (Ver figura 67)

```
#define X_DRIVER_TYPE  DRV8825
#define Y_DRIVER_TYPE  DRV8825
#define Z_DRIVER_TYPE  DRV8825
#define X2_DRIVER_TYPE DRV8825
//#define Y2_DRIVER_TYPE A4988
//#define Z2_DRIVER_TYPE A4988
//#define Z3_DRIVER_TYPE A4988
//#define Z4_DRIVER_TYPE A4988
//#define I_DRIVER_TYPE  A4988
//#define J_DRIVER_TYPE  A4988
//#define K_DRIVER_TYPE  A4988
#define E0_DRIVER_TYPE DRV8825
```

Figura 67: Selección de drivers potenciómetros
Fuente: Fernández, Velásquez (2022)

Sigue la configuración de los pasos por milímetro de los motores en cada uno de los ejes que conforman los mecanismos de movimiento de la impresora, además del motor que se acopla al extrusor. La configuración de los pasos por milímetro resulta de vital importancia en la impresora, debido a que de dichos parámetros depende la precisión de la máquina, por ejemplo, si se requiere realizar una pieza con un largo de 13 mm, la impresora debe configurarse adecuadamente para que pueda imprimir esos 13 mm exactos. Se establecieron 80 pasos/mm en el eje X, 1600 pasos/mm para los ejes Y, Z y para el extrusor 34.3 pasos/mm. (Ver figura 68)

```
* Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
* Override with M92
*
*                               X, Y, Z [, I [, J [, K]]], E0 [, E1[, E2...]]
*/
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 1600, 1600, 34.3 }
```

Figura 68: Definición de pasos por milímetro en cada eje y en el extrusor.
Autores: Fernández, Velásquez (2022)

El Marlin proporciona la posibilidad de invertir la dirección de los motores, en caso de que, por ejemplo, al configurar el firmware y poner en funcionamiento la máquina, uno de los motores gire en una dirección errónea, para ello se cambiaría el valor de “true” a “false” o viceversa. (Ver figura 69)

```
// Invert the stepper direction. Change (or reverse the motor connector) if an axis goes the wrong
#define INVERT_X_DIR false
#define INVERT_Y_DIR true
#define INVERT_Z_DIR false
//#define INVERT_I_DIR false
//#define INVERT_J_DIR false
//#define INVERT_K_DIR false
```

Figura 69: Cambio de dirección en motores paso a paso.

Autores: Fernández, Velásquez (2022)

Para definir el volumen de impresión, se establecen las dimensiones de la cama caliente, en el caso de la impresora diseñada, cuenta con una cama caliente del tipo MK2a, con dimensiones de 200 x 200 mm. (Ver figura 70)

```
// The size of the printable area
#define X_BED_SIZE 200
#define Y_BED_SIZE 200
```

Figura 70: Dimensiones de la cama caliente (área de impresión).

Autores: Fernández, Velásquez (2022)

La configuración de los límites de movimiento permite determinar los desplazamientos máximos en los mecanismos que proporcionan movimiento a cada uno de los ejes cartesianos de la impresora. Las posiciones mínimas corresponden al “Home” o posición inicial de la impresora y el Marlin los establece por defecto con el valor cero “0”, dichos valores pueden cambiar dependiendo de la posición de los finales de carrera. Las posiciones máximas en los ejes “X” e “Y” son delimitados por el Marlin según las dimensiones establecidas anteriormente de la cama caliente. El valor máximo de desplazamiento del eje Z si se debe especificar en el código que en el caso de la impresora diseñada en el presente trabajo de investigación, el desplazamiento máximo del eje “Z” será de 300 mm. (Ver figura 71)

```

// Travel limits (mm) after homing, corresponding to endstop positions.
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MIN_POS 0
#define X_MAX_POS X_BED_SIZE
#define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE
#define Z_MAX_POS 300
//#define I_MIN_POS 0
//#define I_MAX_POS 50
//#define J_MIN_POS 0
//#define J_MAX_POS 50
//#define K_MIN_POS 0
//#define K_MAX_POS 50

```

Figura 71: Configuración de desplazamientos máximos y mínimos.

Autores: Fernández, Velásquez (2022)

4.3.7 Selección final de componentes a utilizar para el ensamblaje de la impresora 3D.

Una vez descritas todas las variables y componentes necesarios para el diseño de la impresora 3D, se procede a enlistar los elementos y piezas seleccionados según criterios de funcionamiento, economía y facilidad de recambio, debido a que la misma se encuentra destinada a funcionar dentro de las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez. (Ver tabla 1)

Tabla 2: Selección de piezas y elementos para el diseño de la impresora 3D.

Pieza	Ubicación	Material	Unidades
Marco de aluminio	Estructura	Aluminio	1
Rollo de filamento para impresión (PLA)	Sistema de extrusión	Ácido Poliláctico PLA	1
Varilla roscada métrica 10 (284 mm)	Desplazamiento del Eje y	Acero Inoxidable	1
Varilla roscada métrica 8 (350 mm)	Desplazamiento del Eje Z	Acero Inoxidable	2
Varillas lisas métrica 8 (235 mm)	Desplazamiento del eje x	Acero Inoxidable	2
Varillas lisas métrica 8 (450 mm)	Desplazamiento del Eje Z	Acero Inoxidable	2
Varillas lisas métrica 8 (280 mm)	Desplazamiento del eje y	Acero Inoxidable	2

Tabla 1 (continuación): Selección de piezas y elementos para el diseño de la impresora 3D.

Pieza	Ubicación	Material	Unidades
Placa Arduino Mega 2560	Sistema de control electrónico	PCB	1
Shield Ramps 1.4	Sistema de control electrónico	PCB	1
HotEnd	Sistema de extrusión	Aluminio, Latón y Ácero Inoxidable	1
Cama Caliente MK2a 200 mm x 200mm	Área de impresión		1
Driver potenciómetro DRV8825 para motores paso a paso	Control de los motores paso a paso	PCB	5
Termistor NTC 3950 de 100K	Sensor de temperatura en la cama caliente y extrusor		2
Fuente de alimentación 12V y 20A	Sistema de control electrónico	PCB	1
Pantalla LCD (Opcional)	Sistema de control electrónico	-	1
Finales de carrera	Posición "home" de cada eje	PCB	3
Ventilador	Enfriamiento del Hotend		1
Juego de cableado	General	-	1
Motores NEMA 17	Sistemas motrices	-	5
Correas GT2 de 20 Dientes	Movimiento del eje X		1
Poleas GT2	Movimiento del eje X		4
Rodamiento LM8UU	Ejes deslizantes		10
Rodamiento SKF 2RZ- con dos juntas de baja fricción SKF 2RZ608-2RZ	Husillos roscados del eje Z		4
Rodamiento BS 290 SKF - SKF 61900-2RZ	Husillo roscado del eje Y		2
Acople de movimiento del eje Z	Desplazamiento del eje Z		2
Tornillo extrusor (Hobbed Bolt)	Sistema de extrusión		1
Muelle Cama Caliente	Sistema de nivelación de la cama caliente		4

Fuente: Fernández, Velásquez (2022)

4.4 Modelado y simulación mediante herramientas de diseño asistido por computadora.

El proceso de simulación resulta indispensable para el desarrollo del proyecto, ya que, a través del mismo, se logra obtener información acerca del comportamiento de cada uno de los componentes de la impresora 3D, además de la estimación de los esfuerzos a los que serán sometidos y las cargas máximas que pueden aplicarse a ellos, adicionalmente, la simulación del movimiento de la impresora, aporta información acerca del ajuste de los mecanismos y la sincronización con la que deben contar. En el mismo orden de ideas, a través del software slicer es posible realizar la simulación y estimación de los posibles resultados de la impresión, al momento de cargar el archivo STL y realizar el slicing, todo ello antes de comenzar a imprimir, lo que aporta una verdadera ventaja para lograr buenos resultados de impresión

4.4.1 Simulación.

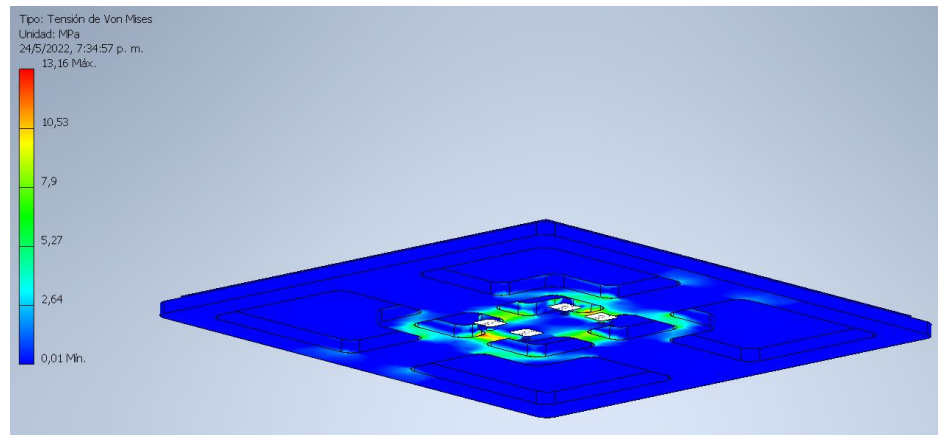


Figura 72: Isometría de simulación de tensión para base de la cama caliente.
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

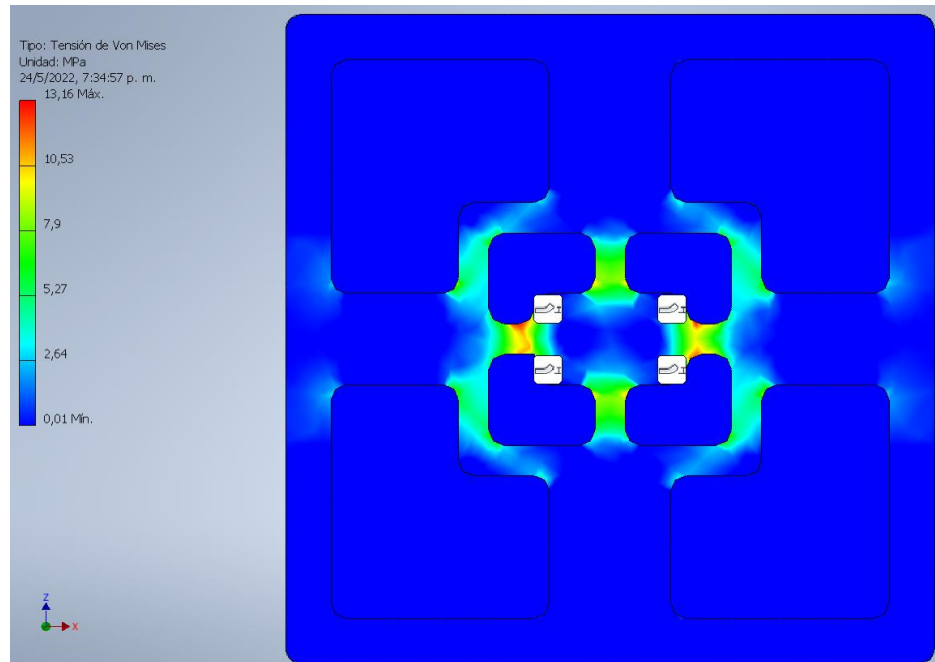


Figura 73: Simulaci3n de tensi3n para base de la cama caliente.

Autores: Fernández, Velasquez (2022)

En las figuras N 72 y 73 se muestra la distribuci3n del esfuerzo que es aplicado en la superficie de la cama caliente. Este esfuerzo es el que se debe a la acci3n del peso del modelo a fabricar, según la estimaci3n realizada en el objetivo específico III en funci3n de la capacidad volumétrica de la impresora, la carga es de 15,120 Kg como valor máximo que aplicado en el área de la cama caliente da como resultado un esfuerzo máximo de 13.16 Mpa teniendo así un factor de seguridad de más de 5 unidades con respecto al esfuerzo de fluencia del aluminio 6061, material con el que se disen3 el soporte.

$$N = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{145}{13.16} = 11$$

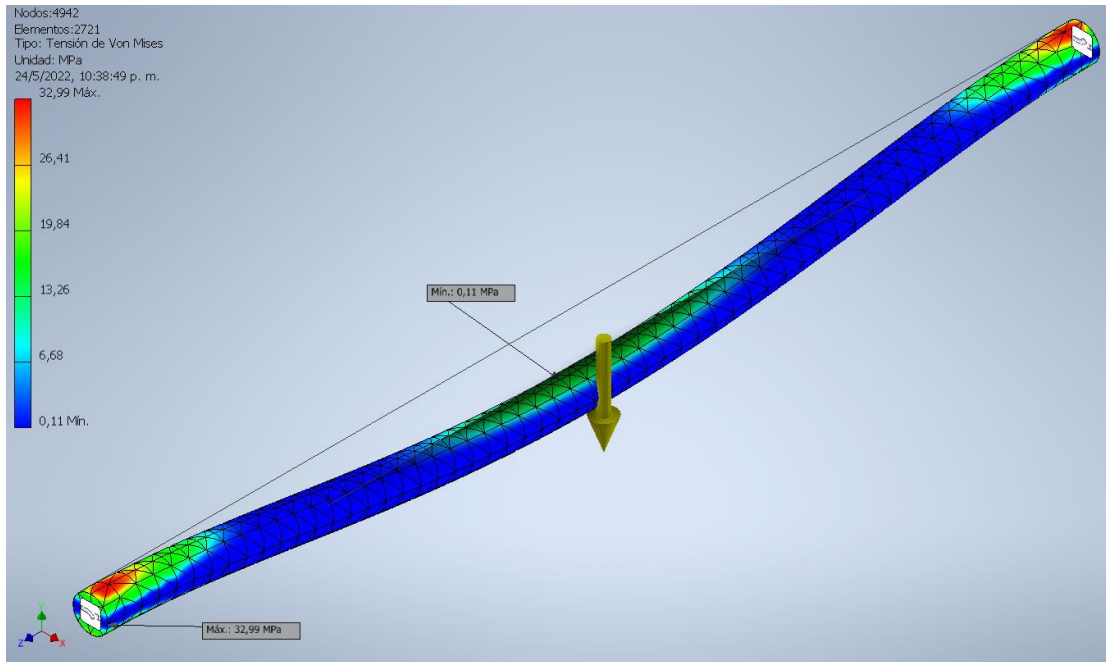


Figura 74: Simulación de tensión para el husillo roscado central Eje Y
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

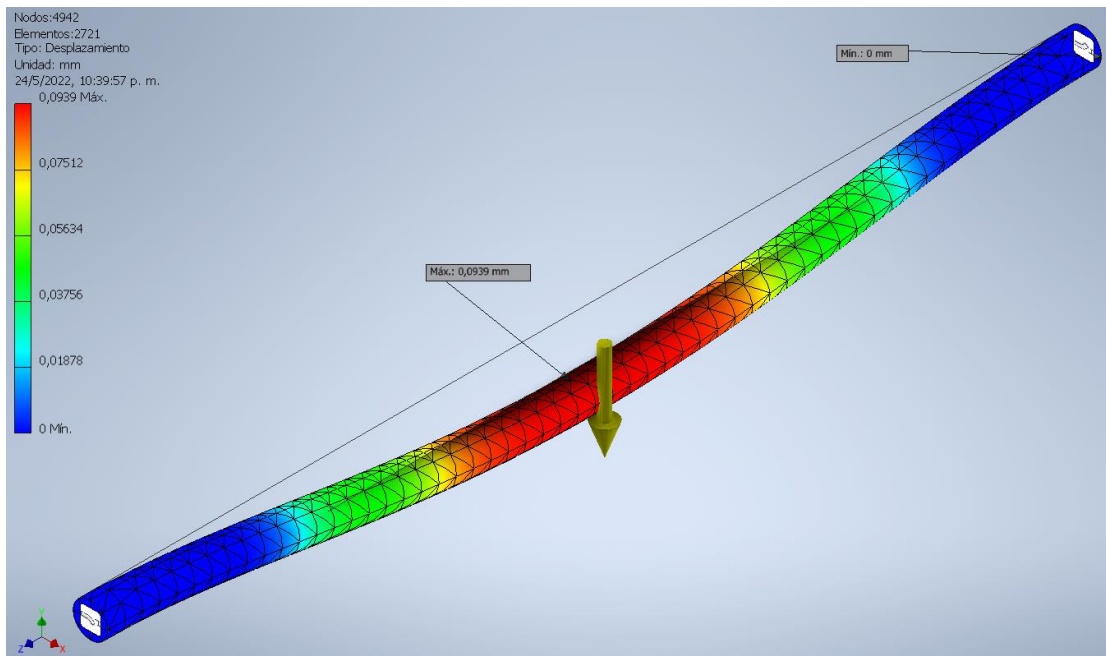


Figura 75: Simulación de deflexión para el husillo roscado central Eje Y
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

Por otro lado, el husillo central de la estructura del eje Y se encuentra sometida a un esfuerzo flector debido a la carga total que soporta, como estudio crítico se tomó

el punto medio entre la longitud total del eje para realizar la simulación debido a que en ese punto es donde se encuentra el esfuerzo flector máximo en función de la configuración geométrica diseñada. Además, en términos de deflexión o desplazamiento en el eje perpendicular al eje neutro del husillo, al considerar únicamente dos soportes para el apoyo del eje (uno en cada extremo) el desplazamiento máximo se encuentra en el punto medio de la longitud total del eje.

Como se puede observar en las figuras N° 74 y 75, el esfuerzo máximo al que está sometido el eje es de 26.41 Mpa, teniendo así también un factor de seguridad mayor a 5 y una deflexión máxima de 0.75 mm, magnitud que para efectos de la aplicación no se encuentra dentro del valor crítico.

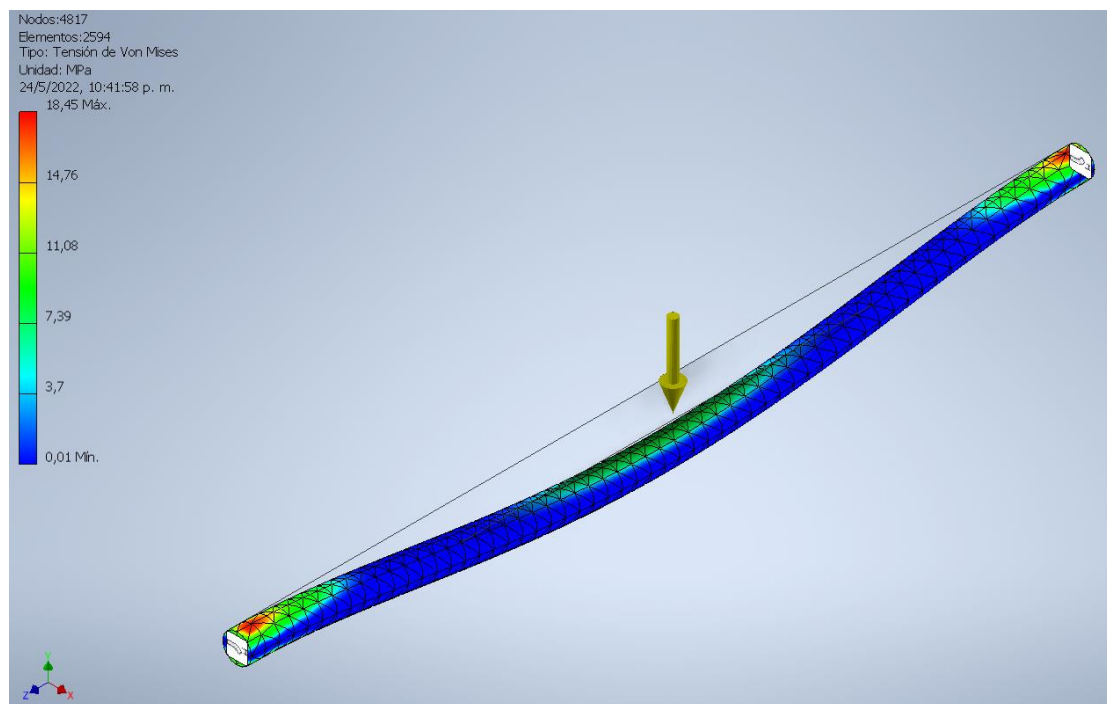


Figura 76: Simulación de tensión para el eje lateral Eje Y
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

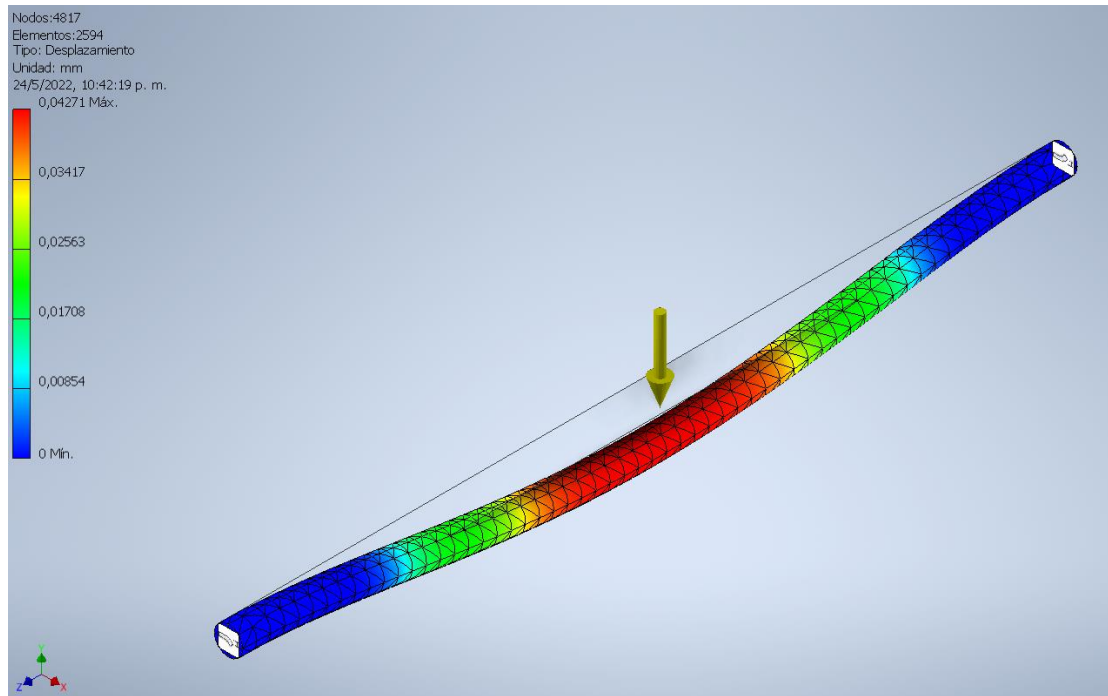


Figura 77: Simulación de deflexión para el eje lateral Eje Y

Autores: Fernández, Velasquez (2022)

Por su parte, las barras o ejes laterales que cumplen la función de apoyar al husillo central del eje Y, absorben también parte del esfuerzo. De manera análoga al análisis anterior, el resultado del esfuerzo máximo aplicado sobre los ejes es de 18.45 Mpa, teniendo como consecuencia una deflexión de 0.03 mm, valores que se encuentran fuera del rango crítico.

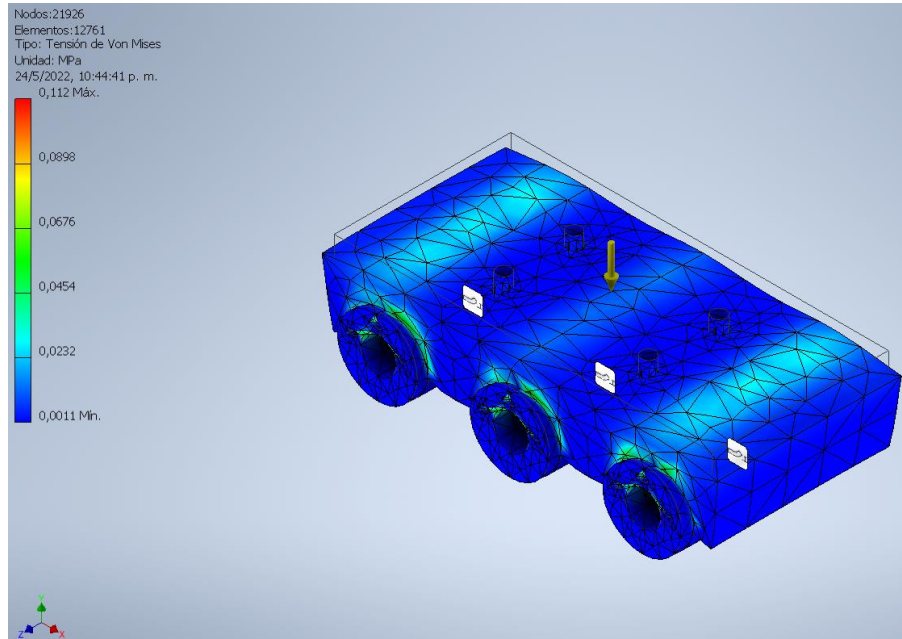


Figura 24: Simulación de tensión para el soporte central Eje Y
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

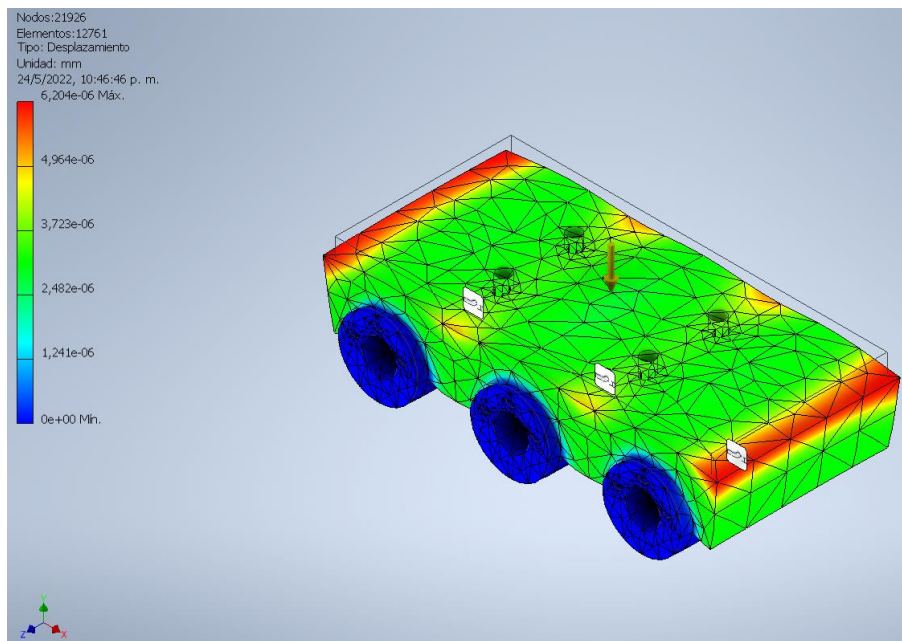


Figura 25: Simulación de deflexión para el soporte central Eje Y
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

El carro en donde se ancla la cama caliente a la estructura móvil de igual manera soporta el peso total de la pieza a modelar, además del peso del subensamblaje de la cama caliente. Dando como resultado que soporta 0.112 Mpa, un valor menor al calculado con la cama caliente debido a la alta resistencia inercial que posee la pieza. Además, el desplazamiento o deflexión total del modelo como se puede observar en la figura N° 79 puede ser despreciable debido a que la magnitud es lo suficientemente pequeña como para considerarla crítica.

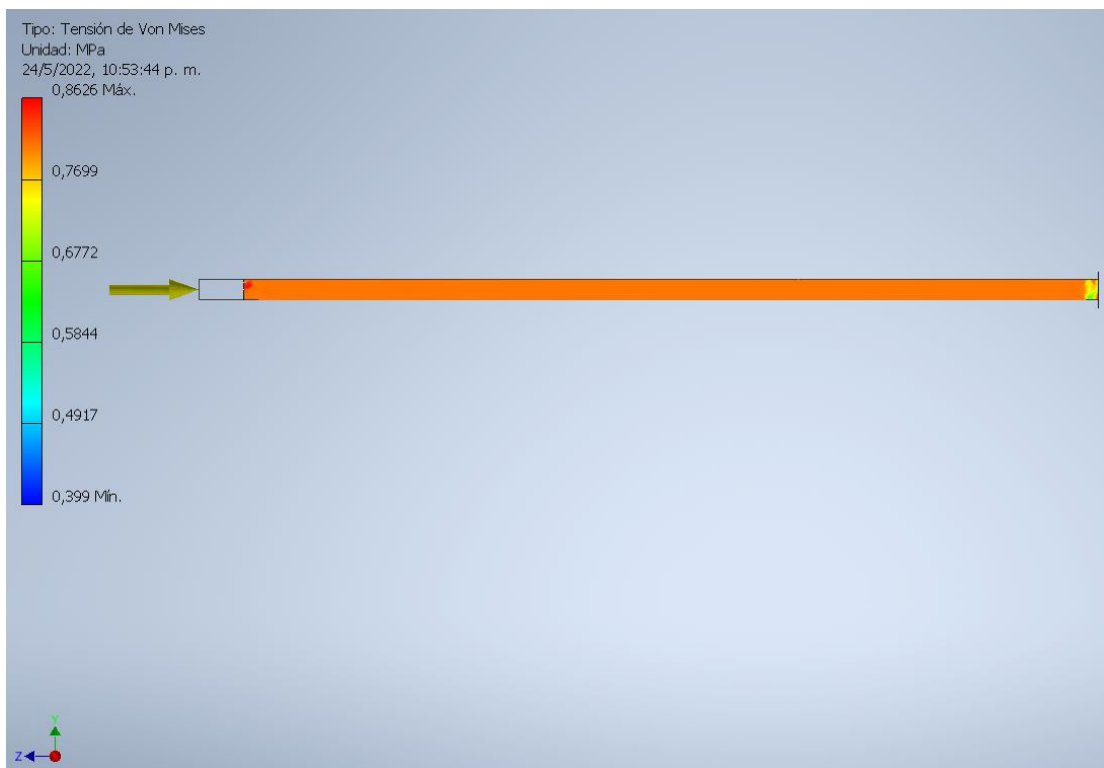


Figura 26: Simulación de tensión para el husillo roscado central Eje Z
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

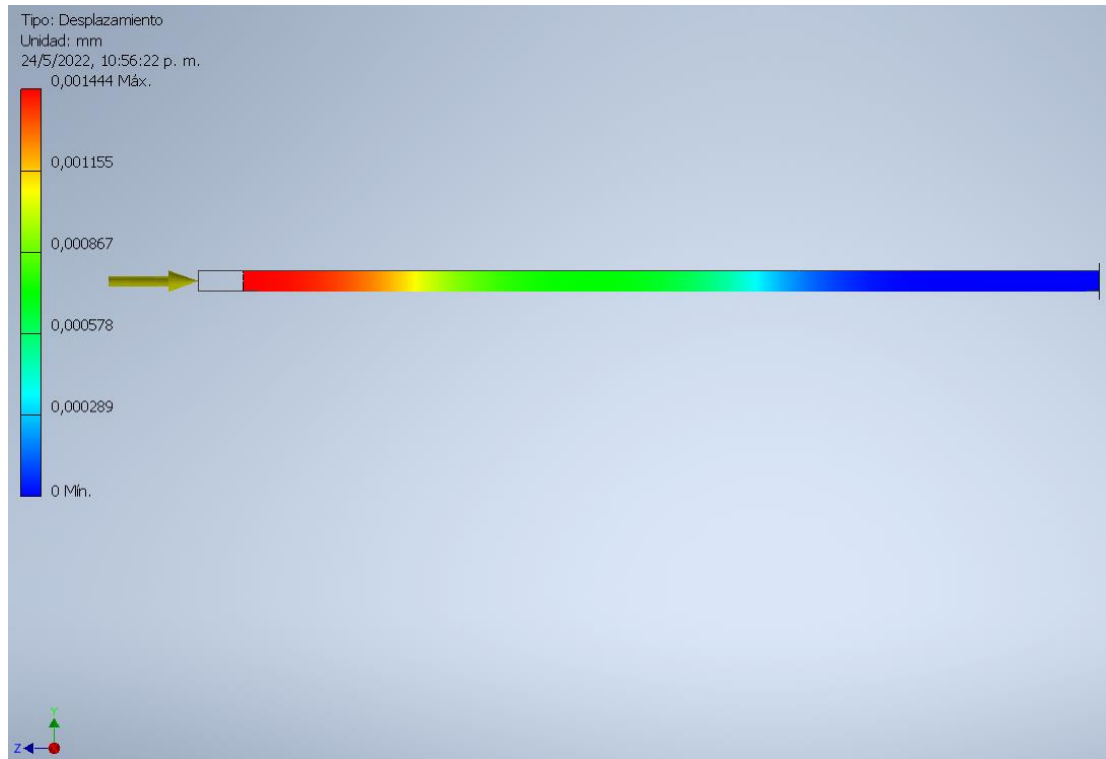


Figura 27: Simulación de desplazamiento para el husillo roscado central Eje Z
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

En lo que respecta a los elementos del eje Z, el husillo central es el que se encuentra sometido a la mayor carga, según el análisis realizado en la fase III, el husillo soporta una carga paralela a su eje neutro, considerando un criterio de compresión y pandeo en lugar de un momento flector, por lo que se emplea el criterio de columnas para el análisis de tensión. En este caso, como se observa en la figura N° 80 y 81, el esfuerzo máximo que soporta la barra es de 0.77 Mpa, mientras que el desplazamiento total es de 0.002 mm

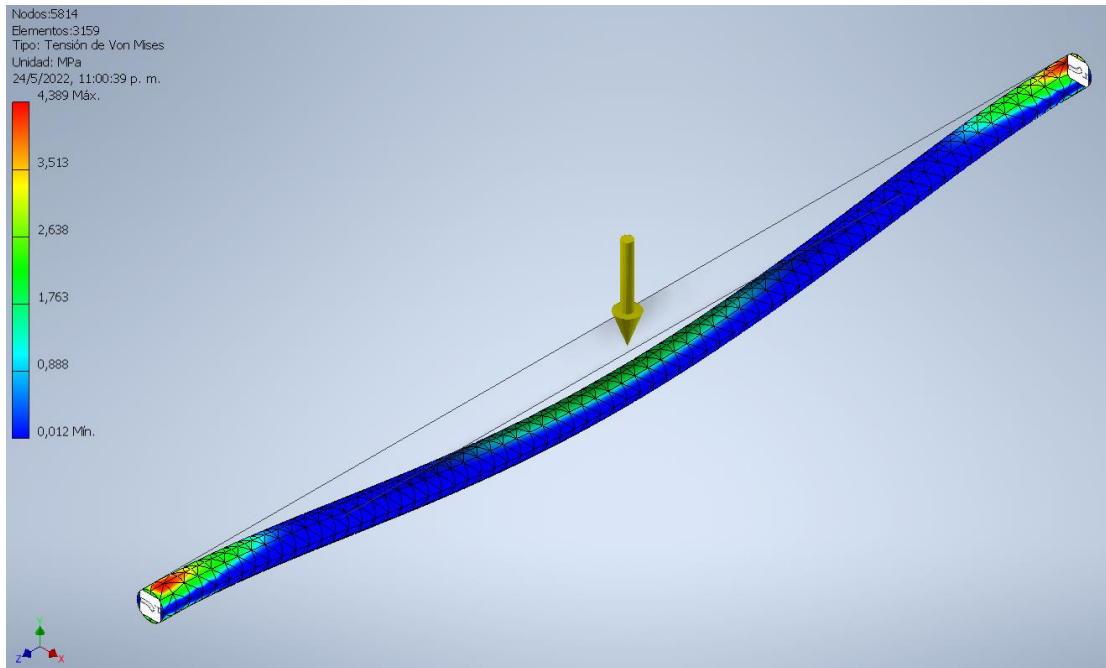


Figura 82: Simulación de tensión para el eje de soporte carro portaextrusor Eje X
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

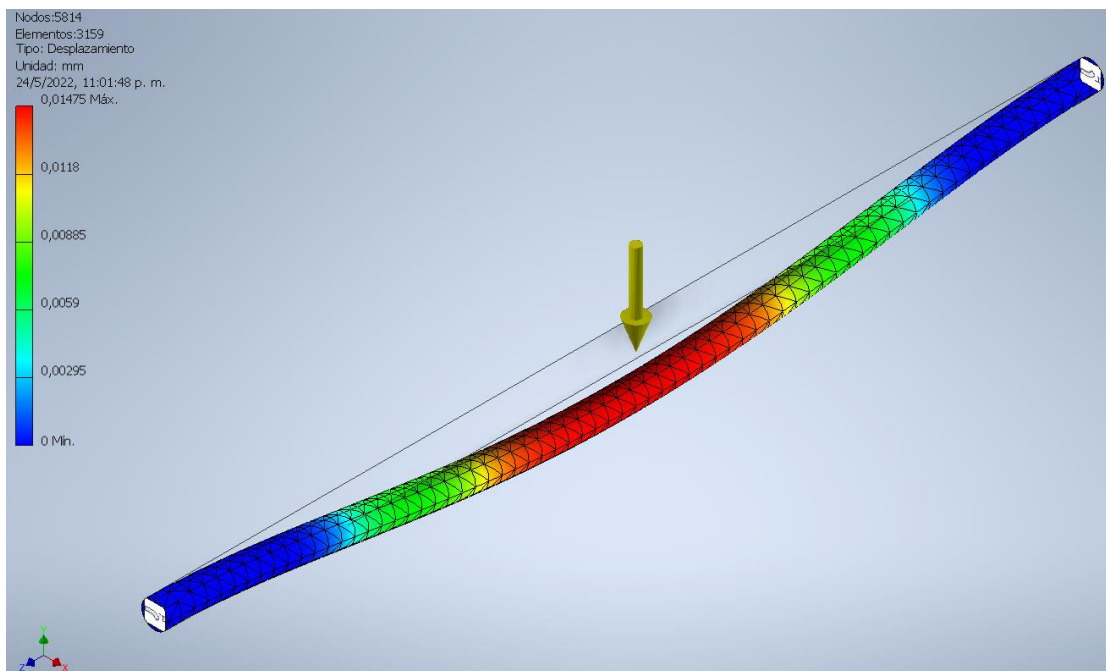


Figura 28: Simulación de deflexión para el eje de soporte carro portaextrusor Eje X
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

En lo que respecta al mecanismo móvil y estático del eje X, los ejes que sirven de apoyo para el carro portaextrusor, de manera análoga a los ejes de soporte empleados en el eje Y, estos se encuentran sometidos a flexión debido a la carga perpendicular al eje neutro del eje. Para esto se emplea el mismo método de análisis y de cálculo donde como resultados se tiene que están sometidos a un esfuerzo máximo de 3.513 Mpa y a una deflexión de 0.012 mm considerándolos no críticos debido a que no entran en el rango correspondiente para dicha clasificación.

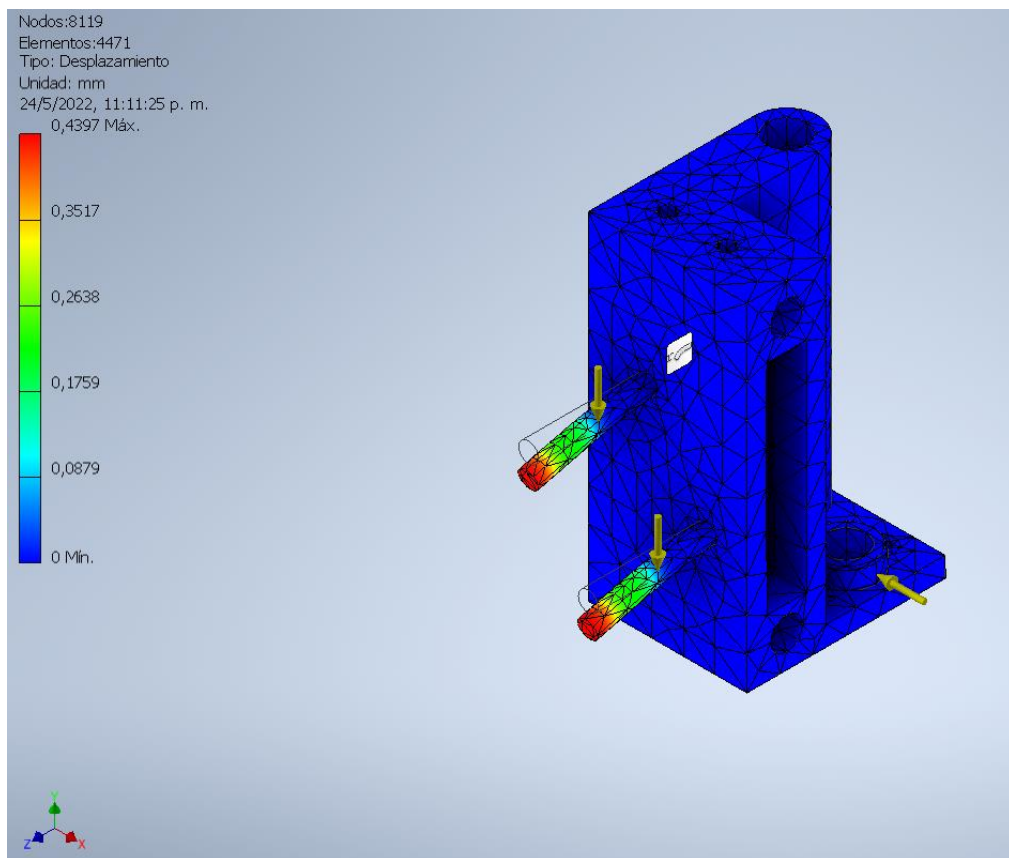


Figura 29: Simulación de deflexión para el soporte vertical del eje X
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

Como se puede observar en la figura N° 84 la situación más crítica a la cual se encuentra sometida la pieza es a la de flexión debido al desplazamiento de los ejes donde se apoyan las poleas que transmiten el movimiento del carro portaextrusor. El resultado final indica que el desplazamiento total es de 0.35 mm como máximo.

En cuanto al funcionamiento del hotend, resulta de vital importancia realizar un estudio del comportamiento térmico del componente, debido a su repercusión en el desarrollo, culminación y resultados del proceso de impresión 3D, es por ello que, se recurrió a la simulación térmica del conjunto que compone al hotend de la impresora diseñada, para así conocer cómo se realizará la distribución de la temperatura en cada uno de sus componentes.

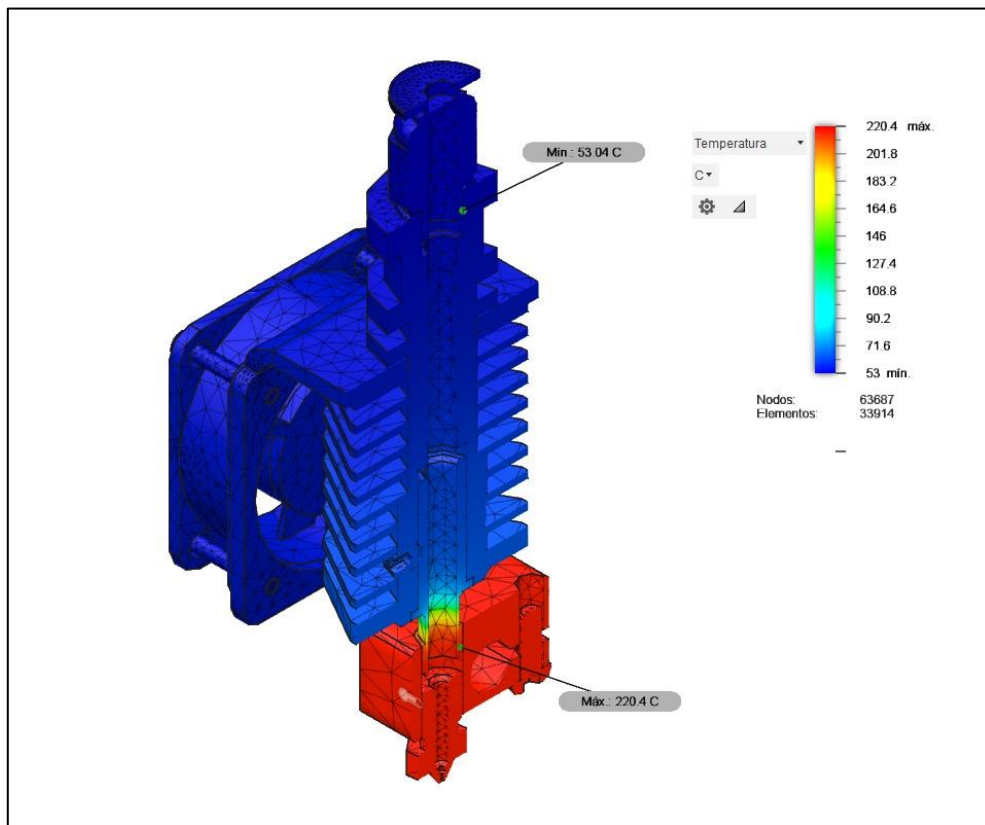


Figura 85: Simulación del comportamiento térmico del Hotend
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

De la simulación, es posible reconocer cómo se comportarán cada uno de los componentes de la impresora 3D, empezando por la llamada zona caliente (identificada en color rojo), donde se alcanza la temperatura máxima del sistema con unos 220.4 °C, en ella se ubican el nozzle (boquilla de extrusión) y el bloque calefactor, por lo que el comportamiento resulta adecuado para la función que ejercen dichos componentes, además, destaca el hecho de que el PLA puede ser extruido a una temperatura máxima

de 230°C. Subiendo un poco desde el bloque calefactor, es posible divisar una pequeña separación entre la zona roja y la azul, dicha zona se denomina barra térmica y funge como separación entre la zona caliente y la fría de la impresora, para facilitar la disipación del calor y mantener una temperatura estable. La zona con coloración azul se encuentra compuesta por el sistema de disipación de calor, por lo que la temperatura de 53.04°C a la que se encuentra todo el sistema forma parte del comportamiento habitual de dicha sección del hotend, ya que, la idea de dicha zona del hotend es controlar la disipación del calor para que no existan aumentos ni reducciones bruscas en la temperatura, debido a que dichos comportamientos podrían afectar el proceso de impresión, los resultados de dicho proceso, e inclusive, generar daños al sistema.

4.4.2 Modelado final de la impresora.

El ensamblaje tuvo como inicio el montaje de los elementos y sistemas motrices de la impresora. (Ver figura 86)

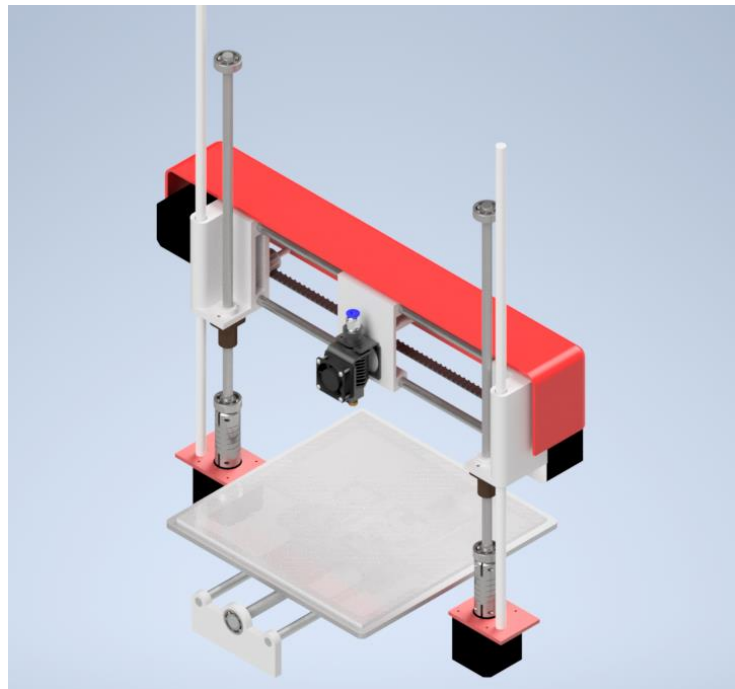


Figura 86: Ensamblaje de los mecanismos de desplazamiento.

Autores: Fernández, Velasquez (2022)

Una vez ensamblados los sistemas motrices (correas, poleas, rodamientos, husillos, rieles deslizantes, extrusor, superficie de impresión, entre otros), se procedió

al montaje de todo el mecanismo en la estructura de aluminio diseñada para la máquina, además de adicionar la pantalla LCD de tipo RepRap y aplicar todas las relaciones de movimiento para sincronizar el desplazamiento de todos los mecanismos ensamblados. Todo lo descrito anteriormente tuvo como resultado el ensamblaje final de la impresora 3D y su posterior renderizado, para poder ilustrar de mejor manera los detalles del diseño. (Ver figura 87 y figura 88)

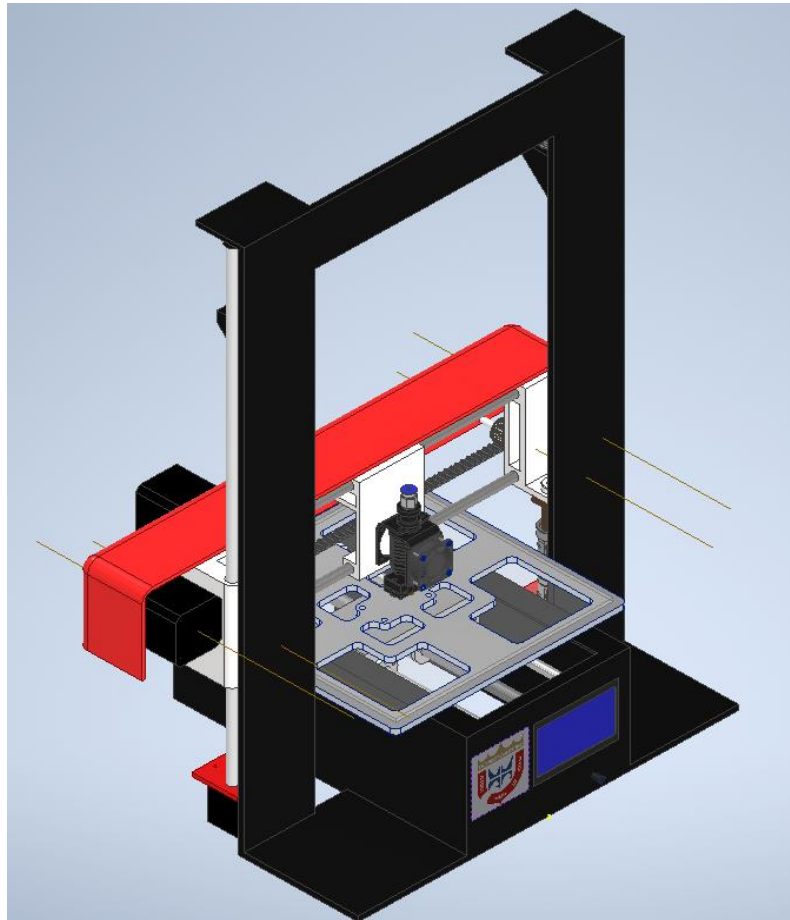


Figura 87: Vista isométrica del ensamblaje de la impresora 3D diseñada
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

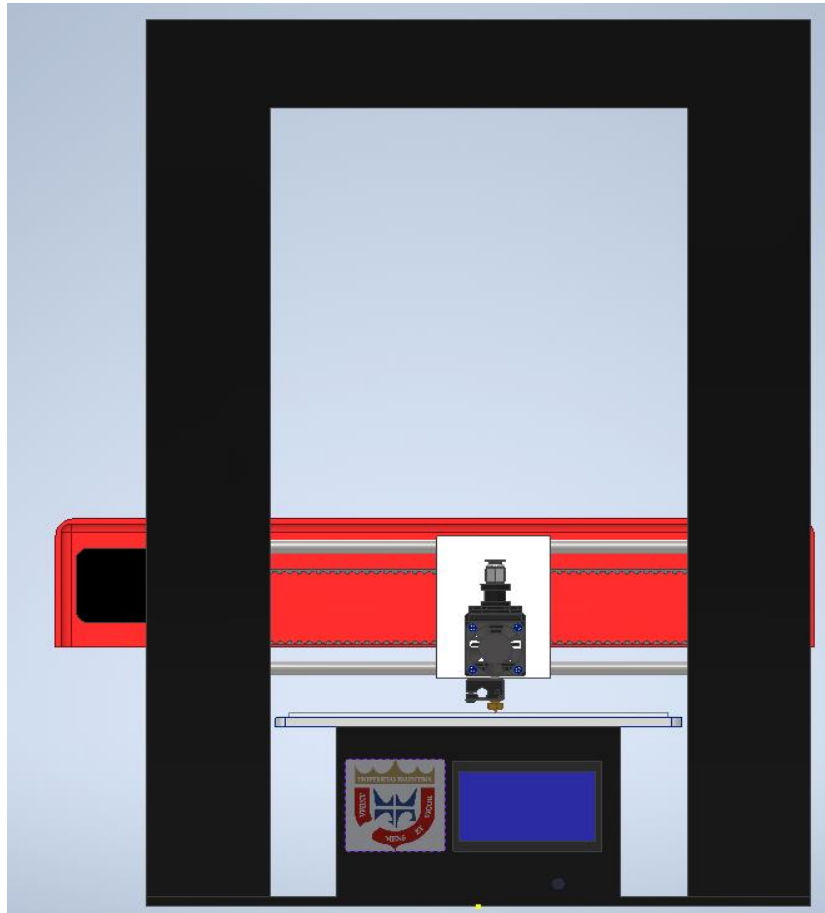


Figura 88: Vista frontal del ensamblaje final de la impresora 3D diseñada
Autores: Fernández, Velasquez (2022)

Los planos correspondientes a la identificación y especificación de las dimensiones, materiales, entre otros elementos y piezas destinadas a ser utilizadas en la impresora 3D diseñada se plasman en el anexo F de la presente investigación.,

4.5 Elaboración del estudio de viabilidad económica para la implementación de la impresora 3D como herramienta didáctica en la Universidad José Antonio Páez.

4.5.1 Costo de la inversión

En la tabla 2 se presentan los costos asociados a la construcción futura del prototipo de impresora 3D como herramienta didáctica en la Universidad José Antonio Páez. En dicho cuadro se expresan cada uno de los componentes utilizados por la máquina y requeridos para su puesta en funcionamiento, junto con el promedio del

costo que tienen en base a distribuidoras internacionales como Amazon, Alibaba, Aliexpress, entre otras.

Tabla 3: Costos de piezas necesarias para ensamble de impresora 3D.

Pieza	Unidades	Costo unitario (\$)	Costo (\$)
Marco de aluminio	1	70	70
Rollo de filamento para impresión (PLA)	1	25	25
Varilla roscada métrica 10 (284 mm)	1	0.15	0.15
Varilla roscada métrica 8 (350 mm)	2	1.50	3
Varillas lisas métrica 8 (235 mm)	2	2	4
Varillas lisas métrica 8 (450 mm)	2	2.75	5.5
Varillas lisas métrica 8 (280 mm)	2	2	4
Placa Arduino Mega 2560	1	38	38
Shield Ramps 1.4	1	8	8
HotEnd	1	30	30
Cama Caliente MK2a 200 mm x 200mm	1	12.65	12.65
Driver potenciómetro DRV8825 para motores paso a paso	5	2.5	12.5
Termistor NTC 3950 de 100K	2	3	6
Fuente de alimentación 12V y 20A	1	20	20
Pantalla LCD (Opcional)	1	30	30
Finales de carrera	3	5	15
Ventilador	1	4.39	4.39
Juego de cableado	1	15	15
Motores NEMA 17	5	24.50	122.5
Correas 190XL037 XL	1	7.89	7.89
Poleas 10XL037	4	14.99	59.96
Rodamiento LM8UU	10	4.21	42.10
Rodamiento SKF 2RZ- con dos juntas de baja fricción SKF 2RZ608-2RZ	2	5	10
Rodamiento BS 290 SKF - SKF 61900-2RZ	4	10	40
Acople eje Z	2	2.22	4.44
Tornillo Extrusor (hobbed bolt)	1	12.60	12.60
Muelle cama caliente	4	1.27	5.08
TOTAL			607.76

Autores: Fernández, Velásquez (2022).

4.5.2 Ahorros económicos.

La impresora 3D diseñada en el presente proyecto de investigación, funcionará como una herramienta de uso único y exclusivo para la elaboración de prácticas y actividades dentro de las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez; razón por la cual, se dificulta la medición de los aspectos relacionados a términos económicos, esto debido a que no se espera un retorno de capital por la inversión, lo que provoca, a su vez, que no puedan estimarse ahorros económicos y ganancias obtenidos con el funcionamiento de la impresora, lo que conlleva a que se determinen únicamente los gastos relacionados con el proceso de diseño y posible fabricación de la máquina en un futuro.

Se encontró un equipo de similares características con uso de software propio, lo que la hace más costosa. Impresora 3d Creality Ender 5 Pro tiene un precio actual en el mercado de \$940, este valor comparado con el costo de inversión estimado en la presente investigación tiene una diferencia de 35.34%.

4.5.3 Relación Costo- Beneficio

Una vez observados los costos requeridos para la implementación de la propuesta, tomando en cuenta cada uno de los componentes que deben ser utilizados para que la impresora diseñada funcione de manera correcta, se procedió a realizar el análisis de la viabilidad económica a través del cálculo de la relación costo beneficio (Ver cuadro 15)

Cuadro 15: Relación costo-beneficio.

Relación costo-beneficio		
$R = \frac{B}{C}$ (Ecuación N° 44)		
R=Relación	B=Beneficio	C=Costo
Condiciones:		
R > 1	Rentable , los beneficios superan los costos	
R = 1	Indiferente , los beneficios son iguales a los costos.	
R < 1	No rentable , los costos son mayores a los beneficios	

Autores: Fernández y Velásquez (2022)

Aplicando la fórmula:

$$R = \frac{940}{607.76} = 1.5466$$

Al ser la relación costo-beneficio mayor a uno (1), se determina que el proyecto es rentable.

CONCLUSIONES

Como resultado del análisis de la situación actual en la Universidad José Antonio Páez en términos de manufactura aditiva, pudo constatar, a través del instrumento de recolección de datos empleado, el excelente grado de aceptación por parte de los profesores que dictan distintas cátedras dentro de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la ya mencionada universidad, para la adición de la impresión 3D como objetivo de estudio en las diversas áreas donde la impresora 3D diseñada pueda ser aplicada, resulta bastante positivo y aporta una gran expectativa para la implementación de nuevas tecnologías dentro del recinto universitario.

La selección y definición de los criterios, parámetros y procesos necesarios para realizar el diseño de la impresora 3D, resultó indispensable para el desarrollo del proyecto, debido a que, dicho análisis permitió establecer la metodología a seguir para la culminación del diseño de la máquina, además, en concordancia con los criterios y parámetros descritos en dicho análisis, fue posible la selección de los componentes de la impresora, en base a requerimientos para impresoras 3D cartesianas que funcionasen bajo el principio de modelado por deposición fundida.

Dentro de dicho proceso de análisis, destacan como parámetros principales, el sistema de extrusión, hotend, mecanismos de movimiento en los ejes cartesianos, cama caliente, sistema electrónico, firmware de control numérico, herramientas de diseño asistido por computadora requeridas para el modelado de las propuestas y el diseño final de la impresora seleccionada. Adicionalmente, fue seleccionado el software slicer y el filamento de impresión a utilizar.

La alternativa de diseño seleccionada para la impresora 3D (mecanismo de movimiento de tipo Supra I3), plantea un sistema sencillo y económico de diseñar y poner en funcionamiento, lo que permite que la impresora diseñada sea completamente intuitiva, convirtiéndola en un diseño ideal para entornos donde se busque el desarrollo y comprensión de proyectos de impresión 3D por parte de entusiastas y principiantes en dicho método de manufactura aditiva, tal como sucede en el caso de la Escuela de

Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez, donde se busca la implementación de la impresión 3D como herramienta didáctica.

El modelado y simulación de la impresora 3D, realizado a través del software CAD Inventor, permitió la transición del diseño teórico y selección de componentes al modelado de la impresora y simulación de la misma, lo que arrojó como resultado el diseño completo una impresora 3D útil, parametrizada, configurada y lista para ser fabricada e implementada en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez.

El proceso de simulación arrojó resultados importantes para estimar el comportamiento de la máquina y la resistencia de cada uno de los componentes y mecanismos que pudiesen estar sometidos a esfuerzos. La simulación dinámica de la máquina resulta indispensable para poder definir el movimiento de la misma y poder generar un ajuste en cada uno de sus componentes, adicionalmente, mediante la simulación del proceso de deposición a través del software slicer, es posible conocer y estimar los resultados del proceso de impresión 3D, inclusive antes de comenzar a realizar la deposición de material, lo que permite la reducción de errores al momento de imprimir, ya que, los mismos pueden ser corregidos con anterioridad, adicionalmente, la correcta configuración del software slicer permite que la máquina pueda explotar todo su potencial y arrojar los mejores resultados al imprimir los objetos tridimensionales.

El estudio de viabilidad económica permitió la elaboración de un presupuesto y, por lo tanto, la estimación de los gastos en los que se incurriría con la fabricación e implementación del proyecto. Los aspectos económicos forman parte indispensable del proyecto, debido a que permiten conocer qué tan viable será su ejecución, en base a la inversión de capital que debe realizarse y a los beneficios que aportará.

RECOMENDACIONES

- La implementación de la impresión 3D en distintas cátedras dentro de la Escuela de Ingeniería Mecánica, puede comenzar con la adición de los procesos de manufactura aditiva como objetivo de estudio teórico, de diseño y experimentación.
- Como punto indispensable para la formación de los futuros profesionales en Ingeniería Mecánica, se recomienda la ejecución del proyecto, realizando la construcción de la impresora previamente diseñada e implementarla como herramienta didáctica en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez.
- En caso de fabricación de la impresora 3D, debe levantarse un procedimiento para la calibración de los componentes de la máquina, entre ellos, la nivelación de la cama caliente.
- La información aportada por el software slicer establece los resultados del proceso de impresión 3D, es por ello que la configuración de dicho software resulta indispensable para realizar la impresión de los objetos tridimensionales.
- El firmware Marlin se encuentra en constante actualización para la corrección de errores y mejora de la compatibilidad de diversos equipos, es recomendable actualizar el software, a medida que vayan surgiendo nuevas versiones.
- Si se desea cambiar el diámetro del filamento de PLA, por uno de menor tamaño, se recomienda realizar el intercambio de extrusor Bowden y el diámetro del nozzle (boquilla), adicionalmente, deben reemplazarse los parámetros establecidos en el software Marlin por los que sean compatibles con la nueva configuración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3D Systems (2021). **Nuestra historia**. Recuperado 22 de noviembre, de: <https://es.3dsystems.com/our-story>.
- Aguinsaca, D. (2017). “**Diseño y construcción de una impresora 3D tipo cartesiana para la elaboración de placas electrónicas tipo SMD**”. Trabajo de grado. Publicado por la Universidad de las Fuerzas Armadas. Recuperado el 6 de noviembre de: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12801/1/T-ESPE-053788.pdf>
- Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación** (6.^a ed.). Episteme.
- Autodesk. Inc. (2021) **¿Qué es la impresión 3D? | Software de impresión 3D** Recuperado 7 de noviembre de 2021, de <https://www.autodesk.es/solutions/3d-printing>
- Berchon, M. y Giráldez, M. (2016). **La impresión 3D: Guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general** (1.^a ed.). Editorial GG.
- Boizas, G. (2018). **Fabricación Aditiva, Capítulo 5: Historia**. Recuperado 7 de noviembre de 2021, de <http://www.fabricacionaditiva.online/5.htm>
- Bordignon, F., Iglesias, A., & Hahn, A. (2018). **Diseño e impresión de objetos 3D** (1.a ed.). Editorial universitaria. Recuperado el 7 de noviembre de: <http://eprints.rclis.org/33571/1/Libro-impresion3D-unipe.pdf>
- Budynas, R. (2018). **Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley**. Décima edición. editorial McGraw Hill.
- Concheso, A. (2018). **Venezuela y el rezago tecnológico**. Panam Post. Recuperado el 20 de enero de: <https://panampost.com/aurelio-concheso/2018/07/02/venezuela-y-el-rezago-tecnologico/>

- Electrónica Edimar (2020). **Fabricación aditiva: Definición, procesos y beneficios.**
Recuperado 7 de noviembre de: <https://edimar.com/fabricacion-aditiva-que-es/#:~:text=La%20fabricacion%20aditiva%20es%20uno,tipo%2C%20mediante%20la%20impresi%C3%B3n%203D>.
- Espinoza, M. (2015). **Análisis comparativo de herramientas computacionales CAD basado en versión libre con programas comerciales.** Universidad de Carabobo
- Figueredo, O., Gonzalez, J., Martinez, E., Moreno, J., Jimenez, E., Weffer, E. (2020). **Manual para la elaboración y presentación de los anteproyectos, proyectos de trabajos de grado, trabajos de grado, tesis doctoral e informe de pasantía y extramuros de la Universidad José Antonio Páez.** Universidad José Antonio Páez.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). **Metodología de la Investigación.** 6ta Edición. Mc-Graw Hill Education. México D.F, México
- Hiemenz J. (2011). **LA IMPRESIÓN 3D CON FDM: ¿Cómo funciona?** Stratasys.
Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://caminstech.upc.edu/sites/default/files/FDM%20I%20-%20Tecnologia.pdf>
- Hurtado, J. (2010). **Metodología de la investigación: guía para una comprensión holística de la ciencia,** 4ed, Caracas, editorial Quirón Ediciones.
- Imprimakers (2021). **Impresión 3D en ABS ¿Qué ventajas y aplicaciones ofrece?**
Recuperado 19 de noviembre de 2021, de <https://imprimakers.com/es/impresion-3d-en-abs-que-ventajas-y-aplicaciones-ofrece/>
- Kerlinger, F. y Lee, H. (2002). **Investigación del Comportamiento.** 4ed, México, editorial McGraw Hill.

- León, J. y Torres, E. (2013). **Diseño de un prototipo de impresora 3d que aplica la técnica de prototipado rápido modelado por deposición fundida. Trabajo de grado.** Publicado por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Recuperado el 30 de noviembre del 2021 de: <https://1library.co/document/ynewwllly-diseno-prototipo-impresora-tecnica-prototipado-rapido-modelado-deposicion.html>
- Llamas, L. (2019). **Qué es el g-code y su importancia en la impresión 3d.** Recuperado el 05 de mayo del 2022 de: <https://www.luisllamas.es/que-es-el-g-code-y-su-importancia-en-la-impresion-3d/>
- Locker, A. (2021). **Slicer 3D: los mejores softwares de corte de 2021.** Recuperado el 18 de noviembre de: <https://all3dp.com/es/1/slicer-3d-programa-corte-impresora-3d/>
- López, A., Medina, D. y Rodríguez, J. (2017). **“Diseño y ensamblaje de impresora 3D por estudiantes de técnico en hardware, para el laboratorio de impresión 3D, de la universidad tecnológica de El Salvador”.** Trabajo de grado. Publicado por la Universidad Tecnológica del Salvador. Recuperado el 17 de noviembre de: <http://biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/tesis/941001014.pdf>
- Lucía, C. (2017). **FDM o SLA: ¿Qué tecnología de impresión 3D elegir?** 3Dnatives. Recuperado 14 de noviembre, de: <https://www.3dnatives.com/es/fdm-o-sla-impresion-3d-131220172/#!>
- Lucía, C. (2020). **Tipos de impresoras 3D FDM: Delta, Cartesiana, Polar y Brazo robótico.** 3Dnatives. Recuperado 13 de noviembre, de <https://www.3dnatives.com/es/tipos-impresoras-3d-fdm-190620172/#!>
- Marlin Firmware (2022). **Configuring Marlin.** Recuperado el 10 de mayo del 2022 de: <https://marlinfw.org/docs/configuration/configuration.html>
- Materialise (2022). **Modelado por deposición fundida (FDM).** Recuperado el 16 de noviembre de: <https://www.materialise.com/es/manufacturing/tecnologia-de-impresion-3d/modelado-por-deposicion-fundida>

- NASA Ciencia. (2021). **Impresiones 3D, células musculares y experimentos de moho se lanzan a la Estación Espacial Internacional a bordo la nave Cygnus.** Recuperado el 17 de noviembre de: <https://ciencia.nasa.gov/impresiones-3d-c%C3%A9lulas-musculares-y-experimentos-de-moho-se-lanzan-la-estaci%C3%B3n-espacial>
- Pallela, S. y Martins, F. (2012). **Metodología de la investigación cuantitativa.** Tercera Edición. Recuperado el 30 de noviembre de: <https://metodologiaecs.wordpress.com/2015/09/06/metodologia-de-la-investigacion-cuantitativa-3ra-ed-2012-santa-pallela-stracuzzi-y-feliberto-martins-pestana-2/>
- Rampérez, J. (2021). **El ácido poliláctico (PLA): Un material innovador en la actualidad.** Recuperado el 12 de enero del 2022 de: <https://www.claraboyas.es/wp-content/uploads/2021/04/Trabajo-PLA.pdf>
- Restrepo, S. (2020). **SLA: Impresión 3D por estereolitografía.** 3Dnatives. Recuperado 14 de noviembre de 2021, de <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-por-estereolitografia-les-explicamos-todo/>
- Restrepo, S. (2017). **FDM o modelado por deposición fundida.** 3Dnatives. Recuperado 17 de noviembre, de: <https://www.3dnatives.com/es/modelado-por-deposicion-fundida29072015/#>
- Rodríguez, X. (2018). **“Proyecto de diseño de piezas modeladas con una impresora 3D para la realización de prácticas de laboratorio de la asignatura de resistencia de materiales y teoría de estructuras”.** Trabajo Final de Grado. Publicado por la Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado el 6 de noviembre de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/126329/xavier.rodriguez.campillo_130960.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Regidor, A. (2016). **¿Qué es un archivo STL?** Recuperado el 16 noviembre de: <https://es.3dsystems.com/quickparts/learning-center/what-is-stl-file>

Repetier- Host (2022).

UPEL (2006). **Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestrías y Tesis Doctorales**. Tercera reimpresión. FEDEUPEL. Recuperado el 30 de noviembre de: <https://innova-edu.webnode.com/files/200003215-6a4f06b3b1/NormasUPEL2006.pdf>

Schettini, P. y Cortazzo, I. **Técnicas y Estrategias en la investigación cuantitativa**. Editorial de la Universidad de la Plata. Recuperado el 16 de noviembre, de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/53686/Documento_completo_...-%20Cortazzo%20CATEDRA%20.pdf-PDFA.pdf?sequence=1

Silva, I. y Tamayo, C. (2018). **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**. Universidad católica Los Ángeles de Chimbote.

Velasco, E. y Revelo, D. (2019). **Impresión 3D: la nueva revolución industrial**. 3ed. Corporación Universitaria de Comfacauca. Recuperado el 16 de noviembre de: https://revistas.unicomfacauca.edu.co/ojs/index.php/itc/article/view/itc2019_pag_60_71

ANEXOS

ANEXO A

Guion de la entrevista



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**GUION DE ENTREVISTA REALIZADA A LOS PROFESORES DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD JOSÉ
ANTONIO PÁEZ**

Indicador	Ítem	Pregunta
Conocimiento del docente sobre la tecnología de impresión 3D	1	¿Conoce acerca de la impresión 3D y qué función cree usted que cumple?
	2	¿Qué opinión tiene usted acerca de la impresión 3D como proceso de manufactura?
	3	¿Considera usted que la impresión 3D puede convertirse en un método de manufactura eficaz para la simplificación de procesos industriales?
Utilidad de la impresora 3D como herramienta didáctica y de manufactura	4	¿Qué aplicaciones cree usted que tendría la impresión 3D en el futuro de la manufactura?
	5	¿Según su conocimiento, cree usted que la adición de una impresora 3D como elemento didáctico puede aportar valor en el desarrollo de los profesionales, formados dentro de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UJAP?
	6	¿Para qué cátedras considera usted que podría ser útil la implementación de una impresora 3D? ¿Qué función cumpliría la máquina?
Facilidad de adaptación a implementación de la nueva tecnología	7	¿Cree usted que sería fácil la adaptación de los estudiantes y profesores de las distintas cátedras donde pueda estudiarse e implementarse 3D?

ANEXO B

Validación del instrumento de recolección de datos



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

HOJA DE REGISTRO PARA LA VALIDACIÓN DEL DOCUMENTO

INSTRUCCIONES: Marque con una (X), el recuadro que identifique su punto de vista respecto al ítem de acuerdo a las siguientes especificaciones.

- **CLARO:** Redacción simple y eficiente que ayuda al entrevistado entender con facilidad el escrito.
- **CONFUSA:** Redacción que resulta confusa para interpretar lo escrito.
- **INCOHERENTE:** Redacción con una falta total de coherencia entre varias ideas, que contradice y no guarda una relación lógica.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Incoherente	Pertinente	No pertinente	
1	X			X		
2	X			X		
3	X			X		
4	X			X		
5	X			X		
6	X			X		
7	X			X		

Fecha: 4-5-22	Firma del Especialista:
Especialista: Fulgencio MSc Alvarado	Descripción del perfil del especialista:

ANEXO C

Constancia de Juez Experto



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CONSTANCIA DEL JUEZ EXPERTO

Yo, Alfredo Rivas, titular de la cedula de identidad N°. V- 4598880 de profesión Ingeniero Mecánico a través de la presente certifico que realicé el juicio de experto al presente instrumento diseñado por los bachilleres Fernandez García Aldo Alejandro, venezolano, titular de la cedula de identidad número V-28.054.889 y Velasquez Escobar Pedro Daymel, también venezolano, titular de la cédula de identidad V-27.854.519, para la investigación referente al trabajo especial de grado titulado **DISEÑO, SIMULACIÓN Y ESTUDIO VIABLE DE IMPRESORAS 3D COMO MECANISMO DE MANUFACTURA EN PROCESOS INDUSTRIALES Y COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA EN LA UJAP**, como requisito fundamental para optar al título de Ingeniero Mecánico en el instituto universitario Universidad José Antonio Páez. Concluyo que el instrumento realizado cumple con los requisitos suficientes, necesarios para ser válidos y son aptos para alcanzar los objetivos que se plantean en la investigación.

En San Diego, a los 04 días del mes de mayo del año 2022.

Atentamente:

Firma:

C.I:

Teléfono:

Alfredo Rivas
4598880
0412 0396931

ANEXO D

Validación del instrumento de recolección de datos



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

HOJA DE REGISTRO PARA LA VALIDACIÓN DEL DOCUMENTO

INSTRUCCIONES: Marque con una (X), el recuadro que identifique su punto de vista respecto al ítem de acuerdo a las siguientes especificaciones.

- **CLARO:** Redacción simple y eficiente que ayuda al entrevistado entender con facilidad el escrito.
- **CONFUSA:** Redacción que resulta confusa para interpretar lo escrito.
- **INCOHERENTE:** Redacción con una falta total de coherencia entre varias ideas, que contradice y no guarda una relación lógica.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Incoherente	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7	✓			✓		

Fecha: <i>04/05/2022</i>	Firma del Especialista:
Especialista: <i>Ing. Industrial</i> <i>Ana Avendaño</i>	Descripción del perfil del especialista: <i>Especialista en</i> <i>Electricidad (4^{to} nivel)</i>

ANEXO E

Constancia de Juez Experto



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CONSTANCIA DEL JUEZ EXPERTO

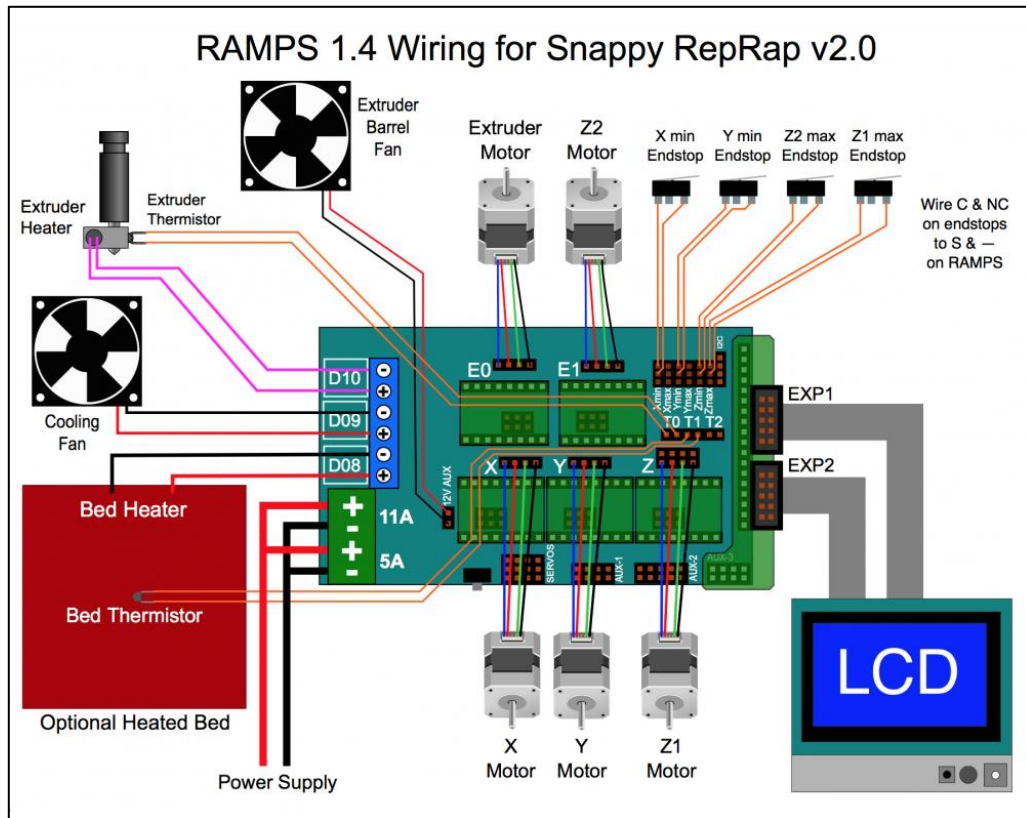
Yo, *Ana Arendano* titular de la cedula de identidad N°. V-7.187.788 de profesión Ingenieria Industrial a través de la presente certifico que realicé el juicio de experto al presente instrumento diseñado por los bachilleres Fernandez García Aldo Alejandro, venezolano, titular de la cedula de identidad número V-28.054.889 y Velasquez Escobar Pedro Daymel, también venezolano, titular de la cédula de identidad V-27.854.519, para la investigación referente al trabajo especial de grado titulado **DISEÑO, SIMULACIÓN Y ESTUDIO VIABLE DE IMPRESORAS 3D COMO MECANISMO DE MANUFACTURA EN PROCESOS INDUSTRIALES Y COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA EN LA UJAP**, como requisito fundamental para optar al título de Ingeniero Mecánico en el instituto universitario Universidad José Antonio Páez. Concluyo que el instrumento realizado cumple con los requisitos suficientes, necesarios para ser válidos y son aptos para alcanzar los objetivos que se plantean en la investigación.

En San Diego, a los 04 días del mes de mayo del año 2022.

Atentamente: *Ana Arendano*
Firma: *[Firma manuscrita]*
C.I: 7.187.788
Teléfono: 0424 4459583

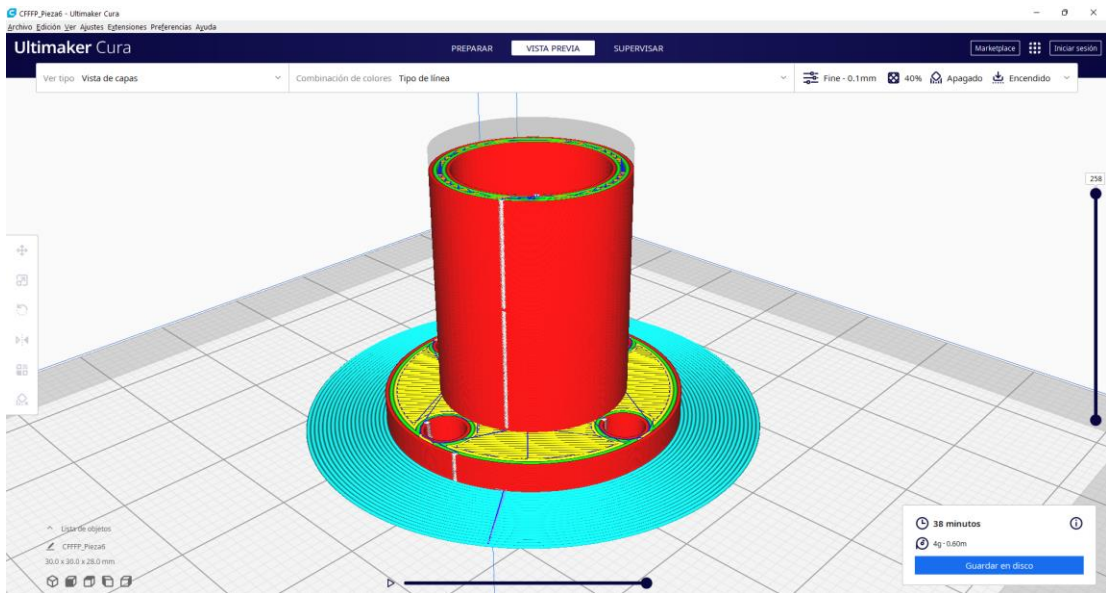
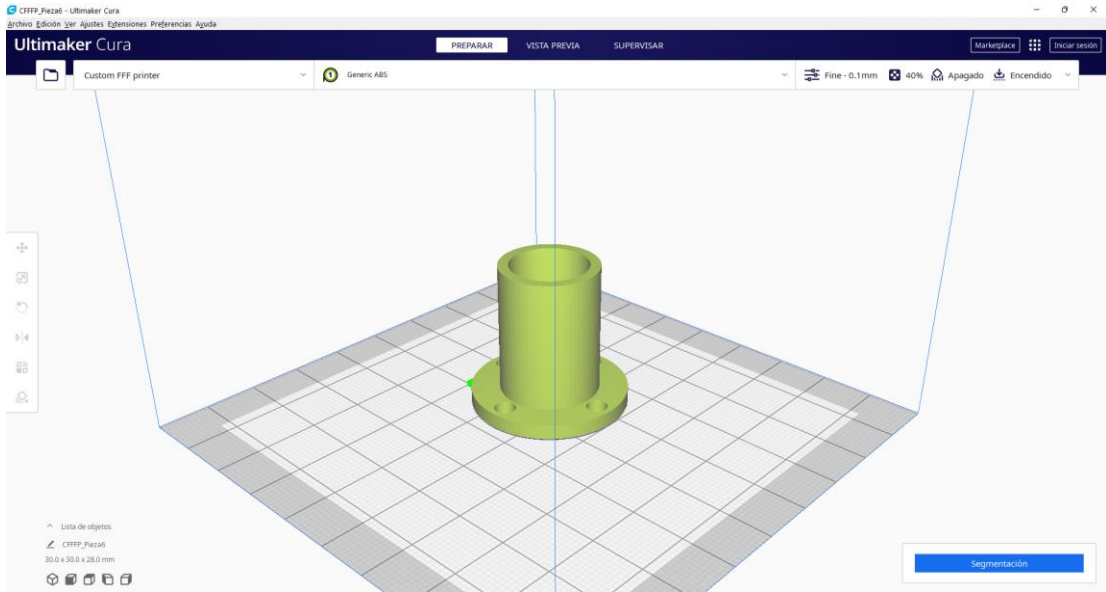
ANEXO F

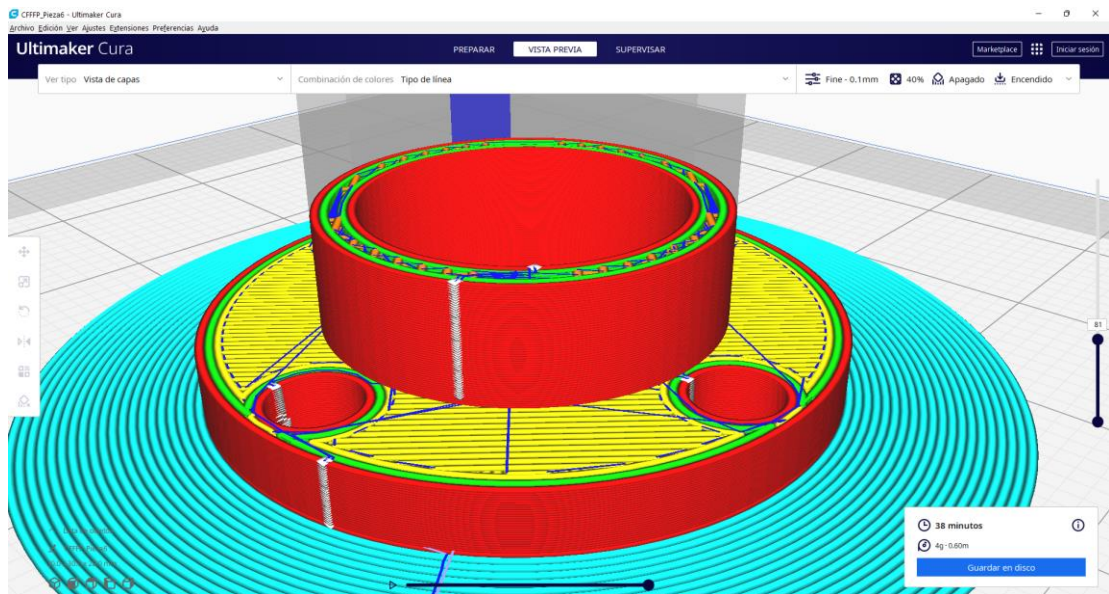
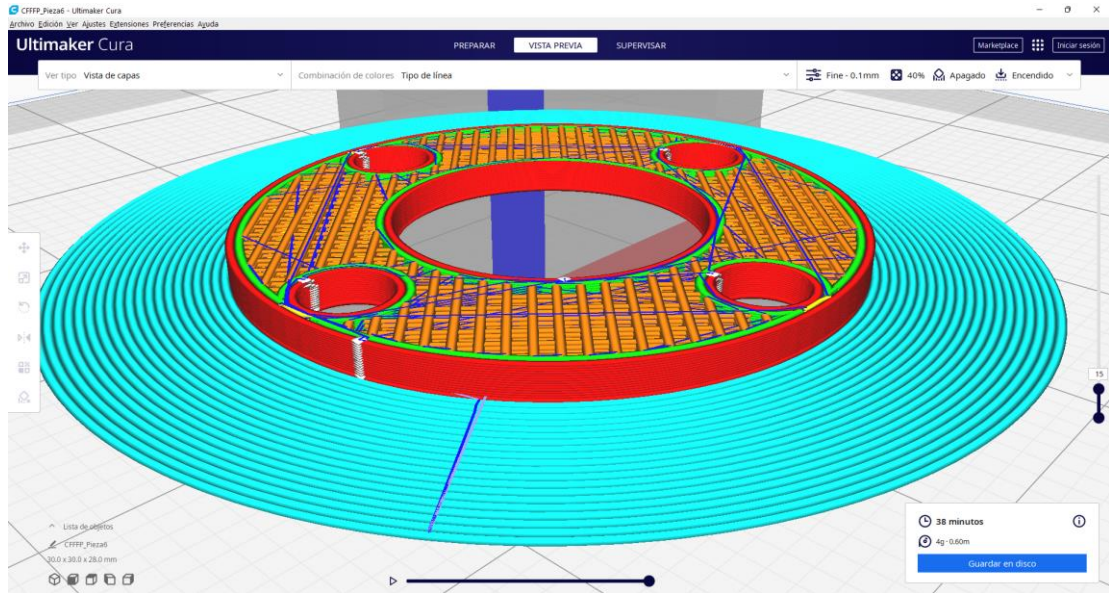
Conexiones de las partes de una impresora 3D cartesiana en placas RAMPS 1.4



ANEXO G

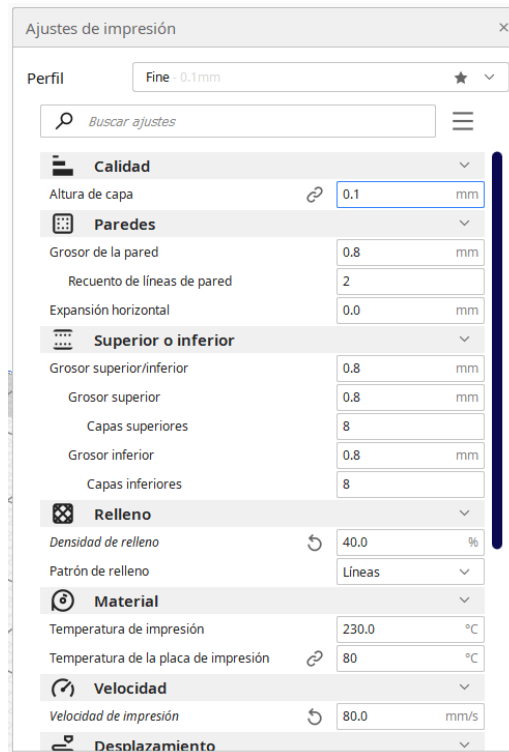
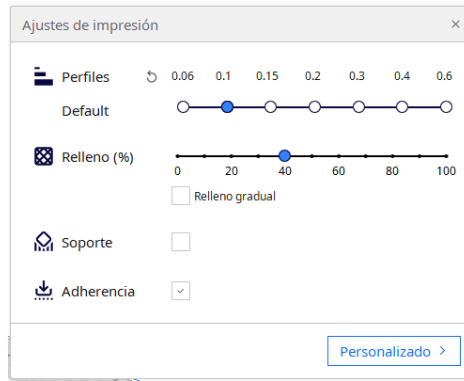
Interfaz del software de Cura Slicer.





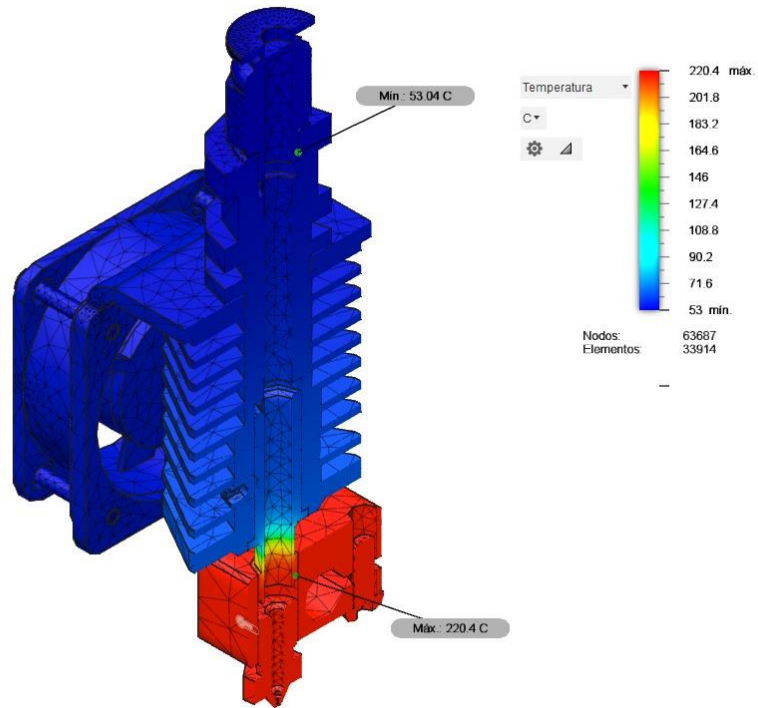
ANEXO H

Parámetros de ajuste de impresión en el software Slicer Cura

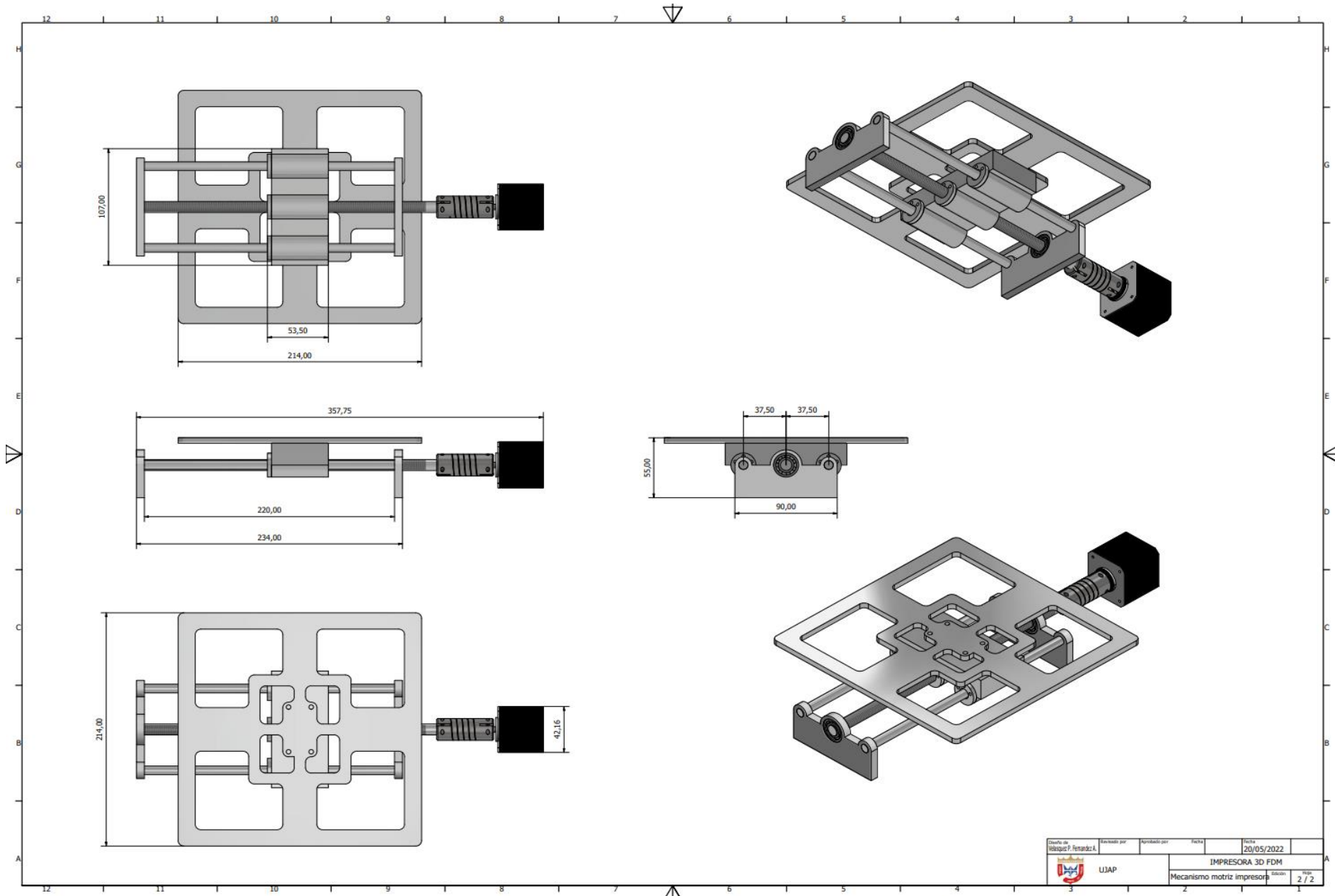


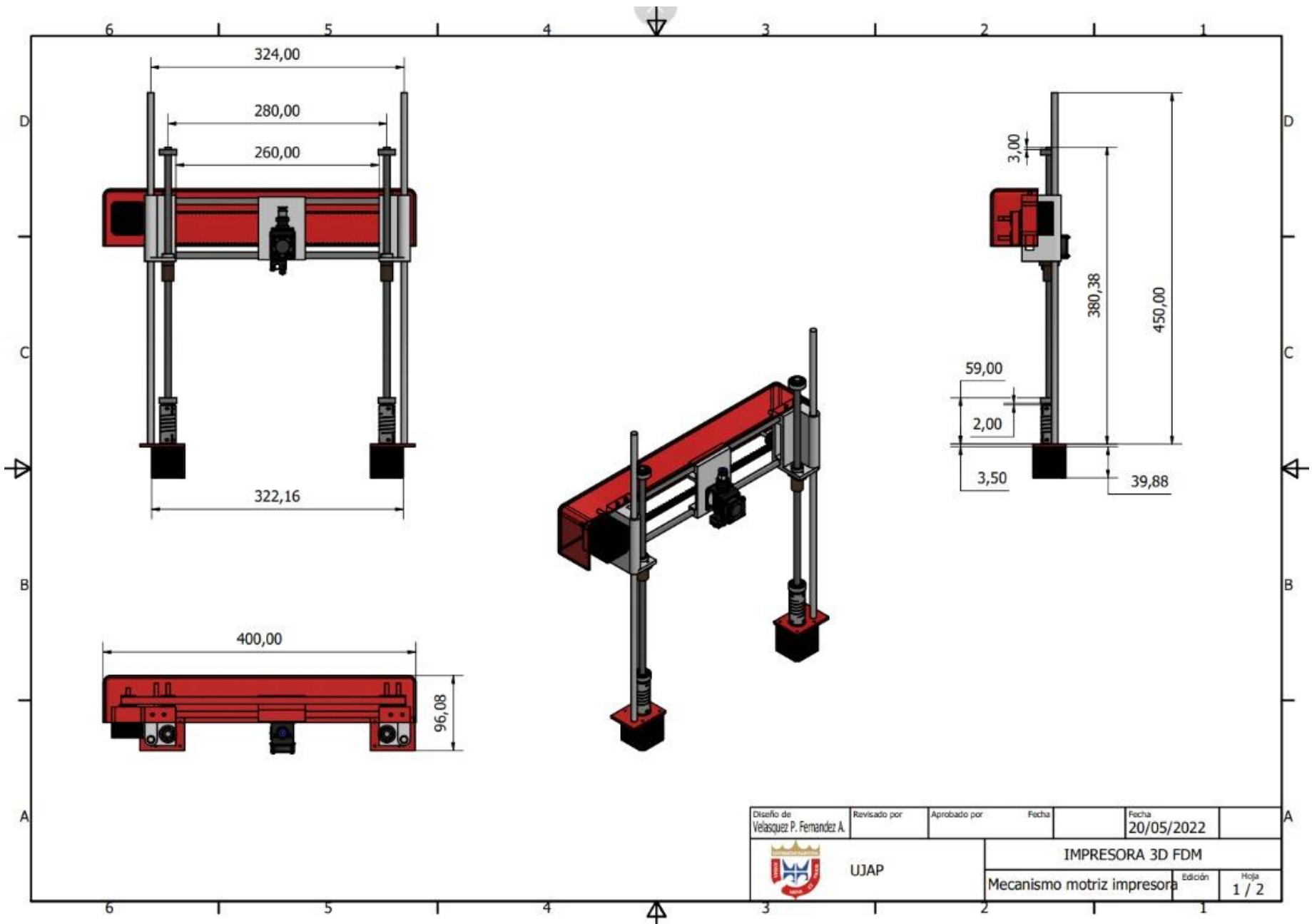
ANEXO I


Simulación térmica del Hotend de la máquina, utilizando como temperatura máxima 230°C

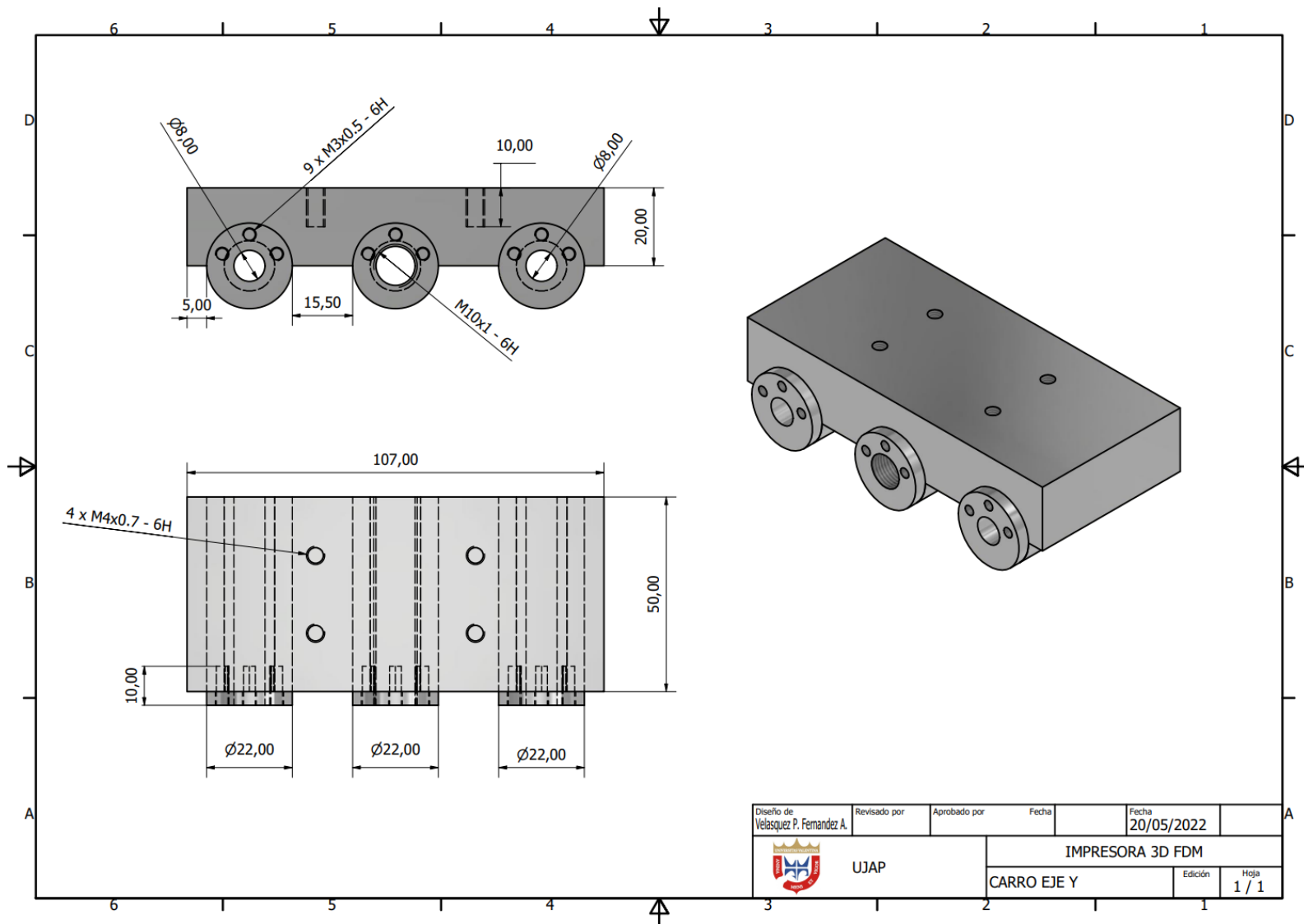


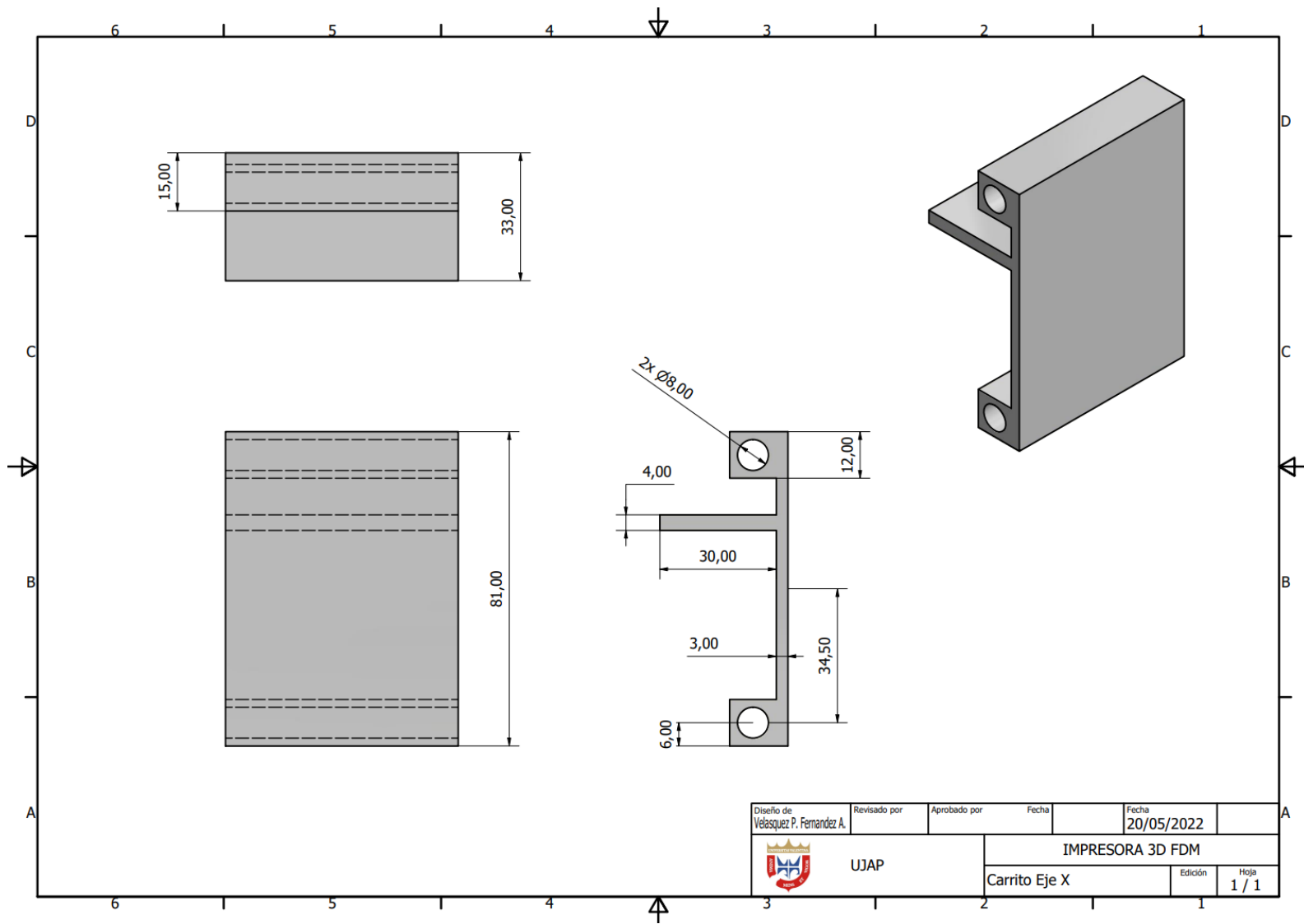
Planos

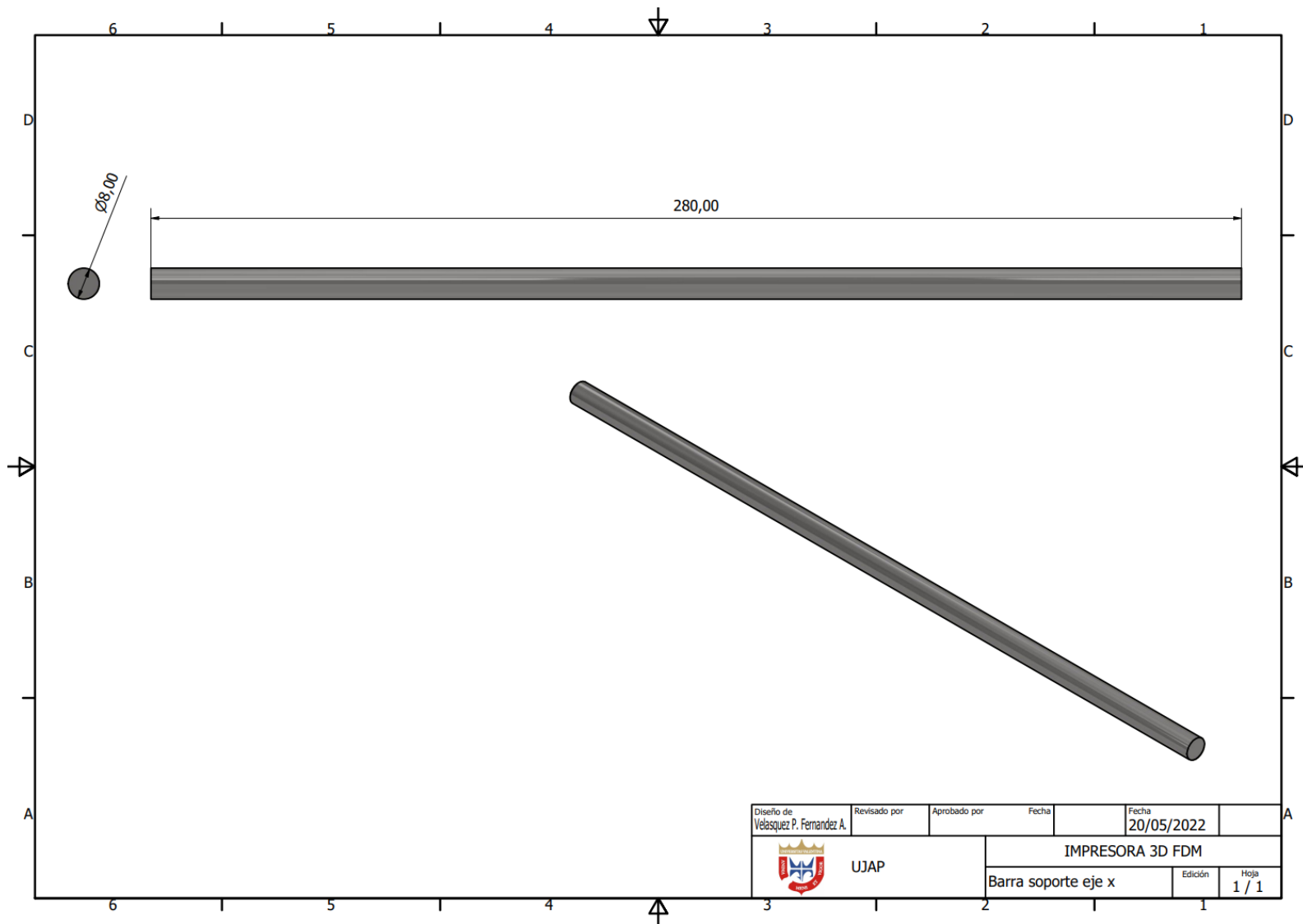


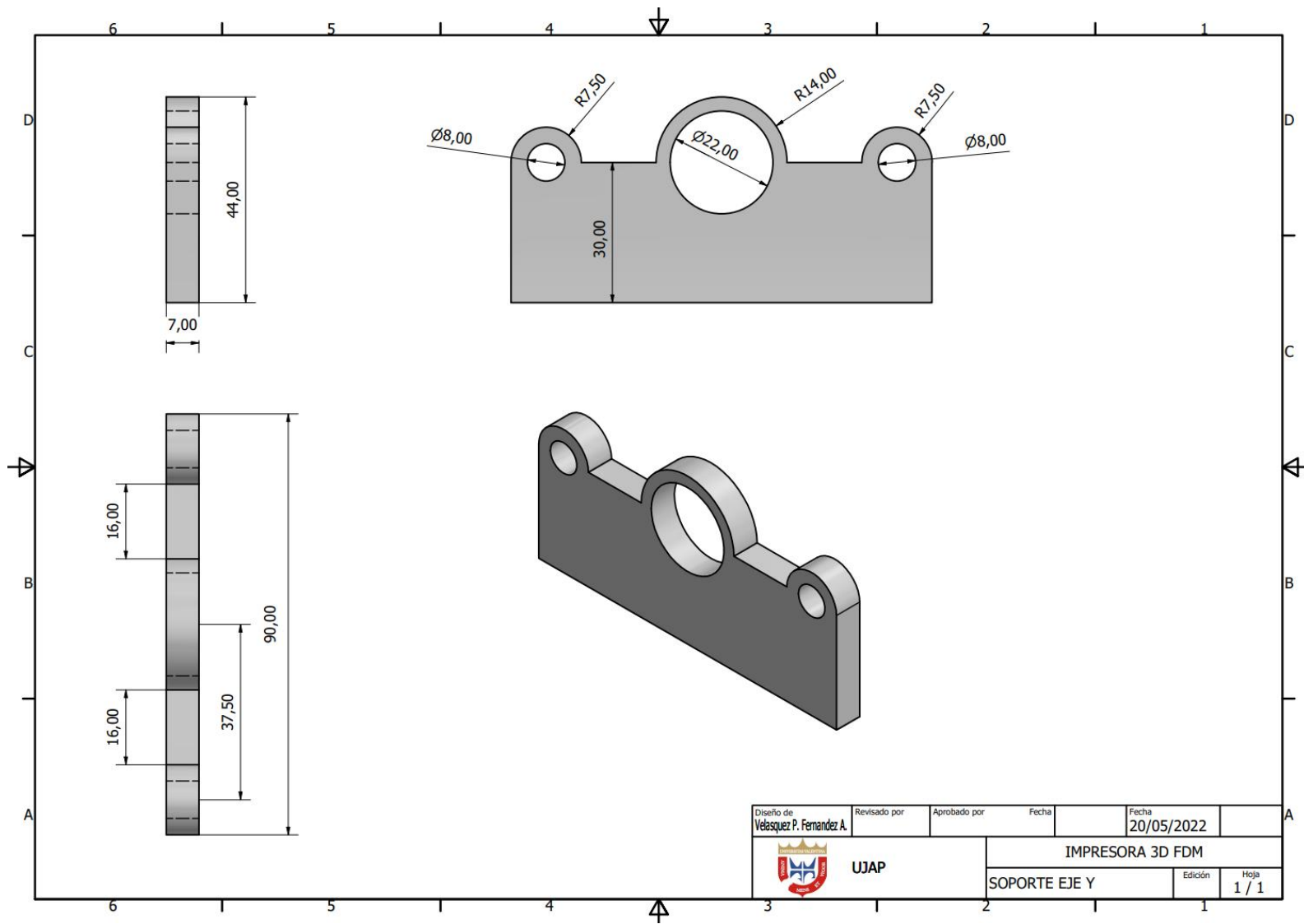


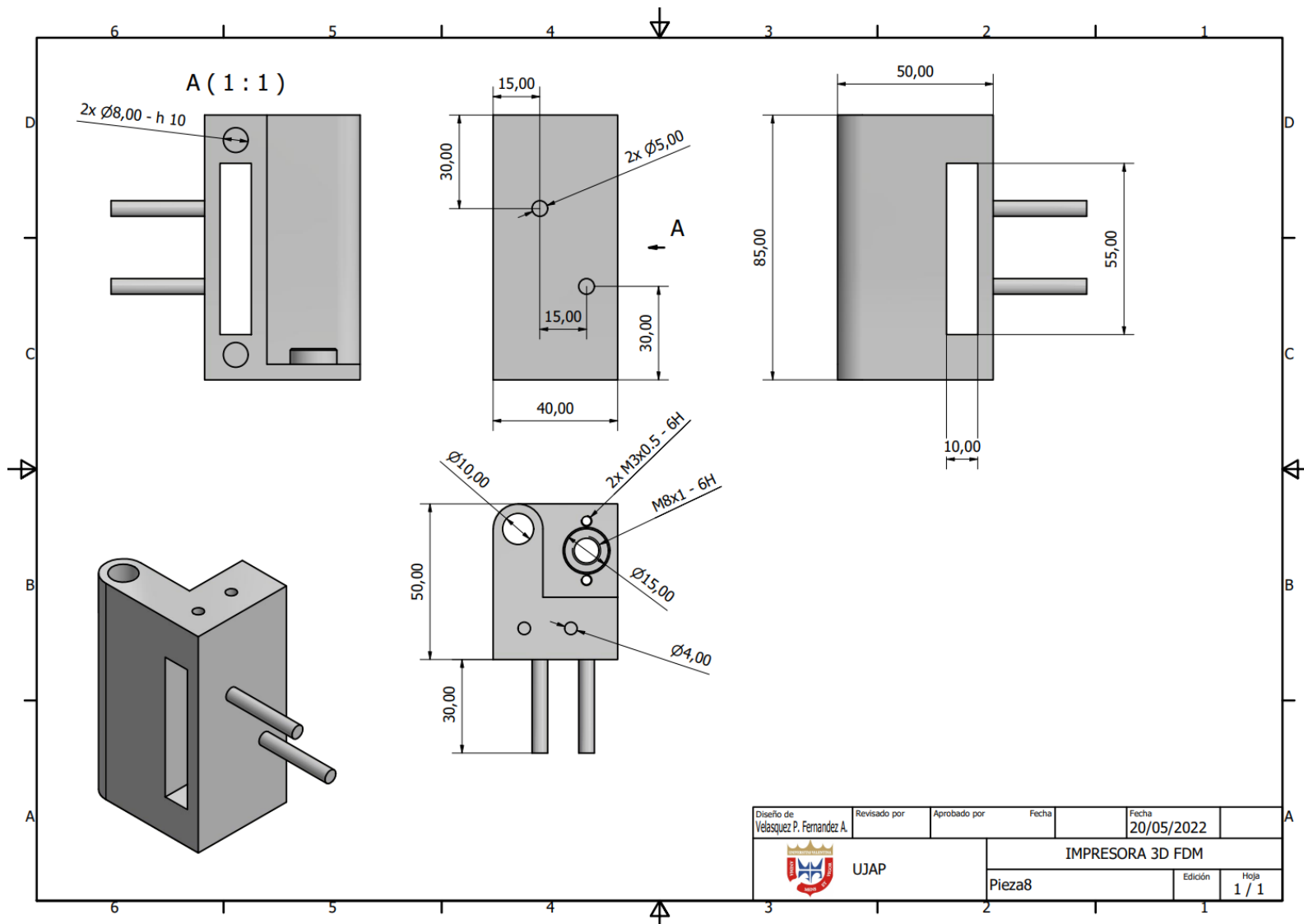
Diseño de Velasquez P. Fernandez A.	Revisado por	Aprobado por	Fecha	20/05/2022
 UJAP			IMPRESORA 3D FDM	
			Mecanismo motriz impresora	Edición Hoja 1 / 2

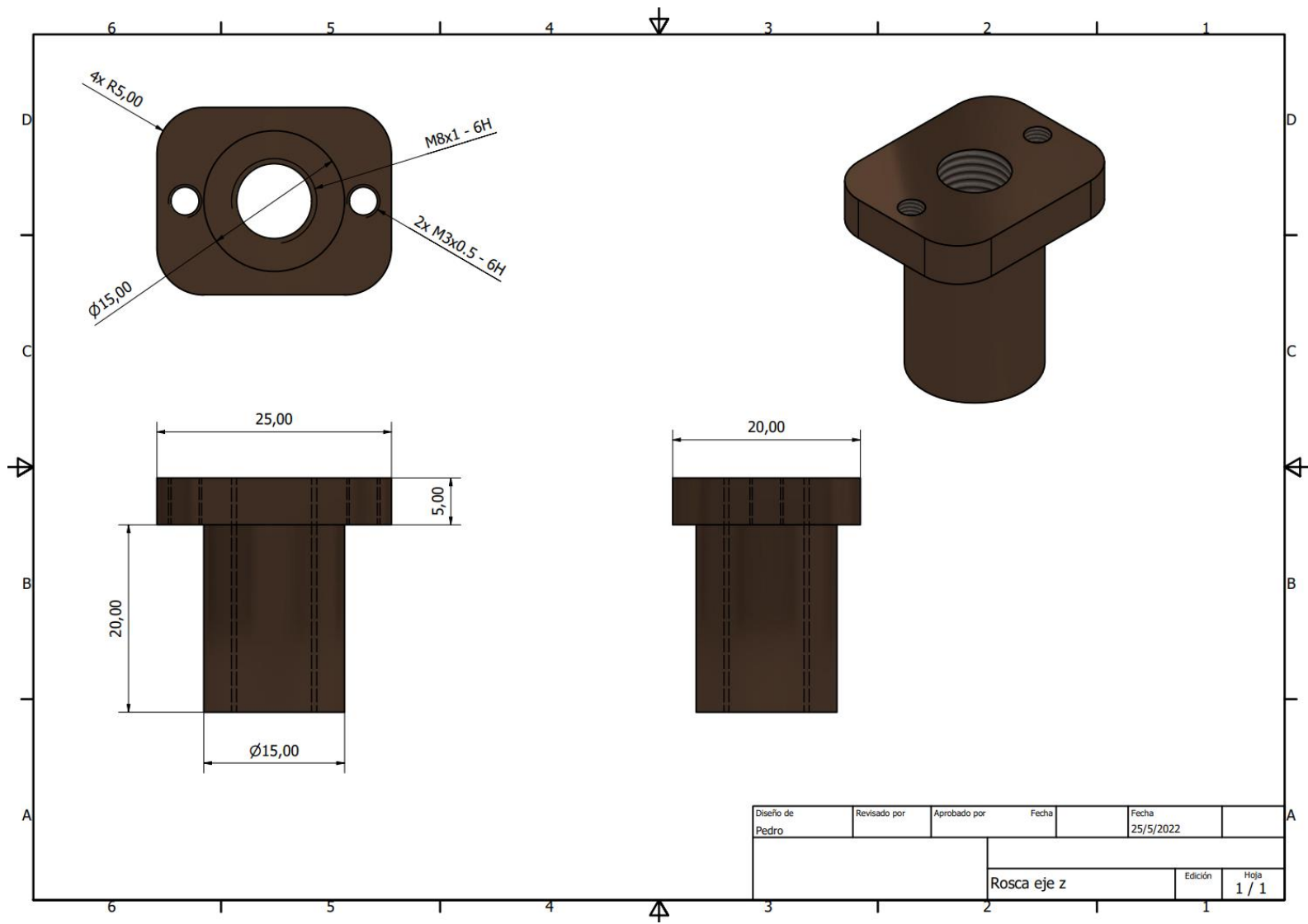


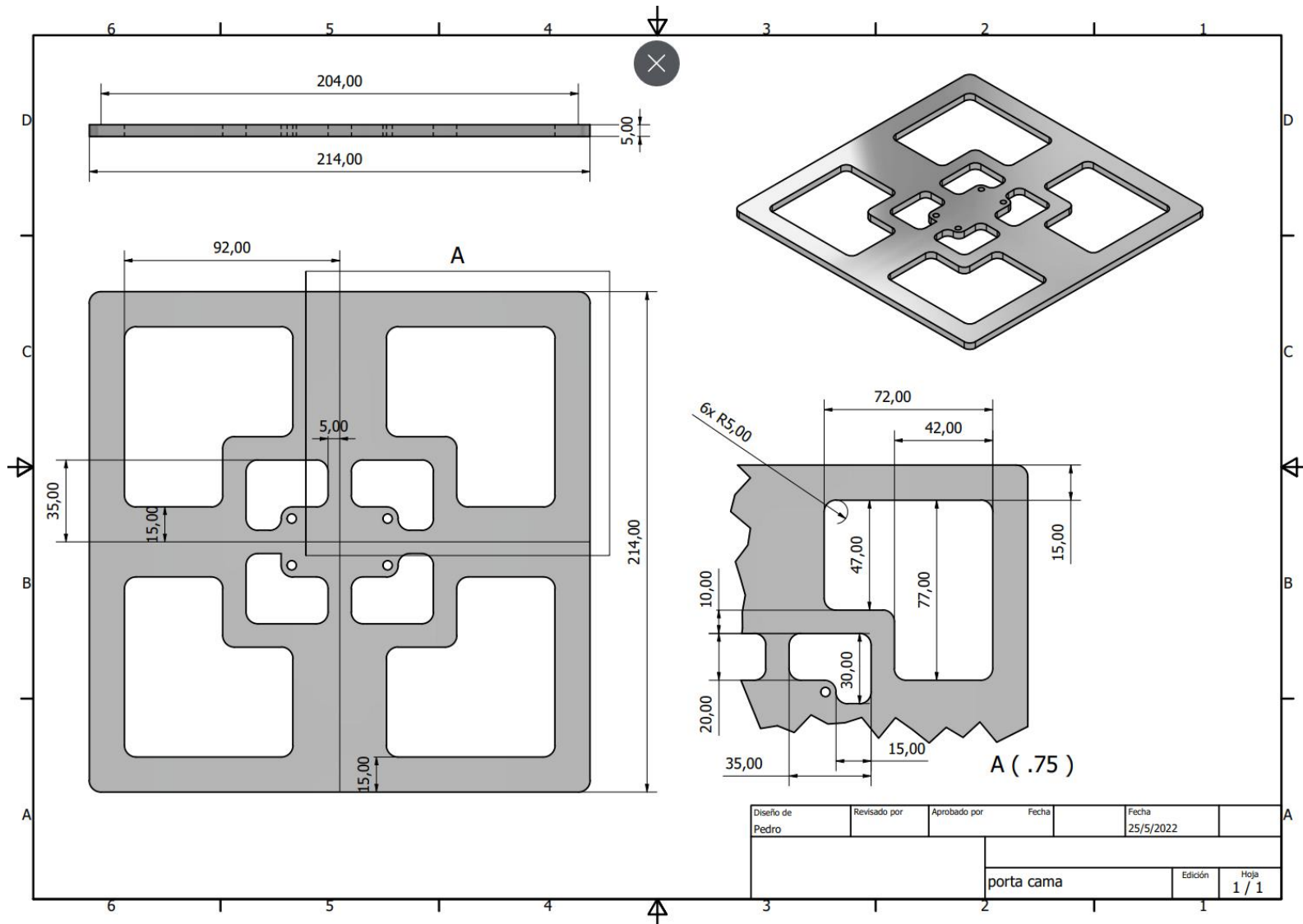


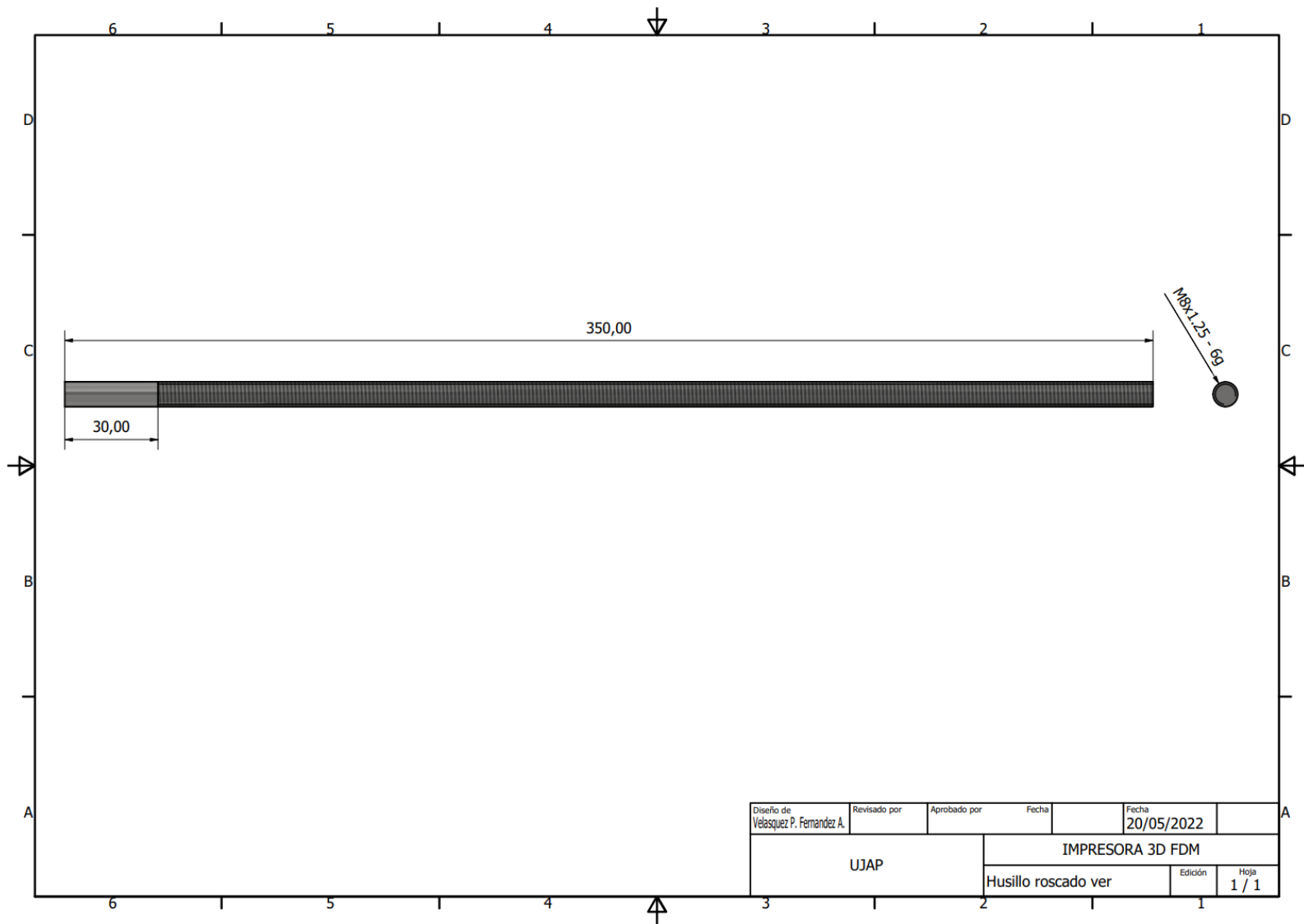


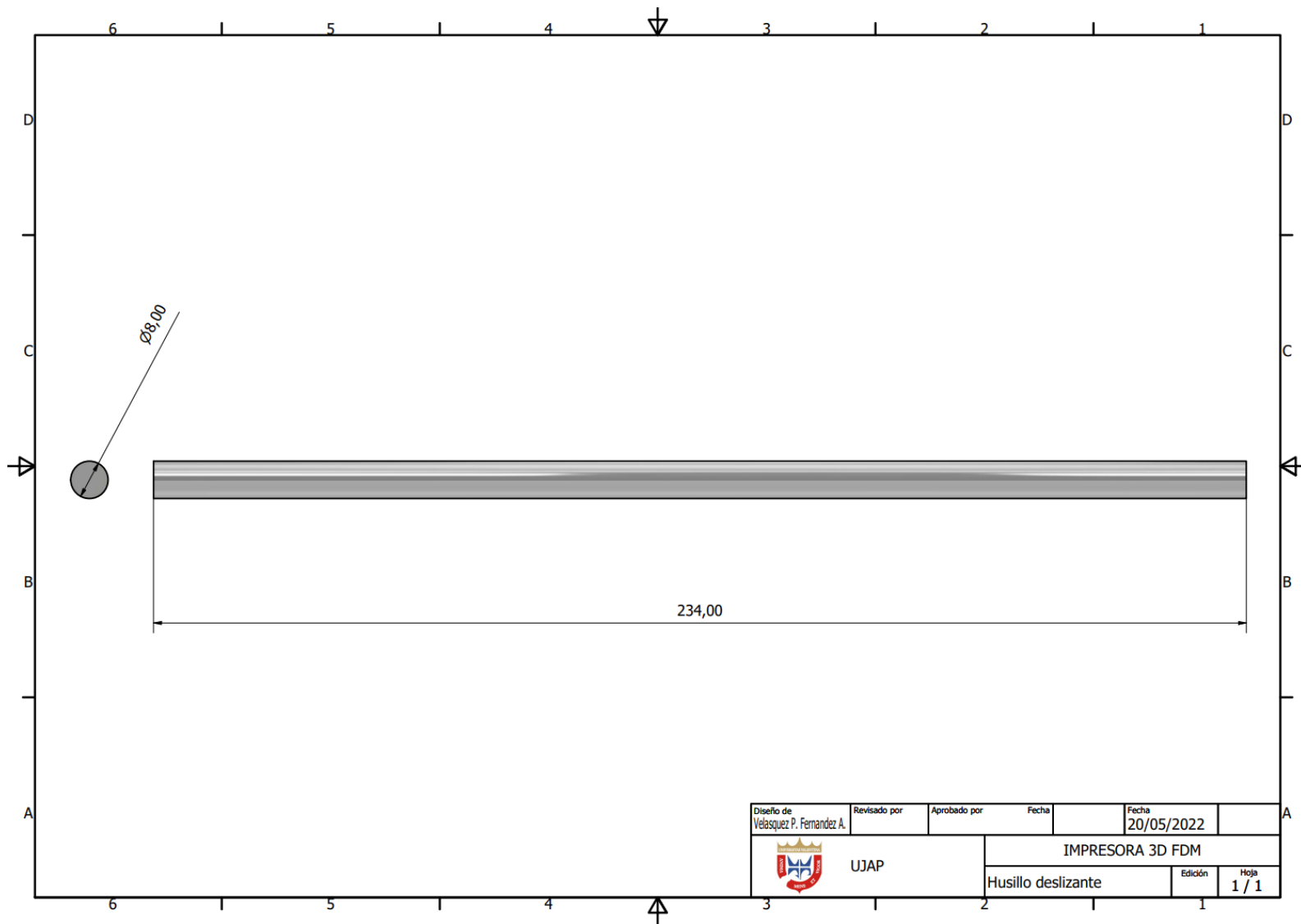


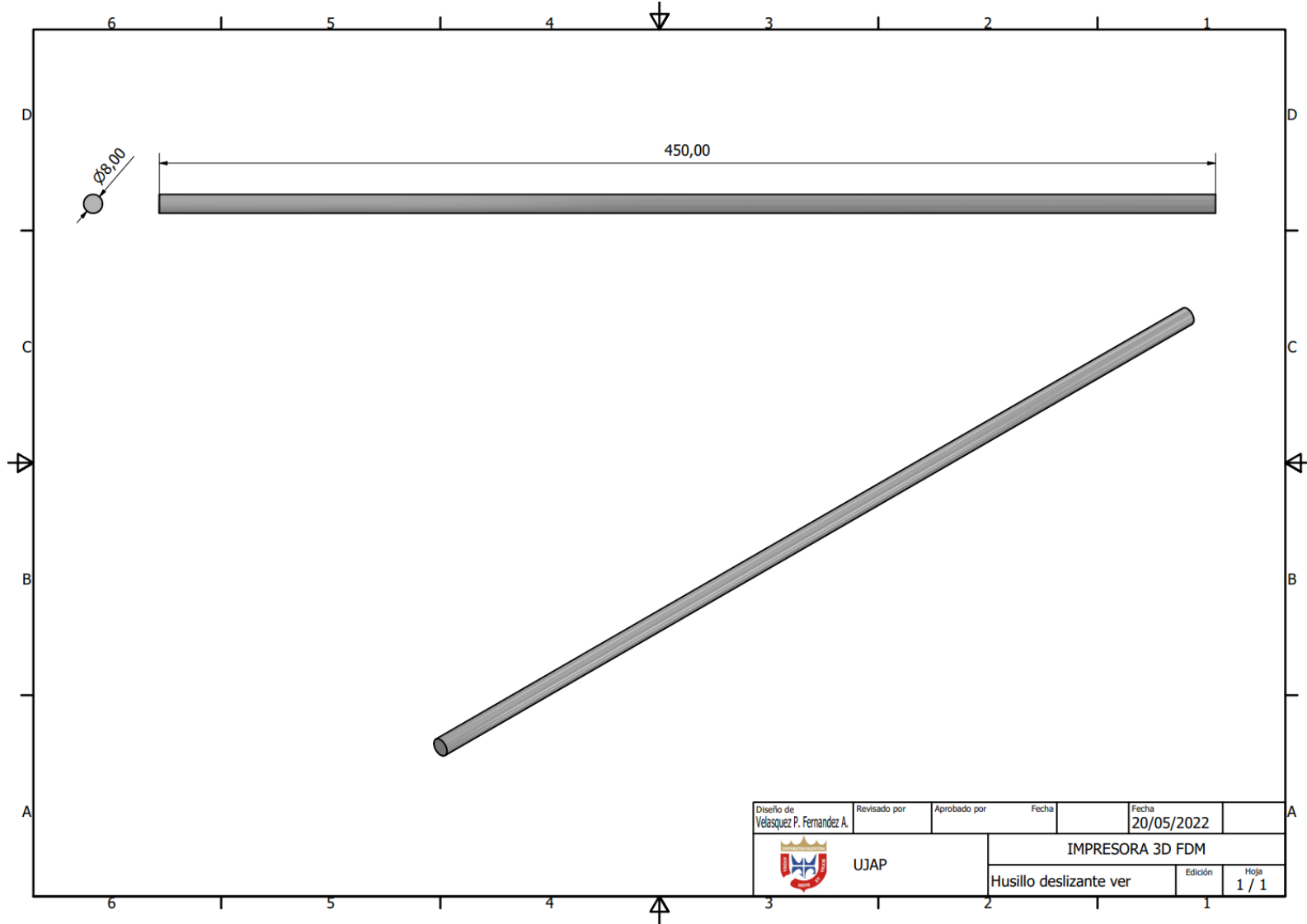


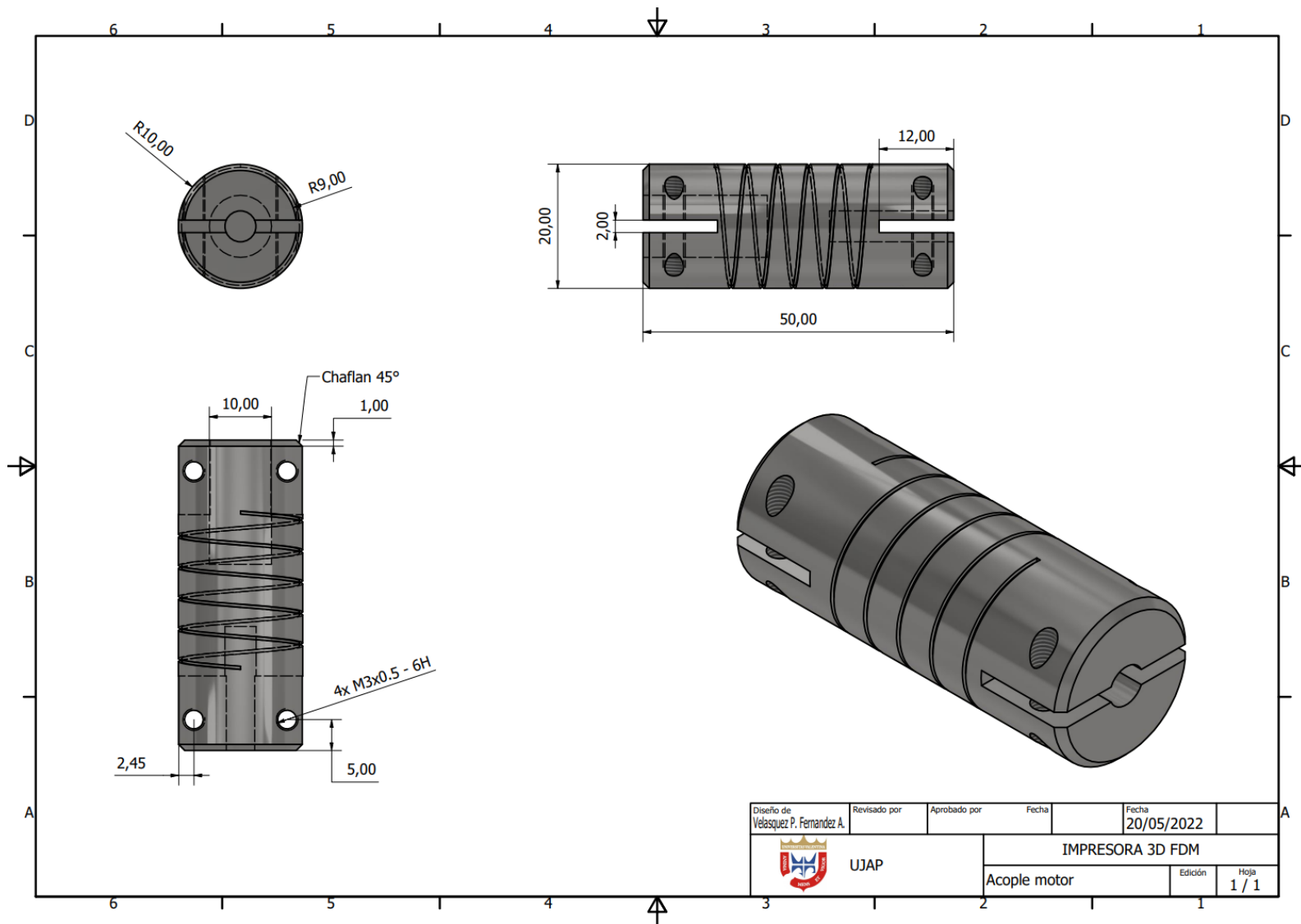













Diseño de Velasquez P. Fernandez A.	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
				20/05/2022	
 UJAP			IMPRESORA 3D FDM		
Acople motor			Edición	Hoja	
				1 / 1	