



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA IMPRESORA 3D DE CABEZALES
INTERCAMBIABLES PARA LA EMPRESA JJR SERVICIOS GENERALES
SRL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

AUTORES:

Avilés Grados, Javier

Tello Aranda, Luis Fernando

ASESOR:

Dr. Olórtegui Yume Jorge Antonio, Ph.D

LINEA DE INVESTIGACION:

Modelamiento y simulación de sistemas electromecánicos

TRUJILLO – PERÚ

2018

LISTA DE MIEMBROS DE LA EVALUACIÓN DE LA TESIS

**DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D DE CABEZALES INTERCAMBIABLES
PARA LA EMPRESA JJR SERVICIOS GENERALES SRL**

Autor: Tello Aranda, Luis Fernando

Autor: Avilés Grados, Javier

Presidente: Inciso Vásquez, Jorge

Vocal: Olortegui Yume, Jorge

Secretario: De La Rosa Bocanegra, Felipe

DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico a mis padres Luis Tello Pinedo y Merarda Aranda López, como demostración del amor y respeto por ello, agradeciendo su apoyo constante.

Luis Fernando Tello Aranda

Dedico esta investigación a mis padres Javier Avilés Campos y Rosa Grados Merejildo. Por su apoyo incondicional. A mis hermanas por el ayuda constante que me brindaron día a día en el trascurso de mi carrera.

Javier Avilés Grados

AGRADECIMIENTO

A Dios por su compañía incondicional, brindándome paciencia y sabiduría para afrontar la vida universitaria y como persona.

A mis padres y hermano, por su apoyo y consejos constantes que me impulsaron a seguir adelante en mi vida logrando mis objetivos.

A mis docentes que compartieron sus conocimientos conmigo ayudándome a culminar la presente investigación.

Luis Fernando Tello Aranda

A Dios gracias por cada detalle de gratitud y momento durante la realización de mis estudios universitarios.

Gracias a mis padres y hermanos por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas.

A mis docentes que brindaron sus conocimientos conmigo y apoyándome a culminar la presente investigación.

Javier Avilés Grados

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Tello Aranda Luis Fernando y Avilés Grados Javier, con los DNI N° 72225207 y N° 47029350 respectivamente, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de INGENIERÍA Escuela de MECÁNICA ELÉCTRICA, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica. Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces. En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, 22 de diciembre del 2018

Luis Fernando Tello Aranda

Javier Avilés Grados

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del jurado:

De conformidad y cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, presenté ante ustedes la Tesis titulada: **“DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D DE CABEZALES INTERCAMBIABLES PARA EMPRESA JJR SERVICIOS GENERALES SRL”**

Esperando cumplir con los requisitos de aprobación.

Trujillo, 22 de diciembre del 2018

Luis Fernando Tello Aranda

Javier Ángel Avilés Grados

Contenido

CAPÍTULO I.....	14
I. INTRODUCCION	15
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	15
1.2. TRABAJOS PREVIOS.....	16
1.3. TEORIAS RELACIONADAS AL TEMA	19
1.3.2. TIPOS DE IMPRESIÓN DE UNA IMPRESORA 3D.	19
1.3.3. SINTERIZADO POR LÁSER (SLS).....	20
1.3.4. ESTEREOLITOGRAFIA (SLA).	21
1.3.5. PROCESAMIENTO DE LUZ DIGITAL (DLP).....	22
1.3.6. DEPOSICION DE MATERIAL FUNDIDO (FDM).	22
1.3.7. MATERIALES UTILIZADOS EN LA IMPRESIÓN 3D.....	23
1.3.8. POLIÁCIDO LÁCTICO (PLA).....	24
1.3.9. ACRILONITRILO, BUTADIENO Y ESTIRENO (ABS).	25
1.3.10. MODELO DE IMPRESORAS.	26
1.3.11. REPRAP MENDEL.	26
1.3.12. MENDEL PRUSA.	27
1.3.13. MODELO ZMORPH.	27
1.3.14. MODELO TRONXY X5	28
1.3.15. SECUENCIA DE IMPRESIÓN EN 3D.....	29
1.3.17. DISEÑO DE IMPRESORA 3D.	32
1.3.18. DISEÑO DE EXTRUSOR.....	36
1.3.21. SOFTWARES DE APLICACIÓN.....	51
1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA	60
1.5. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO.....	60
1.6. OBJETIVO.....	61
CAPITULO II	62
II. MÉTODO.....	63
2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	63
2.2. VARIABLES DE DISEÑO.	66
2.2.1. VARIABLES PARA EL SISTEMA DE CHASIS	66
2.2.2. VARIABLES PARA EL SISTEMA DE EXTRUSIÓN	66

2.2.3. VARIABLES PARA EL SISTEMA DE LÁSER	67
2.3. POBLACION Y MUESTRA	77
2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD	77
2.5. METODOS DE ANALISIS DE DATOS	77
CAPITULO III	78
III. RESULTADOS	79
3.1. NECESIDADES DE LA EMPRESA	79
3.2 NORMAS DE DISEÑO	80
3.2. ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA	82
3.3. CONCEPTOS DE DISEÑO ESTRUCTURA	83
3.3.1. CONCEPTO N° 1: ESTRUCTURA CON ALUMINIO RECTANGULAR	83
3.3.2. CONCEPTO N° 2: ESTRUCTURA CON ACRÍLICO LISO	84
3.3.3. CONCEPTO N° 3: ESTRUCTURA CON PATIN DE REFUERZO	84
3.3.4. CONCEPTO N° 4: ESTRUCTURA CON ACERO PINTADO AL POLVO	85
3.3.5. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA ÓPTIMA MEDIANTE UNA MATRIZ PONDERADA ESTRUCTURA	85
3.4. CONCEPTOS DE DISEÑO DE EXTRUSOR	88
3.4.1. CONCEPTO N° 1: HOTEND TIPO BUDASCHNOZZLE	88
3.4.2. CONCEPTO N° 2: HOTEND TIPO MK8	88
3.4.3. CONCEPTO N° 3: HOTEND TIPO J-HEAD NOZZLE	89
3.4.4. CONCEPTO N° 4: HOTEND TIPO V6	89
3.4.5. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA ÓPTIMA MEDIANTE UNA MATRIZ PONDERADA PARA EXTRUSOR:	90
3.5. DISEÑO DE LÁSER Y SELECCIÓN	92
3.6. DISEÑO DE CONFIGURACIÓN GENERAL DE LA MÁQUINA	93
3.6.1. BOCETOS PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES	94
3.6.2. SELECCIÓN DE BOCETO ÓPTIMO A TRAVÉS DE UNA MATRIZ PONDERADA: 97	
3.6.3. DIAGRAMA DE BLOQUES	100
3.6.4. DIAGRAMA DE AGRUPACIÓN DE ELEMENTOS EN BLOQUES LÓGICOS .	100
3.6.5. DIAGRAMA DE INTERACCIÓN DE DATOS	101
3.6.6. ELECCIÓN DE MATERIAL – PROCESO	101

3.7.	DIAGRAMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA.....	102
3.8.	DIMENSIONAMIENTO GENERAL DE LA MÁQUINA.....	103
3.9.	DISEÑO PARAMÉTRICO.....	104
3.9.1.	DISEÑO PARAMÉTRICO MEDIANTE MEF ANSYS.....	104
3.9.2.	SIMULACIÓN DE IMPRESORA 3D – CONFIGURACIÓN N° 1	104
3.9.3.	SIMULACIÓN DE IMPRESORA 3D – CONFIGURACIÓN N° 2	108
3.10.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE SIMULACIÓN DE LAS CONFIGURACIONES	112
	TABLA 14: ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES.....	112
3.10.1.	ANÁLISIS MODAL	113
3.10.2.	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS.....	116
3.11.	ACCESORIOS DE LA IMPRESORA 3D DE CABEZALES INTERCAMBIABLES:.	127
3.12.1	SELECCIÓN DE EQUIPOS ESTÁNDAR:	134
3.12.	ELABORACIÓN DE LOS PLANOS FINALES DEL PROYECTO.....	135
3.13.	ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS ECONÓMICO	135
3.13.1.	PRESUPUESTO Y LISTADO DE COMPONENTES.....	135
	ANEXOS.....	161

RESUMEN

En la presente tesis se diseña y construye una impresora 3D de cabezales intercambiables para uso laboral (**26 x 26 x 30 cm**) en la empresa JJR SERVICIOS GENERALES SRL en la ciudad de Cajamarca.

Las entrevistas a los trabajadores de la empresa mencionada y gracias a la revisión de las normas de diseño se definieron las necesidades pendientes. Se generaron 4 conceptos alternativos para la estructura y el extrusor de la impresora, siendo evaluados a través de una matriz ponderada para seleccionar el concepto óptimo. El láser que se implementó a la impresora se eligió sin ayuda de la matriz porque no existen diferencias mayores, debido a que sólo varía la potencia y la longitud de láser.

Luego se realizó el diseño de configuración al concepto seleccionado para así determinar las dimensiones más importantes de la máquina. Después se ejecutaron dos estudios de parametrización: la primera a través de una simulación MEF (Método de Elemento Finito) en ANSYS – WORKBENCH a la estructura realizando análisis estático, de fatiga y modal obteniendo resultados de esfuerzos de Von Misses (σ'), factores de seguridad (FS), deformaciones (δ) y la frecuencia a la cual entra en vibración (Hz); el segundo estudio se realizó a través de GUI – MATLAB para obtener la velocidad a la cual obtenemos una impresión óptima variando el costo de energía eléctrica y la potencia de los motores. La parametrización realizada por los softwares de ingeniería resultó ser una excelente ayuda para la toma de decisiones al analizar los componentes críticos.

Los rangos adecuados de impresión fueron de: **Largo 200 - 260 mm, ancho 200 a 260 mm, alto 250 - 300 mm.** La estructura de aluminio código N° 052204 siguiendo el modelo de la impresora Tronxy y la configuración del boceto N°1 con motores en la parte superior y el carrete al costado resultaron ser óptimos para su funcionamiento. El análisis MEF-ANSYS favoreció al perfil de aluminio 30x30 con un $\sigma'=10.933$ MPa, $FS_{min}=7.8841$, $\delta_{max}=0.3305$ mm y alcanza la vibración en 47.91 Hz. El rango óptimo de velocidades de impresión según la GUI fue 2.22 mm/s.

El presupuesto total del equipo fue de S/. 1491, Retorno de Inversión (ROI) fue de 1.403%, el Valor Actual Neto (VAN) fue de S/. 2446.91, la Tasa de Retorno de Inversión (TIR) fue de 38% y el Periodo de Retorno de Inversión (PRI) fue de 2.58 meses. La máquina ofrece un diseño económico muy prometedor para su construcción.

El seguimiento estricto de una metodología de diseño confirmó una sucesión muy saludable para el proceso total de diseño.

Palabras claves: Impresora 3D, extrusor, láser, diseño paramétrico, Interface Gráfica de usuario.

ABSTARCT

In this thesis, a 3D printer with interchangeable heads for work use (26 x 26 x 30 cm) is designed and manufactured by JJR SERVICIOS GENERALES SRL in the city of Cajamarca.

Interviews with the aforementioned company workers and thanks to the revision of the design standards defined the pending needs. Four alternative concepts were generated for the structure and the extruder of the printer, being evaluated through a weighted matrix to select the optimal concept. The laser that was implemented to the printer was chosen without the help of the matrix because there are no major differences, because only the power and length of the laser is found.

Then the design of the configuration of the selected concept was carried out in order to determine the most important dimensions of the machine. After executing two parametrization studies: The first through a simulation MEF (Finite Element Method) in ANSYS - JOB BANK to the structure of static analysis, fatigue and modal that results are obtained from Von Misses (σ'), safety factors (FS), deformations (δ) and the frequency at which it enters vibration (Hz); The second study was conducted through GUI - MATLAB to obtain the speed while obtaining an optimal impression by varying the cost of electric power and the power of the motors. The parameterization made by the engineering software turned out to be an excellent help for the decision making to analyze the critical components.

The suitable printing ranges were: Length 200 - 260 mm, width 200 to 260 mm, height 250 - 300 mm. The aluminum structure code No. 052204 follows the model of the Tronxy printer and the configuration of sketch No. 1 with motors on top and the cost of the service are optimal for its operation. The MEF-ANSYS analysis favored the 30x30 aluminum profile with a $\sigma' = 10,933$ MPa, $FS_{min} = 7.8841$, $\delta_{max} = 0.3305$ mm and reaches vibration at 47.91 Hz. The optimal printing speed range according to the GUI was 2.22 mm/s.

The total budget of the team was S /. 1491, Return on Investment (ROI) was 1,403%, Net Present Value (NPV) was S /. 2446.91, the Return on Investment Rate (IRR) was 38% and the Return

on Investment Period (PRI) was 2.58 months. The machine offers a very promising economic design for its construction.

The strict follow-up of a design methodology confirmed a very healthy succession for the total design process.

Keywords: 3D printer, extruder, laser, parametric design, user graphic interface.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCION

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

La impresión 3D es un tipo de fabricación denominada manufactura aditiva debido a que su estrategia es la adición de capas y capas de material en un plano horizontal hasta terminar la pieza a fabricar, en el año 2014 se vencieron las patentes de las tecnologías de impresión 3D FMD (Fused Model Desposition) y SLS (Selective Laser Sintering), con esto se llevó a cabo un gran impulso y desarrollo de la impresión 3D desde el punto de vista industrial, académico e incluso el del aficionado. Se vio la aparición en el mundo de muchas nuevas compañías dedicadas a la fabricación de equipos de impresión 3D, se crearon centros que ofrecen servicios de impresión 3D y nuevas aplicaciones se propusieron en diversas industrias como la metal-mecánica, la de plásticos, la de alimentos, la de construcción e incluso la de la moda. La impresión 3D reduce los costos de fabricación y crea nuevas industrias por medio de la exportación e importación.

El mundo de la impresión 3D es el avance a futuro en diferentes aspectos, se pueden lograr infinidad de piezas diferentes y utilitarias. En el Perú ya se cuenta con esta tecnología para necesidad de cualquier persona debido al bajo costo de esta impresora 3D que se encarga de convertir en un objeto real los diseños 3D, con algún sistema CAD que crea un modelo digital tridimensional de la estructura.

La empresa JJR Servicios Generales SRL es una empresa que brinda servicios especializados en ingeniería, construcción, consultoría y servicios en general, que busca implementar una IMPRESORA 3D DE CABEZALES INTERCAMBIABLES, ya que hoy en día es necesario para reducir los costos de diseño y manufactura, así como disminuir tiempos de construcción y ensamble, se pretende que la empresa pueda tener su propia impresora 3D para realizar sus propios diseños de ingeniería a través de la elaboración de maquetas a escala de los proyectos, aprovechando el tiempo de

fabricación y se puedan hacer numerosas pruebas de diseño antes de llegar al producto requerido.

La industria manufacturera es muy escasa en departamento de Cajamarca ya que no cuenta con recursos propios y tiene que solicitar diferentes productos y repuestos a otros departamentos del Perú, generando tiempo perdido. Es por ello que la empresa JJR Servicios Generales implementara una impresora 3D para solucionar problemas concretos en las instalaciones mecánicas, por ejemplo, alguna pieza que, por su posición, orientación o forma, sea imposible encontrar en el mercado y se tenga que fabricar a medida en la impresora 3D para luego elaborar bloques realizando su fundición con el

1.2. TRABAJOS PREVIOS

López, Alejandro (2012) en su tesis titulada “Mejora del proyecto y fabricacion de una impresora 3d” ejecutado en la universidad “Cenidet” (Centro nacional de investigación y desarrollo tecnológico) nos indica que, en la fabricación de la impresora se debe de tener presente que en la armazón y los cinchos donde se desplazan los ejes X y Y estén correctamente alineadas para prevenir contratiempo en el momento que se empieza a realizar pruebas. Las barras roscadas donde se desplaza el eje Z de la impresora, son piezas que se debe de tener cuidado al instante de la fabricación, convenientemente si el eje de la máquina y la barras roscada no permanecen correctamente alineadas con los acoples, presentaran dificultad en el eje Z en el momento en que se esté imprimiendo.

Ramos maltés (2011) en su tesis titulada “Multifab: una plataforma de impresión 3d de múltiples materiales” en la Universidad Estatal de Carolina del Norte. indica que esta tesis presenta el desarrollo de MultiFab, una arquitectura de impresión en 3D multi-material que es de alta resolución, escalable y de bajo costo. MultiFab permite la impresión en 3D de piezas con materiales que interactúan de forma óptica y mecánicamente. El hardware es de bajo costo, ya que se basa casi exclusivamente en

componentes off-the-shelf. El sistema utiliza cabezales de impresión comerciales que permiten la impresión 3D multi-material con una resolución de al menos 40 [mu] m.

Esta tesis presenta el diseño y fabricación de MiniFAB, una impresora 3D que mejora la arquitectura y sus subsistemas clave, incluyendo alimentación de material novedoso y UV LED (sistemas de curado). Además, los resultados muestran que la impresora es capaz de producir piezas de materiales múltiples para una amplia variedad de aplicaciones.

García hilario (2014) en su tesis titulada “Desarrollo y fabricación de una mini-impresora 3d para cerámicas” en la universidad de sao- paulo expresa que este estudio investiga sobre los procesos de impresión tridimensional y el desarrollo de una impresora capaz de producir muestras en cerámica. Partiendo de las técnicas de impresión 3D que consiste en obtener un cuerpo sólido a partir de un modelo digital, utilizado un aglutinante que se deposita sobre las capas de polvo de yeso sucesivamente, crean una impresora que sustituye estos materiales por otros que permitan construir modelos cerámicos evaluando el coste de estos materiales, elasticidad, resistencia, densidad o porosidad.

Tejado sebastián (2015) en su tesis “Escaneado en 3d y muestras de piezas arqueológicas” en la Universidad de La Rioja nos indica que en esta tesis se comentan discutir referente a la utilidad de los eventos tecnológicos en el ambiente de la exploración, la protección y extensión de los bienes arqueológico. Se determinó, en el estudio de un escáner 3D (Konica Minolta Non-Contact 3D Digitizer VI-910) de reducidos elementos arqueológicos en la utilidad impresa en un método de prototipado Rápido. Se deduce que estos procedimientos consiguen ejemplos muy eficaces en periodos muy limitados, la obtención de antecedentes es breve y útil, los ejemplos son más económicos que con los métodos acostumbrados y la protección del patrimonio resulta más eficaz que otros métodos tradicionales.

Garcia, rafael (2013) en su tesis “Diseño de una impresora capaz de crear diversos elementos al mismo tiempo en Madrid”. El requerimiento para crear múltiples objetos simultáneamente nace a partir de querer aumentar la productividad deseando fabricar el mismo objeto simultáneamente cuatro veces en el tiempo que normalmente se fabricaría solo uno. Se decidió diseñar una impresora que tenga cuatro boquillas, utilizando una solución sencilla, lo cual resulta en cuatro objetos a la vez, se obtuvo que colocando cuatro boquillas en un mismo eje permitiría la impresión de cuatro objetos en simultáneo. Se concluyó que el mejor diseño sería donde el cabezal es la pieza que este en movimiento en los ejes (X, Y, Z) y que la cama térmica permanezca estática para lograr un ahorro de energía (debido a que la base térmica es una de las piezas más pesadas).

Baca Castro, Juan (2017) en su tesis “Diseño de una impresora 3d de cabezales intercambiables para la facultad de ingeniería mecánica-eléctrica de la universidad cesar vallejo” nos indica que la impresora 3d de cabezales intercambiables con estructura de 20*20mm de aluminio anodizado rexroth con capacidad de un área de impresión de (230*200*160 mm) y velocidad de impresión óptima de 80 mm/s presenta mayores ventajas en cuanto a la potencia requerida y costo de energía eléctrica (a determinar de acuerdo a parámetros seleccionados en gui) como a fácil mantenimiento, costo bajo y disponibilidad de materiales satisface las necesidades de la empresa y bajo algunas recomendaciones de diseño previamente establecidas

1.3. TEORIAS RELACIONADAS AL TEMA

1.3.1. IMPRESORA 3D.

La impresión 3D es una sucesión de producción por el cual un elemento tridimensional es inventado mediante la superposición de capas de elementos, generalmente plástico. En este desarrollo se emplean impresoras 3D, son más veloz, baratas y sencillo de usar que otros procedimientos por adición. Éstas toman comunicación de los archivos CAD “Diseño asistido por ordenador” que anticipadamente se han tenido que inventar y en los que se puede acoger distintos tipos de geometría. Estos registros contienen la información imprescindible para que la impresión 3D se realice correctamente.

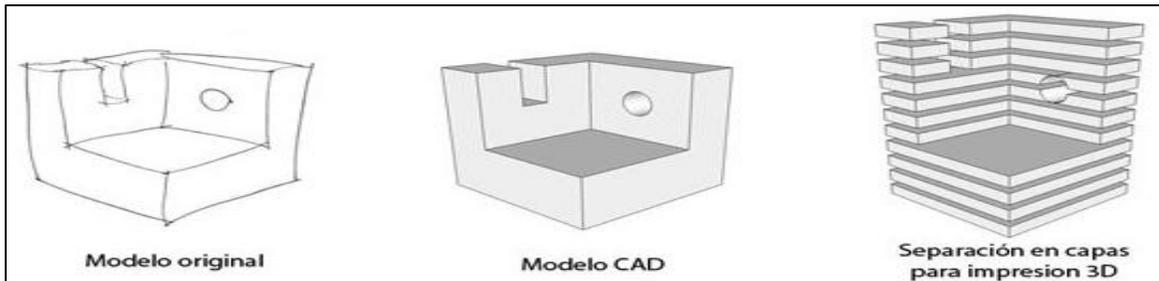


Figura 1: Pasos para diseño 3D

Fuente: Imprimalia3D (2016)

1.3.2. TIPOS DE IMPRESIÓN DE UNA IMPRESORA 3D.

Existen cuatro técnicas resaltantes de fabricación de aditivos las cuales son: Unión selectiva, solidificación selectiva, deposición selectiva y **deposición de material fundido**. Típicamente, las personas se refieren a estas tecnologías por las siglas SLS, SLA, DLP y FDM.

1.3.3. SINTERIZADO POR LÁSER (SLS).

La sinterización selectiva por láser es un método de prototipado veloz que elabora los fragmentos por revestimiento. Los componentes de origen son moléculas cuya fracción miden casi 50 μm . En el proceso del sinterizado se emplean moléculas de distintos componentes.

Un láser sinteriza la superficie seleccionada ocasionando que las moléculas se fundan y endurezcan. El método de concepción de los fragmentos es semejante a la estereolitografía, donde los componentes son creados de capa en capa, empezando la transformación por las medidas más bajas y finalizando por las superiores

La técnica de sinterización selectiva por láser se coloca un recubrimiento de moléculas, de unas décimas de mm, en una cuba que se ha templado a una temperatura levemente menor al punto de unión de partículas, alrededor de un grado. Sucesivamente un láser CO₂ sinteriza las moléculas en los sitios seleccionados. Este recubrimiento de moléculas puede existir de distintos componentes, asiduamente poliamidas así mismo es muy usada con policarbonato nylon. Este láser realiza la aportación de calor necesaria para fundir las partículas de polvo consiguiendo que éstas se unan las unas a las otras.

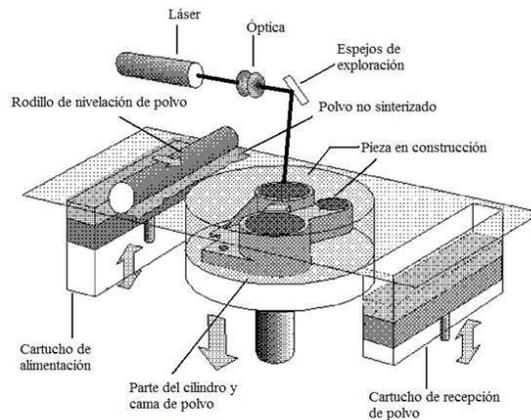


Figura 2: Esquema de funcionamiento SLS.

Fuente: Laboratory of Information Processing Science (2012)

1.3.4. ESTEREOLITOGRAFIA (SLA).

La estereolitografía es un procedimiento en el cual un polímero líquido fotosensible es curado baño por baño por un rayo ultravioleta que es direccionado por espejos dominados por ordenador. El láser diseña lo que va leyendo del prototipo 3D, configura los límites y los completa por compartimientos cruzados bidimensionales, la resina se fortalece en el momento que es tocado por el láser o rayo ultravioleta, en el momento que la zona o layers es terminada, la plataforma del mecanismo baja en una inmersión fotovoltáico para moldear la próxima capa o layers. También tiene como ventaja la ejecución veloz de prototipos de plástico sin emplear una matriz, exacta y dúctil que imitan cuantiosos detalles de las partes a crear.

Como particularidad de SLA, es muestra una superior determinación, acabado, dureza, a un único color, las piezas creadas de SLA pueden ser presentadas en ensayos de ajuste y ensamble, pruebas sencillas como patrones de herramientas, prototipos de exhibición.

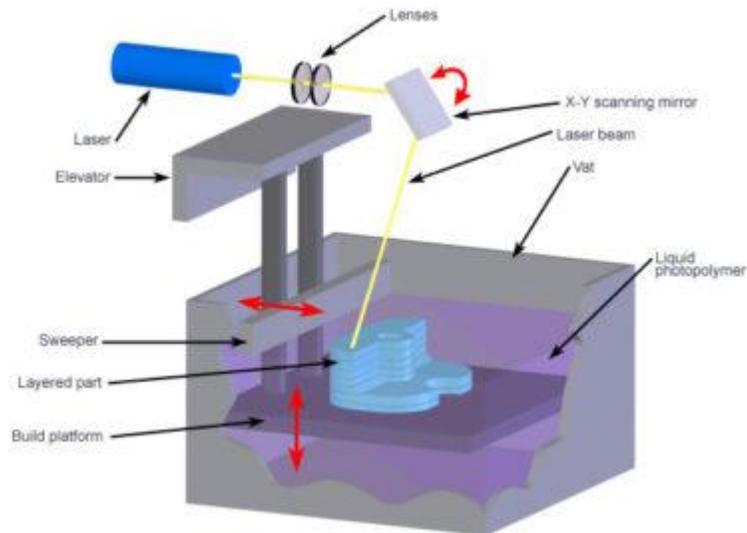


Figura 3: Esquema del proceso de Estereolitografía

Fuente: Advanced Manufacturing (2014)

1.3.5. PROCESAMIENTO DE LUZ DIGITAL (DLP).

Los modelos de impresoras 3D DLP (Procesamiento digital de luz) tiene mucha similitud con las modelos estereolitografía ya que ambas usan fotopolímeros, resina para endurecer mientras aplicas un reflector DLP y un láser SLA. Los modelos DLP se manejan mediante una red eléctrica de micro espejos en la cual un ordenador lo controla en un matriz con un chip semiconductor.

Estos pequeños espejos se reclinan hacia adelante y hacia atrás. Cuando un espejo está reclinado, refleja la luz, lo que refleja un píxel reluciente. Mientras que, si el espejo está reclinado en torno el lado contrario, el píxel se volverá oscuro. Una de su utilidad que muestra para la impresión 3D es su rapidez, puede imprimir capas en un minuto.

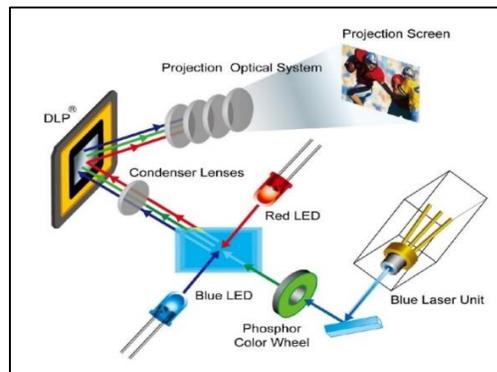


Figura 4: Esquema de la técnica de AM por DLP

Fuente: Tecnología 3D DLP (2014)

1.3.6. DEPOSICION DE MATERIAL FUNDIDO (FDM).

El método aditivo del modelado por deposición fundida es una técnica que consta en poner polímero fundido sobre una base plana, baño a baño. La materia preliminar se localiza en estado sólido reservado en rollos, se funde y es depositado por la boquilla en diminutos hilos que se van endureciendo acorde cada a capa.

Es la tecnología más habitual en todas las impresoras 3D de oficina y a clientes caseros. Si bien el cierto producto puede ser muy bueno, pero no acostumbra a ser semejantes con los que brinda las impresoras 3D por SLA. Actualmente se emplean una gran diversidad de componentes, entre los que destacan el ABS y PLA.

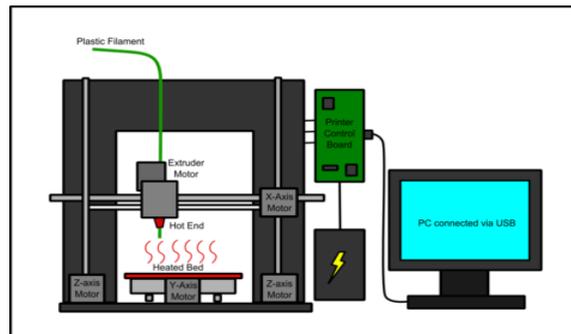


Figura 5: Funcionamiento de fundido por FDM

Fuente: Imprimiren3d (2016)

1.3.7. MATERIALES UTILIZADOS EN LA IMPRESIÓN 3D.

Esta impresora utilizara el método de manufactura aditiva por deposición fundida (FDM). Existen dos materiales usados con mayor frecuencia en este proceso (PLA Y ABS), se encuentran con facilidad en el mercado, el material se encuentra en forma de filamento de plástico en dos diámetros estándar de: 1,75 mm y 3 mm.



Figura 6: Tipos de filamentos de plástico

Fuente: impresora 3D (2016)

1.3.8. POLIÁCIDO LÁCTICO (PLA).

El ácido poli-láctico es un polímero biodegradable obtenido del ácido láctico. Es un componente altamente variable, que se obtiene a partir de procesos renovables al 100%, como son el maíz, el trigo y otros resultados ricos en almidón. Este ácido tiene muchas particularidades semejantes e incluso superiores que muchos plásticos obtenidos del petróleo, lo que hace que sea eficiente para una gran diversidad de usos. Se emplea considerablemente en la impresión 3D debido a sus peculiaridades propiedades de ciencia y funcionamiento muy provechosos.

Su dimensión es suficientemente duradera mientras el tratamiento de preparación y refrigeración, lo que hace factible imprimir piezas sin apenas sufrir 'warping', es decir que se doble y se levante por los extremos debido a contracciones durante el procedimiento de refrigeración. Su temperatura de fusión está en un rango de 160° a 230°C.



Figura 7: Filamentos de ácido polilactico

Fuente: Tecnología de plásticos (2014)

1.3.9. ACRILONITRILLO, BUTADIENO Y ESTIRENO (ABS).

El ABS es la denominación entregado a una familia de termoplásticos. Se le llama plástico de ingeniería, ya que es un plástico cuya confección y procesamiento es más complicado que los plásticos habituales, como son las polioleofinas (polietileno, polipropileno). El acrilonitrilo deriva de los tres monómeros empleados para producirlo: acrilonitrilo, butadieno y estireno. Por estar formado por tres monómeros distintos se lo nombra terpolímero. Los bloques de acrilonitrilo proporcionan consistencia, resistencia a ataques químicos y estabilidad a alta temperatura, así como dureza. Los bloques de butadieno, que es un elastómero, otorgan tenacidad a cualquier temperatura. Esto es especialmente atractivo para ambientes fríos, en los cuales otros plásticos se tornan quebradizos. El bloque de estireno proporciona resistencia mecánica y rigidez. Esta combinación de propiedades, llamada sinergia, indica que el producto final contiene mejores peculiaridades que el conjunto de ellos.



Figura 8: Acrilonitrilo, butadieno y estireno

Fuente: QuimiNet (2006)

1.3.10. MODELO DE IMPRESORAS.

A continuación, describiremos algunos de los modelos existentes, en la evolución de la tecnología de impresión 3D.

1.3.11. REPRAP MENDEL.

La RepRap Mendel es una impresora 3D reducida como para instalar en un escritorio, pero con un cuerpo de impresión capaz para imprimir cosas grandes. La ciencia que utiliza esta impresora es la SFF, el volumen máximo de una pieza impreso es de 1,110 cm³, el volumen de construcción es de 15 cm³ por hora. Entre los materiales con los que se puede imprimir están PLA, HDPE, ABS y más. El tamaño del extrusor es de 0.5 mm. Al extrusor accede un filamento que es el material de trabajo, se calienta, y se funde a través de la boquilla. Una vez que sale, el material extruido se enfría y endurece dando apariencia a un cuerpo firme. La impresora emplea un método de tres coordenadas, cada eje incluye un motor a pasos que hace la oscilación del eje, y un interruptor de meta es el que previene alguna oscilación adicional a lo largo del eje.

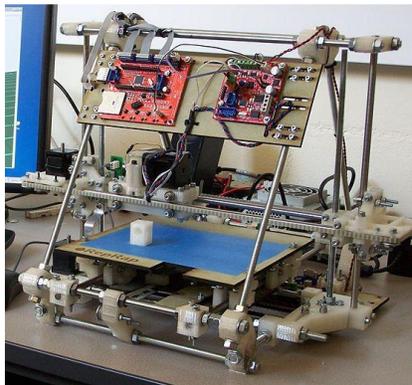


Figura 9: Modelo RepRap Mendel.

Fuente: RepRap impresión 3D (2013)

1.3.12. MENDEL PRUSA.

Mendel Prusa perfecciona el diseño pasado al ser más rápido para la elaboración. La Mendel Prusa es un resumen simplificado del modelo Mendel. Por carencia, se emplean casquillos impresos en lugar de rodamientos normales, sin embargo, las alternativas para reemplazarlos por cojinetes económicos o de otros tipos de cojinetes o bujes están disponibles. La versión existente emplea en total tres cojinetes, uno para el eje X y dos para el eje Y. Es mucho más sencillo de fabricar, más sencillo de transformar, más sencillo de emplear y más sencillo de restaurar.

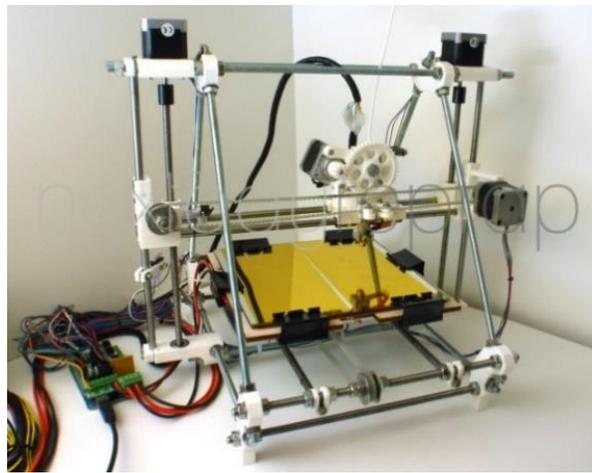


Figura 10: Modelo-Prusa Mendel

Fuente: Rinstruct (2013)

1.3.13. MODELO ZMORPH.

Zmorph Integra tres conceptos distintos en un equipo compacto y funcional, el cual es una impresora 3D que se puede convertir en cortadora laser, una maquina CNC y fresadora. Esta tecnología es muy atractiva para muchos ingenieros, diseñadores, escultores y arquitectos. Es una solución de escritorio completa para la fabricación digital multi-material. Este conjunto brinda la facilidad de obtener el máximo potencial ya que presenta cabezales intercambiables.



Figura 11: Modelo-Zmorph

Fuente: 3D natives (2015)

1.3.14. MODELO TRONXY X5

La X5 tiene un ventilador pre-instalado que no tiene la X3. Un extrusor tipo Bowden. Eslabones de cadena para los 3 ejes, porta carretes de filamento, ventilador para la placa. Y como la mayoría de impresoras en kit tiene muchas actualizaciones para que la impresora obtenga un rendimiento mejorado.

VENTAJAS:

- Diseño Core xy muy barato.
- Muchas actualizaciones disponibles, para mejorar el rendimiento.
- Excelente calidad de impresión.
- Excelente velocidad de impresión.



Figura 12: Modelo Tronxy x5

Fuente: <https://elmundo3d.com/tronxy-x5/>

1.3.15. SECUENCIA DE IMPRESIÓN EN 3D.

El principio básico de impresión 3D es que un modelo inicialmente creado digitalmente mediante software de CAD (Computer Aided Design) pueda ser fabricado directamente sin la necesidad de un proceso de planeación, lo anterior a través de una extracción de coordenadas del modelo tridimensional para ser usadas en robots que fabrican automáticamente el modelo, esta fabricación se da mediante la adición de material en capas en el plano horizontal, esta consecutiva adición en capas da como resultado la construcción final del producto impreso. El proceso impresión 3D acompaña los movimientos que se explican a continuación:

1. CAD
2. Conversión a STL
3. Transporte del archivo a la máquina
4. Construcción
5. Remoción

6. Post-procesado

7. Aplicación

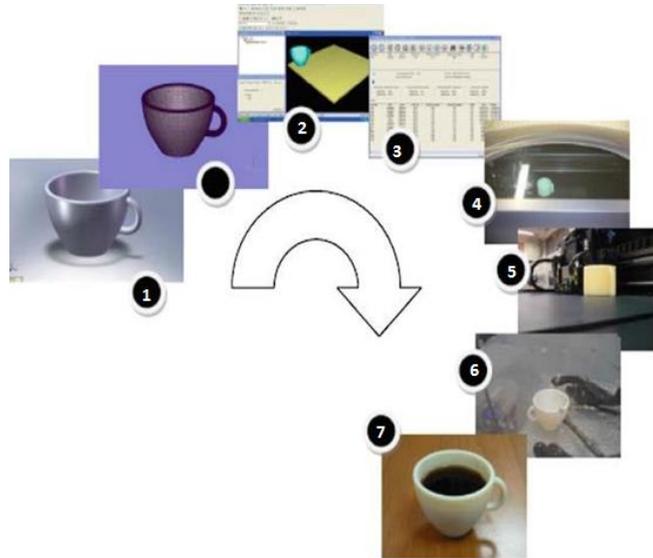


Figura 13: Secuencia de impresión 3D

Fuente: <https://web.mit.edu>

CAD. Se crea un modelo digital tridimensional de la estructura que se desea fabricar en un programa de diseño asistido por computadora.

Conversión a STL. El modelo generado debe convertirse a un formato STL el cual no contiene información acerca del color, texturas o propiedades físicas del objeto, solamente contiene información sobre su geometría.

Transporte del archivo STL a la máquina. El archivo anteriormente creado es importado a la máquina de manufactura aditiva la cual crea una serie de coordenadas espaciales del modelo, las rutas de impresión.

Construcción. La máquina de manufactura flexible realiza el proceso de manufactura de manera automática, existen tres principales procesos de construcción que se describirán más adelante.

Remoción. La estructura impresa terminada debe retirarse de la máquina de manufactura aditiva, para esto existen una serie condiciones que se deben considerar dependiendo del proceso de construcción, por ejemplo, asegurarse que la temperatura en el área de impresión de la máquina no sea alta al retirar la pieza.

Post-procesado. Dependiendo del uso que se le desee dar a la recién creada pieza, es posible que se requiera una etapa de post-procesado para dar alguna terminación a la pieza como puede ser pulido o remoción de material extra.

Aplicación. El último paso es la utilización, en la cual las actuales técnicas de manufactura aditiva están pasando de las aplicaciones de prototipos demostrativos a la de productos terminados.

1.3.16. PROCESOS DE INGENIERÍA

Es la invocación de unir conceptos con la meta de hallar la solución de un problema tecnológico, para lo cual se usará: estudios, recursos y productos existentes reales, para detallar una necesidad o resolver un problema. El proyecto está concebido en dos grandes ramas las cuales son: proyecto de artículos y proyecto de sistemas o procesos. A medida que se desarrolle el diseño de un producto o proceso, el equipo de diseño aplicara principios de ingeniería tomando las bases existentes de proyectos fabricados como información, materiales, necesidad del cliente.

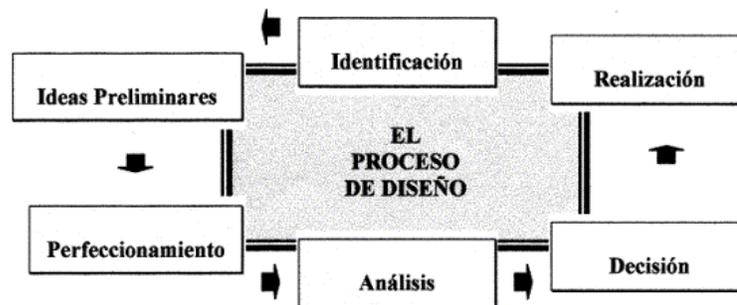


Figura 14: Fases del proceso de diseño de ingeniería

Fuente: Ingeniería y procesos (2014)

1.3.17. DISEÑO DE IMPRESORA 3D.

a) Diseño mecánico.

La estructura mecánica está basada en la Impresora Tronxy x5. El eje x sirve como orientación de la pieza a fabricar, el eje Y mueve la extrusora derecha/izquierda y el eje Z mueve la cama de impresión. Las ecuaciones presentadas a continuación son usadas en el cálculo del diseño con el objetivo de proporcionar una visión detallada de los cálculos mecánicos a los que está sometida la estructura.

La aceleración lineal (movimientos de los ejes) se puede calcular con:

$$\mathbf{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1)$$

Donde:

a : aceleración lineal (m/s^2)

Δv : Variación de velocidad lineal (m/s)

Δt : Variación de tiempo (s)

Por lo tanto, la velocidad angular del motor que requiere y la aceleración angular (α), puede ser calculado como:

$$\omega = \frac{v}{L} \times 2\pi \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{a}{L} \times 2\pi \quad (3)$$

Donde:

ω : Velocidad angular (Rad/s)

α : Aceleración angular (Rad/s²)

v: Velocidad lineal (m/s)

L: Longitud (mm)

a: aceleración lineal (m/s²)

Entonces la velocidad angular se puede convertir de radian por segundo a revolución por minuto (rpm) con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{60\omega}{2\pi} \quad (4)$$

Donde:

N : Velocidad rotacional (r.p.m)

ω : Velocidad angular (Rad/s)

El ángulo de paso requerido que ofrece una resolución de 0,03 mm de paso puede calcularse utilizando:

$$\theta = \frac{360 \times \text{resolucion}}{L} \quad (5)$$

Donde:

θ : Angulo de paso (grados)

L : Longitud (mm)

La inercia del tornillo u otros componentes que dan movimiento de rotación, es:

$$I_{\text{tornillo}} = \frac{1}{2} \pi \rho L_t r^4 \quad (6)$$

Donde:

I_{tornillo} : Inercia de tornillo

ρ : Densidad (kg/m³)

L_t : Longitud total de tornillo de avance (mm)

r : Radio del eje de tornillo de avance (mm)

La inercia de los componentes que tienen movimiento lineal como el motor, se puede calcular con la ecuación:

$$I_{\text{carga}} = \frac{m_{\text{carga}}}{\eta} \times \left(\frac{L}{2\pi}\right)^2 \quad (7)$$

Donde:

I_{carga} : Inercia de carga

m_{carga} : Masa de la carga (gr)

η : Eficiencia del mecanismo (adim)

L : Longitud (mm)

La inercia de toda la estructura incluye la inercia del motor además de los mencionados. En el cálculo de fuerza, fuerza de fricción, fuerza de gravedad, la fuerza externa y la fuerza de precarga son cero:

$$F_{total} = F_{ext} + F_{fr} + F_g + F_p$$

$$F_{total} = 0 + \mu g m_{carga} \cos \gamma + g m_{carga} \sin \gamma + 0 \quad (8)$$

Donde:

F_{total} : Fuerza total (neta) (N)

F_{ext} : Fuerza externa (N)

F_{fr} : Fuerza fricción (N)

F_g : Fuerza gravedad (N)

F_p : Fuerza de precarga (N)

μ : Coeficiente de fricción (adim)

g : Gravedad (m/s^2)

m_{carga} : Masa de la carga (gr)

γ : Angulo de inclinación (grados)

Donde γ es **0 o 90 grados** dependiendo del movimiento del eje. Cálculos de par:

$$T_L = \frac{(F_{fr} + F_g + F_p)}{\eta} \left(\frac{L}{2\pi} \right) \quad (9)$$

$$T_a = \alpha \Sigma I \quad (10)$$

Donde:

T_L : Par de carga del motor (N.m)

F_{fr} : Fuerza fricción (N)

F_g : Fuerza gravedad (N)

F_p : Fuerza de precarga (N)

η : Eficiencia del mecanismo (adim)

L : Longitud (mm)

α : Aceleración angular (Rad/s^2)

I : Inercia (Kg)

Σ : Sistema total de inercia (Kg/m^2)

Entonces, el par máximo incorporando la seguridad requerida para cada motor es:

$$T_{motor} = 2(T_a + T_L) \quad (11)$$

1.3.18. DISEÑO DE EXTRUSOR

En general, los materiales poliméricos termoplásticos posibilitan una serie de procesos de moldeo, mecanizado y acabado. Este proyecto se desarrollará en base a la extrusión del plástico. Este proceso es continuo, ya que son alimentados desde una tolva a un tornillo de transporte que funde, mezcla y fuerza el material a través de un orificio para luego moldear la forma deseada (Maldonado, 2012)

a) COMPONENTES PRINCIPALES DE UN EXTRUSOR

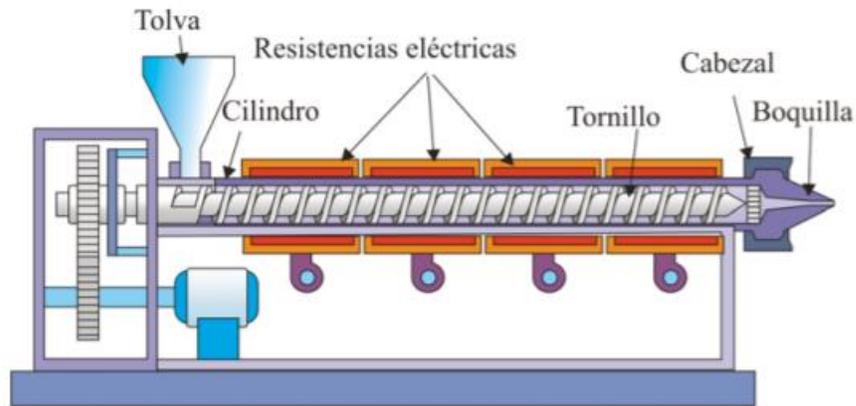


Figura 15: Representación esquemática de una extrusora de husillo sencillo

Fuente: M. Beltrán y A. Marcilla (2012)

- 1. TORNILLO DE EXTRUSIÓN:** Es un cilindro largo rodeado por un filete helicoidal, es muy importante ya que transporta, calienta, funde y mezcla el material. Una buena calidad del producto y estabilidad del proceso depende del diseño del tornillo, entre sus parámetros de suma importancia es su longitud (L), diámetro (D), ángulo del filete (θ) y el paso de rosca (w).

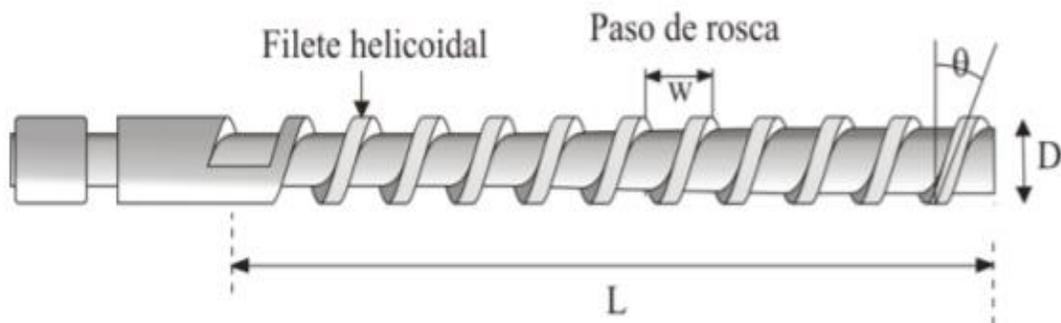


Figura 16: Tornillo de extrusión

Fuente: M. Beltrán y A. Marcilla (2012)

Además, presenta tres zonas que se pueden apreciar en la imagen:

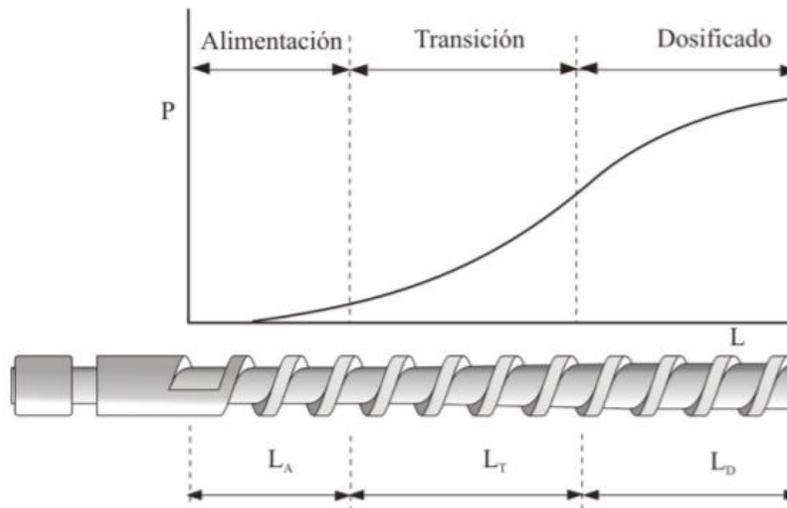


Figura 17: Zonas de una extrusora y evolución de la presión a lo largo de las mismas

Fuente: M. Beltrán y A. Marcilla (2012)

- I. **ZONA DE ALIMENTACIÓN:** Es la cercana a la tolva, en la cual alcanza una profundidad máxima en el canal del tornillo. Es donde se compacta el alimento en una forma sólida densa y es transportado a una velocidad adecuada hacia la siguiente zona.
- II. **ZONA DE TRANSICIÓN:** Es donde la profundidad del canal disminuye gradualmente. Conforme el material se va compactando el aire que pudiera haber escapado hacia la tolva de alimentación. Además, es una zona donde se realiza la fusión del material.
- III. **ZONA DE DOSIFICADO:** Se sitúa al final, cerca de la boquilla y su profundidad de canal es pequeña y constante. En esta zona el material fundido es homogeneizado y presurizado para ser presionado hacia la boquilla de conformado.

Existen otros tipos de extrusoras como las que son multitornillo (poseen más de un tornillo), dentro de éstas son las de dos tornillos, las cuales presentan giro contrario o paralelo, y del grado de interpenetración entre los mismos. Presentan las ventajas de tener una buena capacidad de

mezclado y desgasificación, y un buen control del tiempo de residencia y de su distribución. Su principal desventaja es su precio, es superior al de tornillo único.

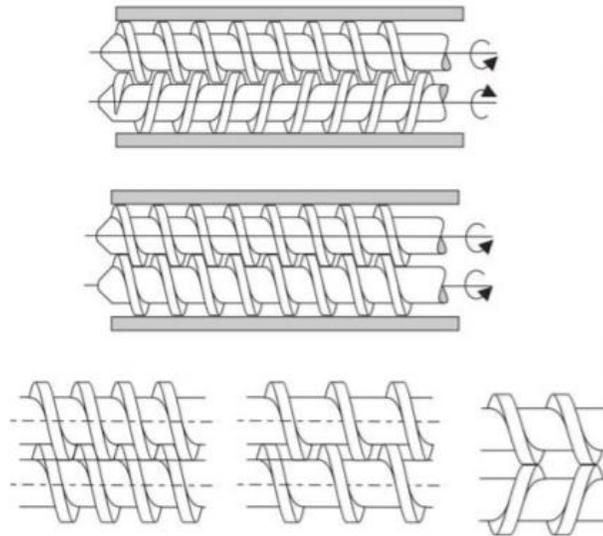


Figura 18: Disposición posible de los husillos en las extrusoras de doble husillo.

Fuente: M. Beltrán y A. Marcilla (2012)

- 2. CILINDRO:** El cilindro de calefacción es el que alberga en su interior al tornillo, su superficie debe ser muy rugosa para que las fuerzas de la cizalla aumenten soportando el material y permitiendo que éste fluya por el extrusor. Su material de construcción suele ser de acero para evitar la corrosión y desgaste mecánico, en algunos casos se fabrica con revestido bimetálico para elevar su resistencia.

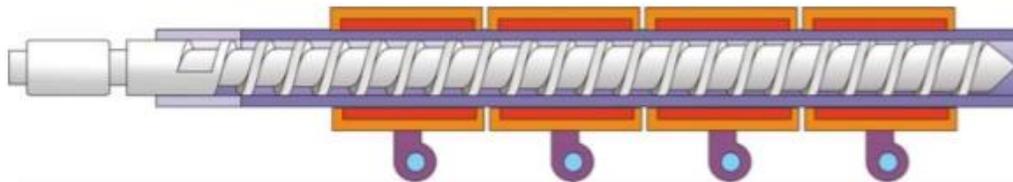


Figura 19: Sistema cilindro de calefacción – tornillos.

Fuente: M. Beltrán y A. Marcilla (2012)

El cilindro por lo general presenta sistemas de transferencia de calor, el calentamiento se puede realizar a través de resistencias eléctricas circulares ubicadas a lo largo como se muestra en la figura.

3. **TOLVA:** Es el contenedor con forma piramidal o cono invertido por el cual se alimenta gradualmente con el material a la máquina.

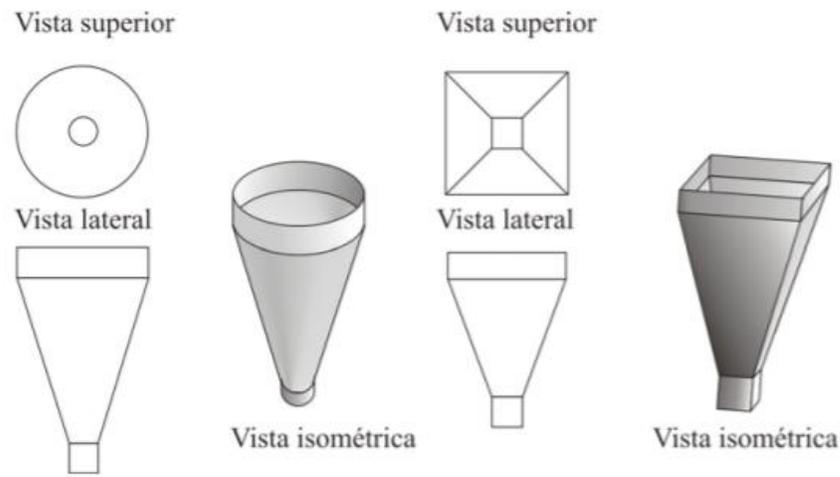


Figura 20: Tipos de tolva
Fuente: M. Beltrán y A. Marcilla (2012)

En ocasiones, para asegurar el flujo constante del material se agregan dispositivos de vibración, agitadores e incluso tornillos.

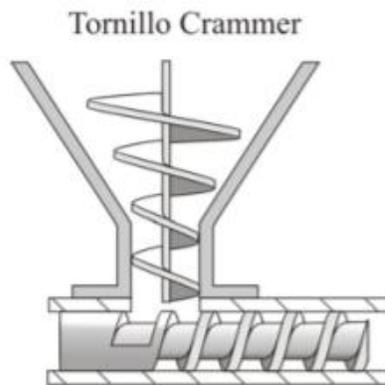


Figura 21: Ejemplo de un tornillo de alimentación.
Fuente: M. Beltrán y A. Marcilla (2012)

4. **CABEZAL:** Es la pieza ubicada al final del cilindro, que se encuentra sujetando la boquilla. Su perfil interno debe facilitar el flujo del material hacia la boquilla. En la figura el material fluye del cilindro a la boquilla a través del torpedo.

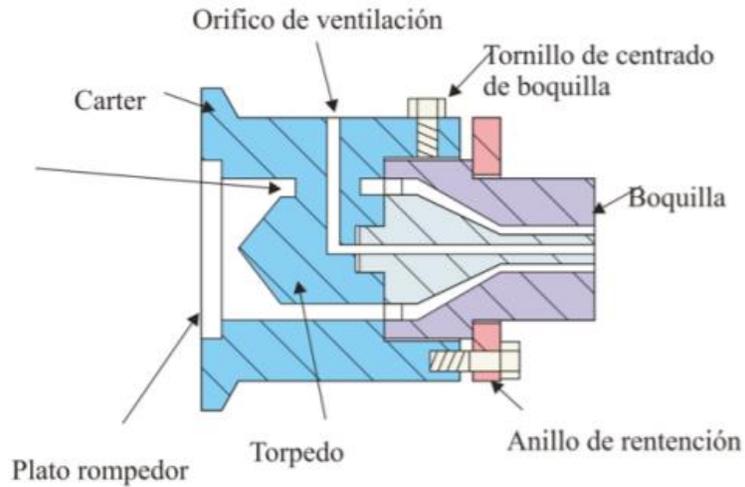


Figura 22: Boquilla anular y cabezal.
Fuente: M. Beltrán y A. Marcilla (2012)

5. **BOQUILLA:** Tiene como función principal moldear el plástico. Se pueden clasificar en boquillas anulares, planas, circulares, etc. Se puede apreciar tres partes en todas las boquillas, canal de entrada, distribuidor y zona de salida.



Figura 23: Boquilla de extrusor
Fuente: <https://www.mastoner.com>

1.3.19. DISEÑO DEL MECANISMO EXTRUSOR:

El mecanismo extrusor tiene como objetivo principal depositar el material fundido capa por capa a través de instrucciones dadas por el controlador. Para llevar a cabo dicha tarea, los elementos a mencionar tienen que ser diseñados o seleccionados.

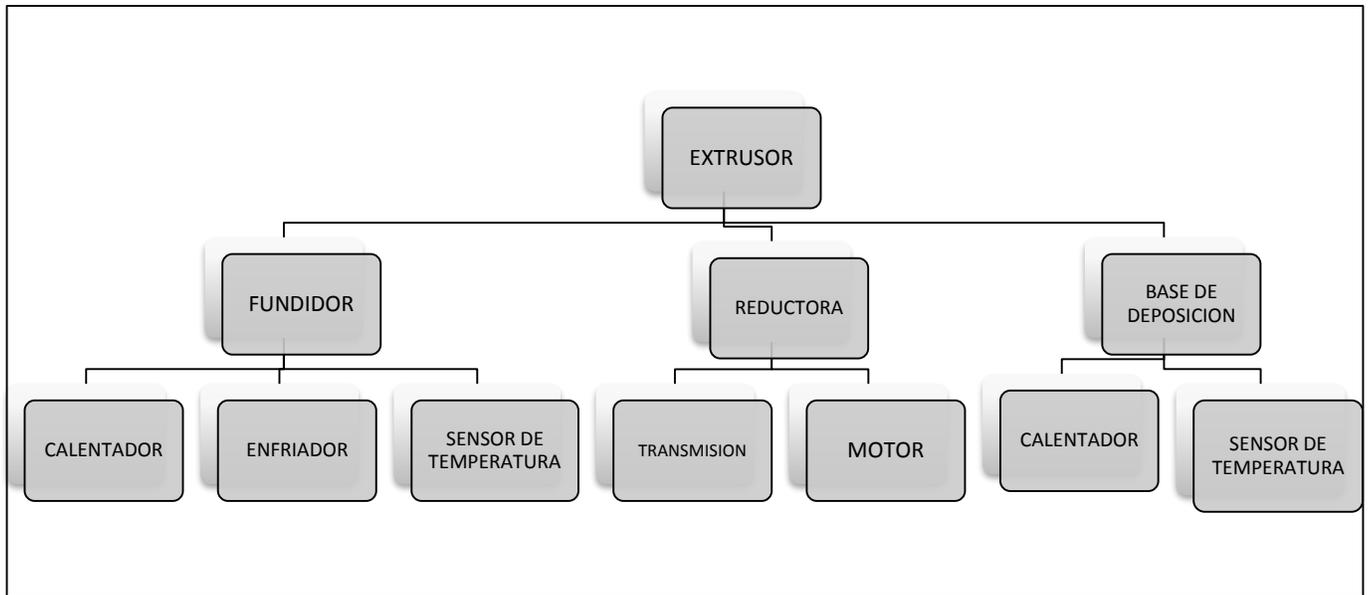


Figura 24: Componentes del mecanismo extrusor

Fuente: Maldonado (2102)

1. **FUNDIDOR:** Es el que tiene como objetivo fundir el material termoplástico para que sea depositado a través de una boquilla extrusora. Su diseño es crítico, ya que de eso dependerá la fuerza que ejerza en las ruedas motrices y afectará de manera directa a la calidad de impresión que es función de las velocidades y temperaturas del sistema, además intervienen el diámetro de la boquilla y el tipo de control que tiene el fundidor.

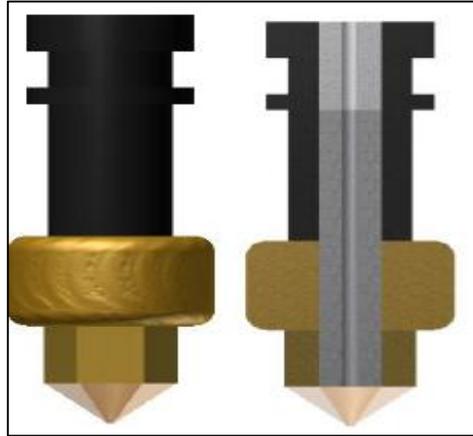


Figura 25: Componentes del mecanismo extrusor
Fuente: Maldonado (2012)

En el mercado internacional comercialmente, se pueden encontrar las siguientes boquillas de 0.6 mm, 0.5 mm, 0.4 mm, 0.35 mm, 0.3 mm y 0.25 mm. Las boquillas de 0.25 [mm] y 0.3 [mm] se utilizan para la impresión de objetos muy pequeños porque permiten un mejor acabado, a diferencia de las boquillas de 0.5 [mm] y 0.6 [mm] que no son muy comunes y no permiten tener una buena resolución en piezas con geometrías difíciles. Las boquillas de 0.3 y 0.35 milímetros son las más utilizadas en la actualidad. La punta seleccionada para la boquilla es de 0.4 milímetros y es de acero inoxidable. En su interior posee un tornillo sin fin de acero inoxidable de 2 milímetros de diámetro por donde ingresa el material PLA o ABS de 1.75 milímetros en forma de alambre sólido y donde se debe fundir para depositarlo a través de la boquilla en la base de impresión (Maldonado, 2012).

2. DINAMICA DEL FUNDIDOR

El cálculo de caídas de presión del fundidor determina la potencia que necesita las ruedas motrices de la extrusora, para que la fuerza de compresión que se aplica al filamento sobrepase la presión que actúa en el fundidor y esta depende de la viscosidad del material de fundición y de la geometría de la fundidora. La viscosidad disminuye cuando aumenta el esfuerzo cortante.

Debido a que el material fundido se queda adherido a las paredes del fundidor, el flujo está sometido a un esfuerzo cortante. El fundidor consta de las siguientes partes:

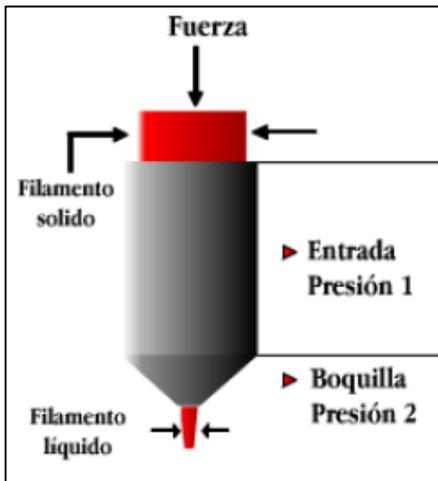


Figura 26: Partes del elemento fundidor
Fuente: Maldonado (2012)

La caída de presión total se calculará sumando la caída de presión en la entrada ΔP_e más la caída de presión en la boquilla ΔP_b :

$$\Delta P_T = \Delta P_e + \Delta P_b \quad \dots \quad (13)$$

Donde:

ΔP_T : Caída de presión total (Pa)

ΔP_e : Caída de presión en la entrada (Pa)

ΔP_b : Caída de presión en la boquilla (Pa)

3. MODELO MATEMATICO DEL FUNDIDOR

Las bases computacionales que corresponden a los procesos de flujos son las leyes de conservación de masa, momento y energía. Para modelar el flujo de PLA o ABS que fluye a través de un canal se sigue el proceso realizado por Micheli donde se considera que:

- El flujo es estacionario. No hay cambio transitorio en el flujo.
- El flujo de movimiento es lento y fluye constante independientemente del tiempo.
- Las fuerzas de inercia se pueden despreciar al ser comparadas con las fuerzas de fricción.
- El flujo es isotérmico.
- El flujo hidrodinámico está completamente desarrollado, esto quiere decir que presenta una velocidad constante a lo largo de la longitud del conducto.
- El fluido es incompresible, su densidad es constante y permanece así a lo largo del canal.
- No existen fuerzas externas. La fuerza de gravedad se desprecia.
- En las paredes del canal, el flujo es igual a cero, no existe deslizamiento, por lo cual no se tomará esta condición de frontera.
- Se lo tratará como un fluido newtoniano, esto quiere decir que presenta viscosidad constante.
- Es un flujo laminar.

4. CAÍDAS DE PRESIÓN EN EL FUNDIDOR

La caída de presión de una sección cilíndrica se obtiene así:

$$\Delta P_e = 2L_1 \left(\frac{V}{\phi}\right)^{\frac{1}{m}} \left(\frac{m+3}{r_1^{m+1}}\right)^{\frac{1}{m}} \dots (14)$$

Donde:

ΔP_e : Caída de presión en la entrada (Pa)

L_1 : Longitud del fundidor (mm)

r_1 : Radio del fundidor (mm)

V : Velocidad del filamento (m/s)

m : Flujo de material (Gr/s)

ϕ : Fluidez del material

Debido a que el material ingresa en estado sólido, el valor de la velocidad del filamento se considera constante y uniforme a lo largo de la sección.

Para el área cónica de la boquilla se tiene:

$$\Delta P_b = \frac{2m2L_2}{3(d_1-d_2)} \left(\frac{1}{r_2^m} - \frac{1}{r_1^m} \right) \left(\frac{V}{\emptyset} \right)^{\frac{1}{m}} [r_1^2 * (2^{m+3}) * (m + 3)]^{\frac{1}{m}} \quad \dots (15)$$

Donde:

ΔP_b : Caída de presión en la boquilla (N)

d_1 : Diámetro del fundidor (mm)

d_2 : Diámetro de la boquilla (mm)

L_2 : Longitud de la boquilla (mm)

r_2 : Radio de la boquilla (mm)

r_1 : Radio del fundidor (mm)

V : Velocidad del filamento (m/s)

m : Flujo de material (Kg/s)

\emptyset : Fluidez del material

En las ecuaciones, el fluido ha sido considerado como isotérmico a una temperatura T igual a la temperatura de deposición. Con el ingreso de un nuevo material al sistema, la velocidad promedio del fluido aumenta y la temperatura promedio disminuye. Para equilibrar estas nuevas condiciones de estado estacionario, la tasa de flujo calorífico debe ser incrementada (Maldonado, 2012)

La acción de adelgazamiento por corte de los fluidos se refiere al incremento de la tasa cortante con la disminución de la viscosidad o viceversa, la cual es una propiedad común de los polímeros. Para describir esta acción, la ley de potencia de los fluidos de la tasa cortante depende de la viscosidad y se puede expresar en combinación con la relación de Arrhenius modificada la cual indica la relación entre la temperatura y la viscosidad. Entonces se tiene la ecuación siguiente:

$$\mu(\dot{\gamma}, T) = K * \dot{\gamma}^{n-1} * H(T) = \mu(\dot{\gamma}) * H(T) \dots (16)$$

Donde:

$\dot{\gamma}$: Tasa cortante o gradiente de velocidad perpendicular al plano de corte

K : Índice de consistencia del material

$H(T)$: Modificación de la relación de Arrhenius (depende de la T para polímeros)

La relación de Arrhenius se expresa como:

$$H(T) = \exp[\alpha(\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_\alpha})] \dots (17)$$

Donde:

α : Energía de activación (j/mol)

T_α : Temperatura de fundición (°)

T_e : Temperatura a la entrada del fundidor (°)

La viscosidad en el modelo se consideró constante. Ahora con la relación de Arrhenius de la temperatura dependiente de la viscosidad, la ecuación para las caídas de presión se transforma en:

$$\Delta P_e = 2L_1 \left(\frac{V}{\emptyset}\right)^{\frac{1}{m}} \left(\frac{m+3}{r_1^{m+1}}\right)^{\frac{1}{m}} * e^{[\alpha(\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_\alpha})]} \quad \dots (18)$$

$$\Delta P_b = \frac{2m2L_2}{3(d_1-d_2)} \left(\frac{1}{\frac{3}{r_2^m}} - \frac{1}{\frac{3}{r_1^m}}\right) \left(\frac{V}{\emptyset}\right)^{\frac{1}{m}} [r_1^2 * (2^{m+3}) * (m+3)]^{\frac{1}{m}} * e^{[\alpha(\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_\alpha})]} \quad \dots (19)$$

Donde:

ΔP_e : Caída de presión en la entrada (N)

L_1 : Longitud del fundidor (mm)

r_1 : Radio del fundidor (mm)

V : Velocidad del filamento (m/s)

m : Flujo de material (Kg/s)

\emptyset : Fluidez del material

ΔP_b : Caída de presión en la boquilla (N)

d_1 : Diámetro del fundidor (mm)

d_2 : Diámetro de la boquilla (mm)

L_2 : Longitud de la boquilla (mm)

r_2 : Radio de la boquilla (mm)

r_1 : Radio del fundidor (mm)

V : Velocidad del filamento (m/s)

m : Flujo de material (Kg/s)

\emptyset : Fluidez del material

Fuerza necesaria en la entrada del fundidor:

$$F = \Delta P_T * A \quad \dots (20)$$

Torque necesario de motores:

$$T = F * r_{en} \quad \dots (21)$$

Velocidad de entrada con factor de servicio:

$$V = V_e * F_s \quad \dots (22)$$

Velocidad angular máxima a la que se puede extruir el material:

$$W_e = \frac{V_e}{r_r} \quad \dots (23)$$

Obtenemos revoluciones por minuto con la siguiente ecuación

$$\eta = \frac{W_e * 60}{2 * \pi} \quad \dots (24)$$

Se multiplica el número de revoluciones por minuto por el factor de servicio (Fs. = 3.509)

$$W_m = W_e * F_s \quad \dots (25)$$

Potencia requerida

$$P = T * w_m \quad \dots (26)$$

Costo de Fabricación

$$C_{ee} = C_{unit} * (\Delta P_e + \Delta P_b) * (\pi * (R_1^2)) * (R_{engr}) * \left(\frac{V_e}{R_{engr}}\right) * t \quad \dots (27)$$

1.3.20. LÁSER:

El corte por láser es una técnica de fabricación digital que consiste en cortar o grabar un material mediante láser. Puede utilizarse en diversos materiales como plástico, madera, cartón, etc. El proceso consiste en cortar o marcar el material con un láser potente y de alta precisión que se centra en un área pequeña del material. La zona afectada por el calor del láser es alrededor de 0.5mm, las piezas grabadas presentan una deformación mínima. El diseño que se desea es ordenado a través de una interfaz entre usuario y computadora trazando el camino de corte.



Figura 27: Láser para corte y grabado
Fuente: <https://electronicsecuador.com/>

1.3.21. SOFTWARES DE APLICACIÓN

1. ARDUINO

Es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual se basa en hardware y software libre, flexible y de fácil uso para los que desarrollan y crean. Además, permite crear diversos tipos de microordenadores de una sola placa a los que los creadores pueden darle diferentes tipos de uso.

En primer lugar, se debe entender que el hardware libre son los dispositivos que presentan especificaciones y diagramas de acceso público de manera que cualquier creador puede replicarlos, esto quiere decir que Arduino propone bases para que cualquier persona pueda crear sus propias placas pudiendo ser distintas pero igualmente funcional al partir de la misma base; luego se debe saber que el software libre son los programas informáticos cuyo código es accesible por cualquier creador para que quien quiera pueda usarlo y editarlo, es por ello que Arduino ofrece la plataforma Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), que es un entorno de programación para la creación de aplicaciones en las placas Arduino, para todo tipo de uso.

En suma, Arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMEL que posee una interfaz de entrada y salida, el cual son circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones a través de un lenguaje de programación que puedes utilizar en el entorno Arduino IDE.

CARACTERISTICAS

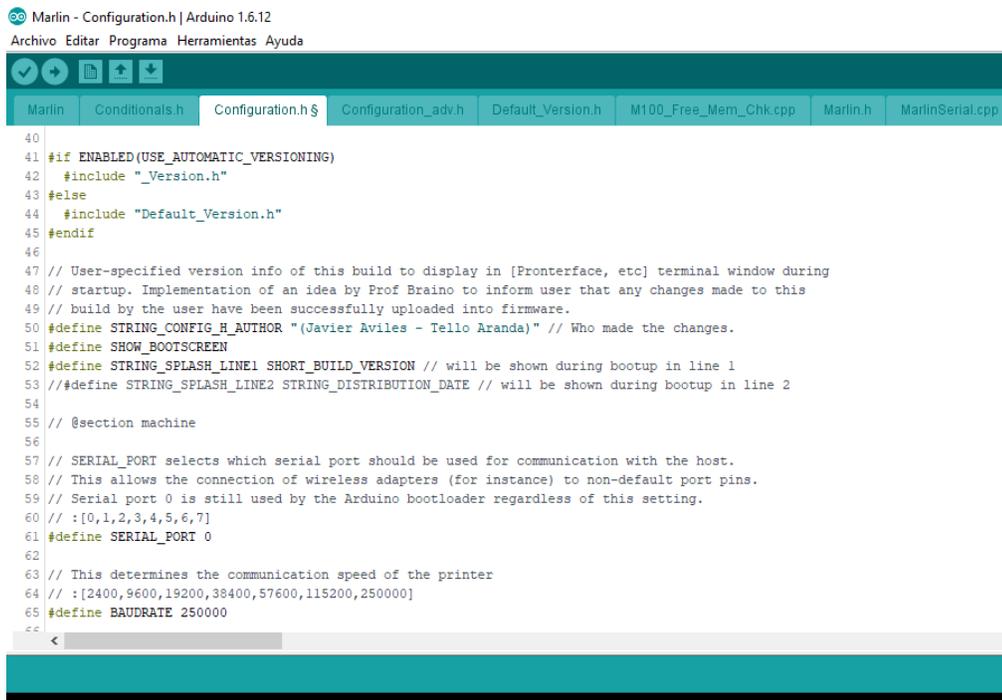
- Fácil uso para principiantes y flexiblemente para usuarios avanzados.
- Se ejecuta en Mac, Windows y Linux.
- Simplifica el proceso de trabajar con microcontroladores.
- Uso para la creación de aplicaciones en las placas Arduino.

INTERFAZ GRÁFICA DEL USUARIO (GUI)

En el entorno del proceso de interacción persona-computadora, la interfaz gráfica de usuario es el mecanismo tecnológico de un sistema interactivo que posibilita, a través del uso y la exhibición del lenguaje visual, una interacción accesible con un sistema informático.

ENTORNO DE PROGRAMACIÓN EN ARDUINO

Las aplicaciones de ARDUINO como se muestra en la figura N° 28, es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación, que consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Además, Arduino, incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del hardware a través del puerto serie.



The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "Marlin - Configuration.h | Arduino 1.6.12". The menu bar includes "Archivo", "Editar", "Programa", "Herramientas", and "Ayuda". The toolbar contains icons for file operations and execution. The tab bar shows several files: "Marlin", "Conditionals.h", "Configuration.h\$", "Configuration_adv.h", "Default_Version.h", "M100_Free_Mem_Chk.cpp", "Marlin.h", and "MarlinSerial.cpp". The main editor window displays C++ code for Configuration.h, starting with line 40. The code includes conditional compilation for automatic versioning, defines for author information, boot screen, and serial port settings. The serial port is defined as 0, and the baud rate is defined as 250000.

```
40
41 #if ENABLED(USE_AUTOMATIC_VERSIONING)
42   #include "_Version.h"
43 #else
44   #include "Default_Version.h"
45 #endif
46
47 // User-specified version info of this build to display in [Pronterface, etc] terminal window during
48 // startup. Implementation of an idea by Prof Braino to inform user that any changes made to this
49 // build by the user have been successfully uploaded into firmware.
50 #define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(Javier Aviles - Tello Aranda)" // Who made the changes.
51 #define SHOW_BOOTSCREEN
52 #define STRING_SPLASH_LINE1 SHORT_BUILD_VERSION // will be shown during bootup in line 1
53 //#define STRING_SPLASH_LINE2 STRING_DISTRIBUTION_DATE // will be shown during bootup in line 2
54
55 // @section machine
56
57 // SERIAL_PORT selects which serial port should be used for communication with the host.
58 // This allows the connection of wireless adapters (for instance) to non-default port pins.
59 // Serial port 0 is still used by the Arduino bootloader regardless of this setting.
60 // :[0,1,2,3,4,5,6,7]
61 #define SERIAL_PORT 0
62
63 // This determines the communication speed of the printer
64 // :[2400,9600,19200,38400,57600,115200,250000]
65 #define BAUDRATE 250000
66
```

Figura 28: Entorno de programación ARDUINO
Fuente: Arduino 1.8.5

2. REPETIER HOST

Es un software de análisis y configuración de archivos para impresión 3D que nos permite generar un archivo. gcode que nuestra impresora pueda interpretar modelos 3D en formato. stl. Además, nos permite importar objetos, configurarlos a nuestro gusto en la plataforma de impresión, esto se realiza gracias a la integración de Slic3r.

CARACTERISTICAS

- Controla y calibra una impresora 3D
- Transmite datos de un archivo gcode para su fabricación, a través de una conexión USB línea a línea o almacenado en tarjeta microSD.
- Es ampliamente utilizado a nivel mundial, se desarrolla de manera libre y gratuita.
- Ofrece opciones para el control manual de la impresora 3D.
- A través de la plataforma se puede observar el gcode durante el proceso de impresión 3D.
- Se puede incorporar “slicing” a través de un subprograma Slic3r o Skeinforge integrados en la suite.

ENTORNO DE PROGRAMACIÓN EN REPETIER HOST

La aplicación del repetier host se basa en integrar varios laminadores como slic3r, cura y skeinforce, estos subprogramas se encargan de seccionar las piezas con la altura de capa, rellenos, perímetros, etc, para fabricar el gcode con las coordenadas, velocidades y cantidad de plásticos a extruir.

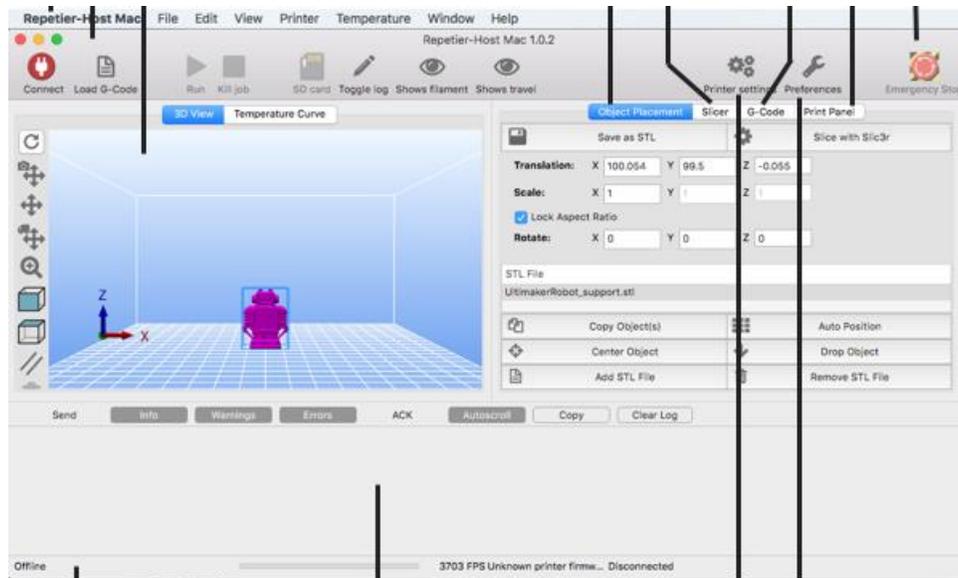


Figura 29: Entorno de programación REPETIER HOST
Fuente: REPETIER HOST

INTERFAZ GRÁFICA DEL USUARIO (GUI)

En el entorno del proceso de interacción persona-computadora, la interfaz gráfica de usuario es el mecanismo tecnológico de un sistema interactivo que posibilita, a través del uso y la exhibición del lenguaje visual, una interacción accesible con un sistema informático.

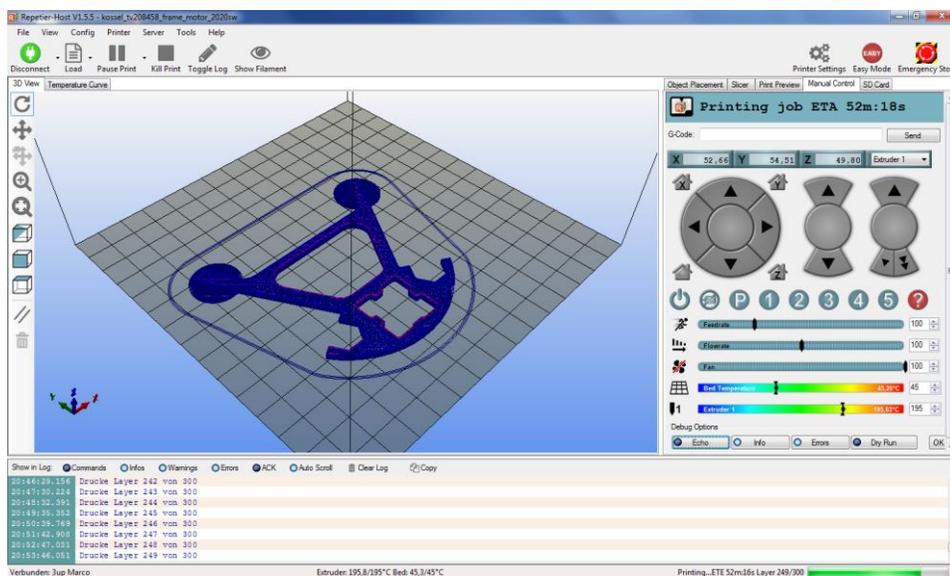


Figura 30: Ejemplo de importación de un diseño
Fuente: REPETIER HOST

3. ANSYS

Ansyes es un ecosistema de programas CAE para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos FEA, incluye las fases de preparación de meshing ó malleo , ejecución y post proceso, el programa ejecuta análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería y diseño mecánico , puede resolver problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas.

CARACTERISTICAS

Análisis estático Estructural (lineal y no lineal)

- Pandeo
- Anisotropía
- Contactos y superficies de contacto no lineales
- No linealidades geométricas
- Materiales no lineales: Plasticidad con endurecimiento, Visco elasticidad

Análisis dinámico

- Análisis Modal: Simetría axial, sim. cíclica
- Análisis Sísmico: Espectral, PSD, Acelerogramas
- Análisis Armónicos: Bancadas, cargas armónicas
- Análisis transitorios lineales o no lineales: Explosiones, Impactos, choques, impulsos.

INTERFAZ GRÁFICA DEL USUARIO (GUI)

En el entorno del proceso de interacción persona-computadora, la interfaz gráfica de usuario es el mecanismo tecnológico de un sistema interactivo que posibilita, a través del uso y la exhibición del lenguaje visual, una interacción accesible con un sistema informático.

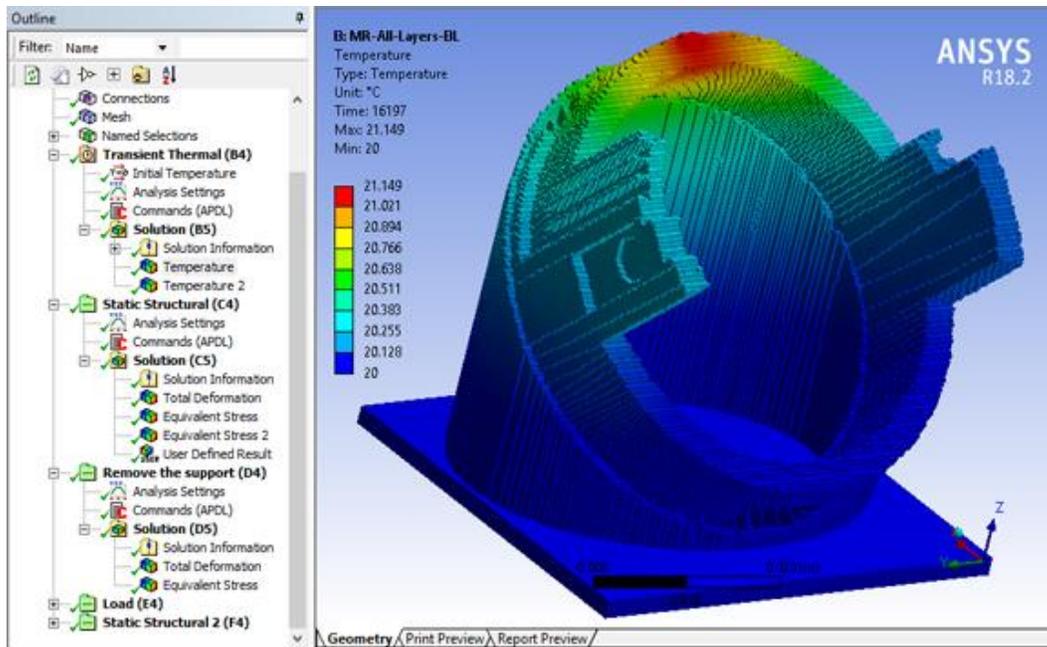


Figura 31: Ejemplo de simulación de un diseño
Fuente: ANSYS R18.2

4. MATLAB

La plataforma de MATLAB esta optimizada para solucionar problemas de ingeniería y científicos. Cuenta con una vasta librería de toolboxes preinstaladas le permiten acceder y trabajar inmediatamente con algoritmos esenciales para su dominio. El entorno de escritorio invita a experimentar, explorar y descubrir. Todos estos instrumentos y prestaciones de MATLAB están probadas y diseñadas rigurosamente para trabajar juntas.

CARACTERISTICAS

Posiblemente la característica más importante de MATLAB es su capacidad de crecimiento. Esto faculta convertir al usuario en un autor contribuyente, creando sus aplicaciones personales. En resumen, las prestaciones más importantes de MATLAB son:

- Escritura del programa en lenguaje matemático.
- Implementación de aritmética compleja.
- Un gran contenido de órdenes específicas, agrupadas en TOOLBOXES.
- Posibilidad de ampliar y adaptar el lenguaje, mediante ficheros de script y funciones.

INTERFAZ GRÁFICA DEL USUARIO (GUI)

En el entorno del proceso de interacción persona-computadora, la interfaz gráfica de usuario es el artilugio tecnológico de un sistema interactivo que posibilita, a través del uso y la exhibición del lenguaje visual, una interacción amigable con un sistema informático.

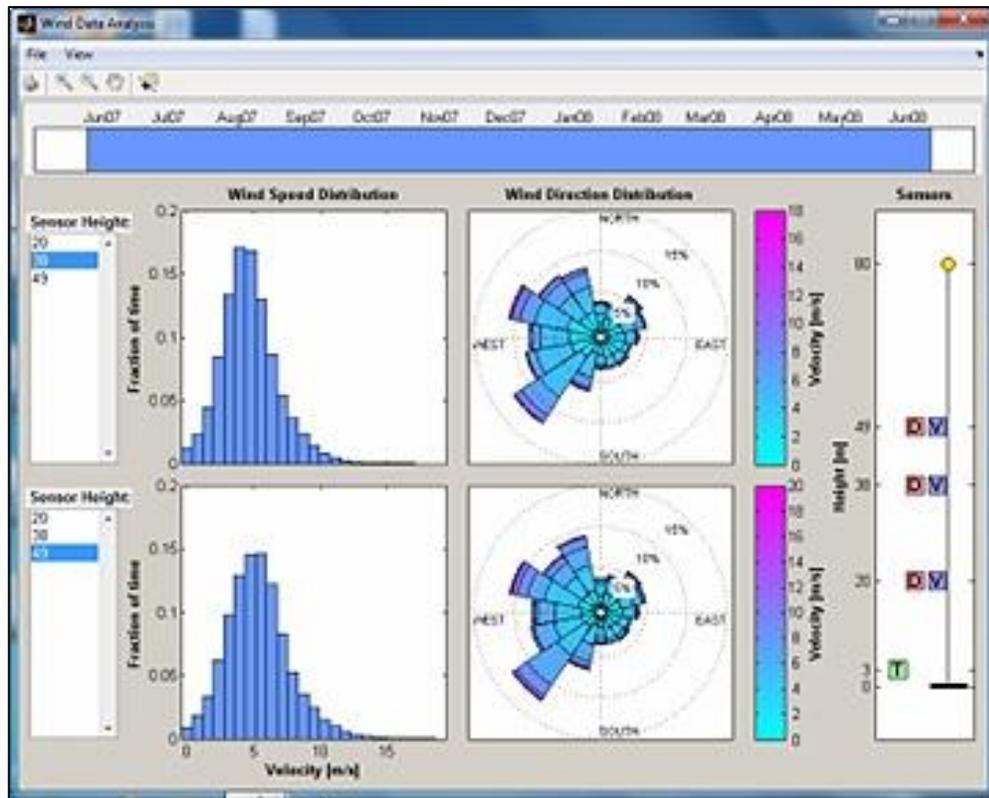


Figura 32: Simulación Matlab
Fuente: Mathworks (2012)

ENTORNO DE PROGRAMACIÓN EN MATLAB

Se extiende en un estilo propia de programación, se puede efectuar en un espacio interactivo, como un archivo script. Se pueden realizar operaciones de matrices y vectores, cálculo lambda, funciones y programación ordenada a elementos Mathworks (2012).

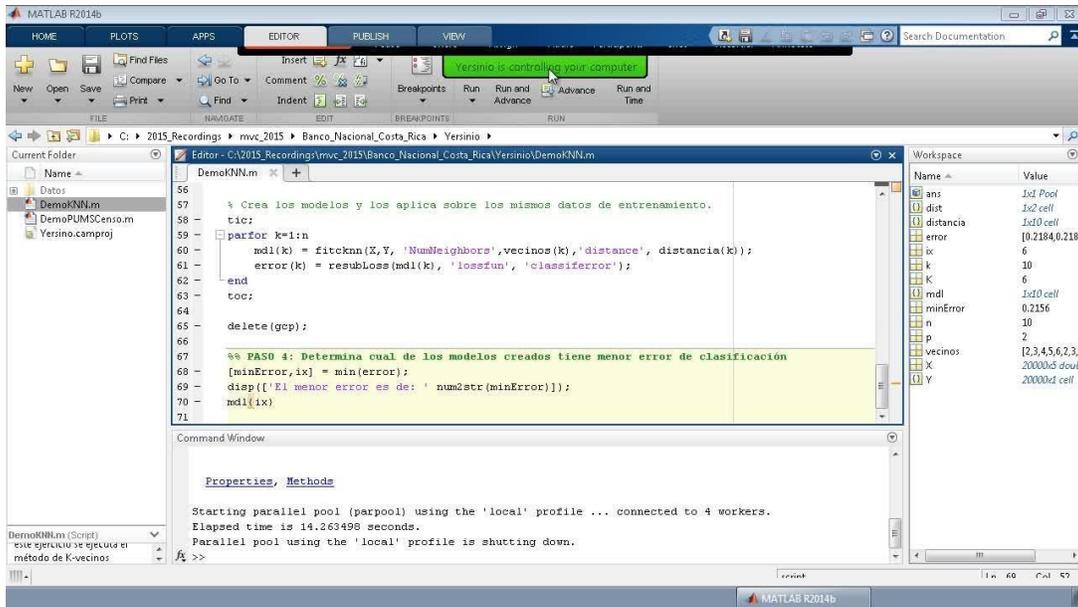


Figura 33: Programación Matlab

Fuente: Mathworks (2012)

5. INKSCAPE

Es un programa donde se puede editar gráficos vectoriales de código abierto, tiene múltiples opciones como la posibilidad de manejar formatos PNG, JPG, BMP, o TIFF, sistemas de capas; etc. Pero su objetivo principal es crear una herramienta la cual sea compatible con los formatos XML, SVG y CSS.

CARACTERÍSTICAS:

- Presenta capacidades similares a Illustrator, Freehand, CorelDraw o Xara X, que usa el estándar de la W3C: el formato de archivo SVG.

- Tiene características soportadas e incluyen: formas, textos, marcadores, trazos, mezclas de canales alfa, clones, gradientes, transformaciones, patrones y agrupamientos.
- Su objetivo principal es crear una herramienta de dibujo potente y cómoda, compatible con XML, SVG, CSS.

INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

Su prioridad es la consistencia de su interfaz y utilidad. Esto incluye las guías de interfaces humanas de gnome. La accesibilidad del teclado universal. Todas las transformaciones poseen atajos del teclado con los modificadores consistentes. Además, la interfaz proporciona mensajes flotantes que ayudan a entender la utilización de lo botones, mandos, órdenes y llaves.



Figura 34: Ejemplo de dibujo INKSCAPE
Fuente: Inkscape

1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál será la geometría y especificaciones técnicas de diseño y construcción de una impresora 3D de cabezales intercambiables con capacidad de diseñar piezas y prototipos para la empresa JJR SERVICIOS GENERALES?

1.5. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO

JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA.

Esta búsqueda es de gran impacto tecnológico debido a que la constante evolución obliga al desarrollo de habilidades para ser adaptadas a nuevas tecnologías, con la aptitud de impresión sustantivamente en la existencia de las personas, plantando acontecimientos para realizar, producir y trabajar eficientemente a través de los sistemas CAD-CAM.

JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.

Por medio del análisis de diseño se podrá encontrar las deficiencias en los puntos críticos que puedan presentar una pieza mecánica, con la finalidad de mejorar el proceso y a su vez, reducir los costos de fabricación.

JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL.

La impresión 3D debido a su gran impacto ambiental, deja una impresión tecnológica a cargo de diferentes puntos: el nivel de rendimiento, los materiales, y el periodo de vida de elementos elaborados, con ello se previene las emisiones de los gases en torno al medio ambiente.

1.6. OBJETIVO

OBJETIVO GENERAL.

Diseñar y fabricar una impresora 3D de cabezales intercambiables para realizar trabajos en tres dimensiones a través del diseño, en la empresa JJR SERVICIOS GENERALES SRL de Cajamarca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Identificar las necesidades de la empresa.
- Expresar en términos ingenieriles las necesidades de la empresa.
- Seleccionar conceptos alternativos capaces de solucionar el problema planteado.
- Seleccionar la alternativa optima mediante una matriz ponderada de selección.
- Diseñar la configuración general de las partes en la máquina.
- Realizar dimensionamiento general del equipo.
- Seleccionar el material para la estructura y los accesorios de la máquina.
- Diseñar paramétricamente y optimizar los componentes mediante la computarización.
- Diseñar el esquema de control de la máquina.
- Seleccionar los componentes estándar.
- Elaborar los planos generales, de fabricación y de montaje
- Realizar el análisis económico del proyecto.

CAPITULO II

METODO

II. MÉTODO

2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

Pre - experimental.

METODOLOGIA.

La metodología de diseño a seguir consiste de los siguientes pasos:

- **DETERMINACIÓN DE NECESIDADES DE CLIENTE**

Se realizará a través de una entrevista a los trabajadores de la empresa para identificar y satisfacer sus necesidades.

- **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA EN TÉRMINOS INGENIERILES**

Se expresará en términos ingenieriles las necesidades de la empresa, luego de recolectar los datos con el cuestionario.

- **SELECCIÓN DE CONCEPTOS ALTERNATIVOS**

Se escogerá la alternativa óptima a través de una matriz ponderada capaz de resolver el problema.

- **CONFIGURACIÓN GENERAL DE LAS PARTES DE LA MÁQUINA**

Se diseñará la configuración de las partes de la impresora 3D, para que cumpla con los requerimientos de la empresa.

- **DIMENSIONAMIENTO GENERAL DEL EQUIPO**

Se diseñará los planos respectivos para la estructura de la impresora en el software Solidworks.

- **DETERMINACIÓN DE MATERIAL DE LA ESTRUCTURA Y ACCESORIOS DE LA MÁQUINA**

Se realizará cálculos de cargas del diseño para ello escoger el material respectivo, y la selección de accesorios se ejecutará a través de una matriz ponderada y se escogerá la mejor.

- **DISEÑO PARAMÉTRICO**

Se diseñará a través del software SolidWorks y se optimizará los componentes a través de la computarización.

- **ESQUEMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA**

Se diseñará a través de una matriz el esquema de control de la máquina, especificando su funcionamiento.

- **SELECCIÓN DE COMPONENTES ESTÁNDAR**

Se realizará a través de una matriz ponderada para seleccionar las mejores opciones.

- **PLANOS GENERALES**

Se elaborará el diseño de los planos de fabricación y de montaje a través de software de ingeniería.

- **ANÁLISIS ECONÓMICO**

Se realizará el estudio a través de identificadores económicos en conjunto con el diseño de la impresora 3D.

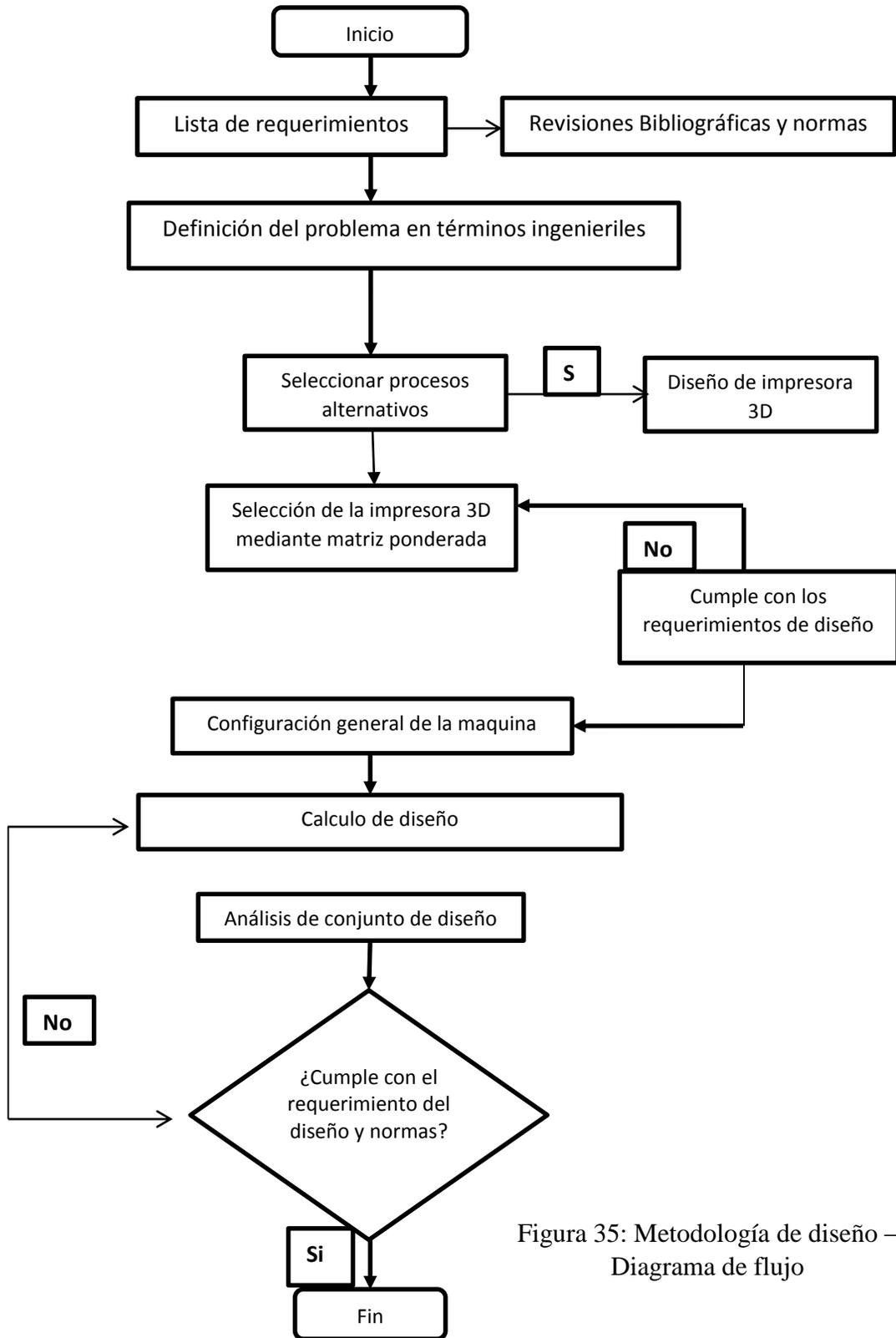


Figura 35: Metodología de diseño – Diagrama de flujo

2.2. VARIABLES DE DISEÑO.

Se propone 4 tipos de variable: Variables de Diseño, Variables de Solución, Parámetros de Definición de Problema y Variables intervinientes.

2.2.1. VARIABLES PARA EL SISTEMA DE CHASIS

PARÁMETROS DE DEFINICIÓN DE PROBLEMA

- Material del chasis. (aluminio)
- Geometría general de la máquina (mm)

VARIABLES DE DISEÑO

- Fuerzas aplicadas (N)
- Momentos aplicados (N.m)

VARIABLES DE SOLUCIÓN

- Factor de seguridad global por esfuerzo (adimensional)
- Factor de seguridad global por deflexión (adimensional)

VARIABLES INTERVINIENTES

- Temperatura del ambiente (°C)

2.2.2. VARIABLES PARA EL SISTEMA DE EXTRUSIÓN

PARÁMETROS DE DEFINICIÓN DE PROBLEMA

- Material del extrusor. (adimensional)
- Diámetro del filamento. (mm)

VARIABLES DE DISEÑO

- Velocidad de entrada del filamento, V_e (mm/s)
- Diámetro de la boquilla de salida, D_s (mm)
- Temperatura de calentador, T_c (°C)

VARIABLES DE SOLUCIÓN

- Costo de fabricación de piezas, Cee (Kw/hr)
- Potencia de motores, P (Hp)

VARIABLES INTERVINIENTES

- Temperatura del ambiente (°C)

2.2.3. VARIABLES PARA EL SISTEMA DE LÁSER

PARÁMETROS DE DEFINICIÓN DE PROBLEMA

- Longitud de onda. (NM)
- Clase de láser. (adimensional)

VARIABLES DE DISEÑO

- Diámetro de la boquilla de salida, Ds (mm)
- Temperatura de láser, Tc (°C)

VARIABLES DE SOLUCIÓN

- Costo de corte y grabado (Kw/hr)
- Potencia de láser, P (MW)

VARIABLES INTERVINIENTES

- Temperatura del ambiente (°C)

DIAGRAMA DE CAJA NEGRA ESTRUCTURA

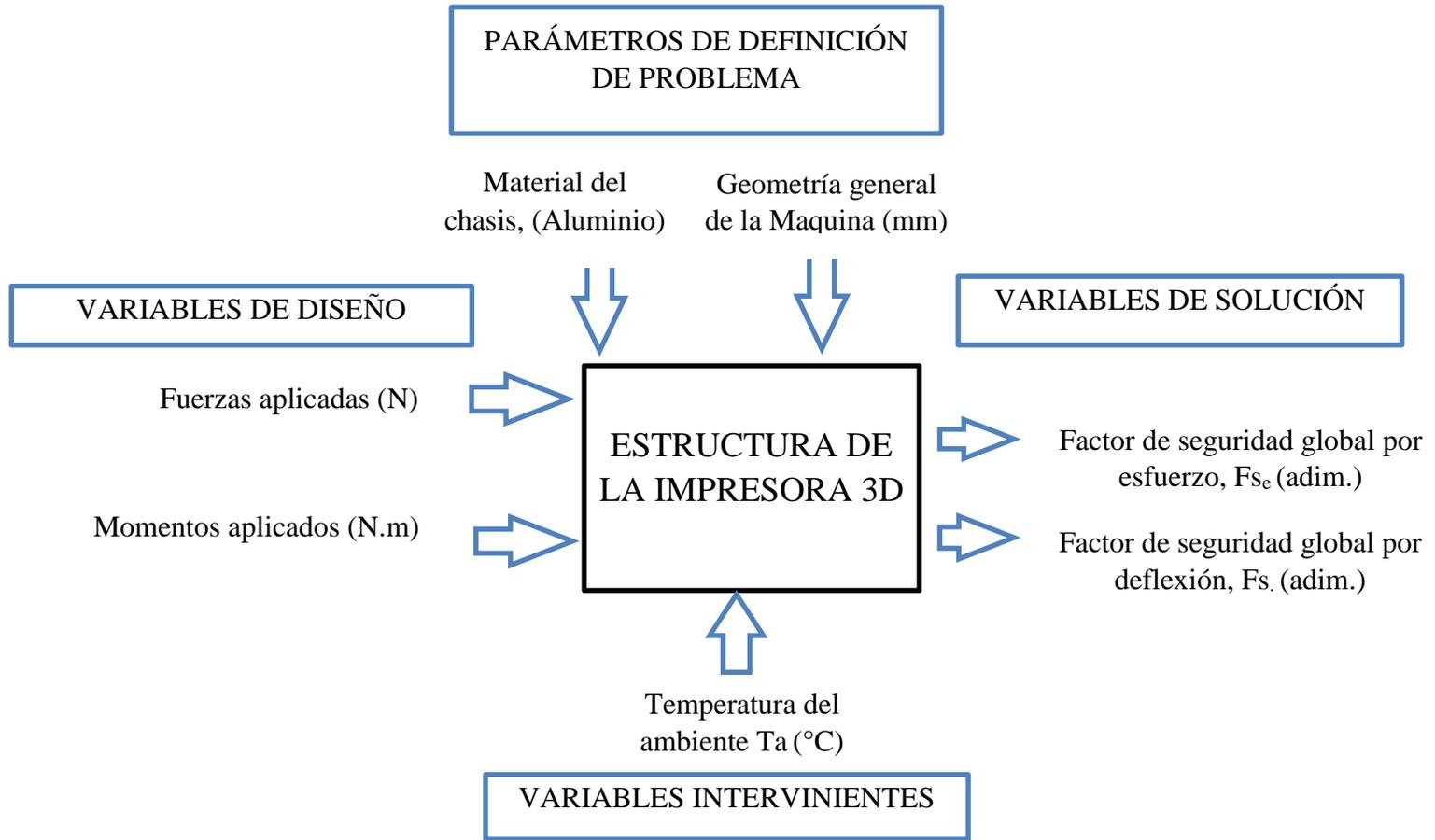


Figura 36: Diagrama de caja negra de la estructura

TABLA 1. OPERACIONALIZACION DE VARIABLE ESTRUCTURA

Variables de Diseño	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Fuerzas Aplicadas	Acción, o influencia que genera peso o presión sobre la estructura que lo transporta.	Cargas producto de los diferentes componentes de la impresora.	[N]	Intervalo
Momentos aplicados	Momento de torsión que soporta la estructura de la impresora.	Momentos aplicados a la estructura de la impresora	Carga y brazo de momento [N.m]	Intervalo
Variables de Solución	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Factor de seguridad global por esfuerzo	valor obtenido de la aptitud máxima de un procedimiento y el valor del exigencia real a que se verá mostrar	Valor de esfuerzo máximo entre límite de fluencia del material.	Adimensional Esfuerzo máximo permisible Esfuerzo de falla	Intervalo
Factor de seguridad global por deflexión	Valor evaluado de la extensión máxima de un procedimiento y el valor de la exigencia esperada al que se verá reducir.	Cociente entre la deformación total del chasis y la deformación admisible	Adimensional Deformación admisible	Intervalo

DIAGRAMA DE CAJA NEGRA DE EXTRUSOR

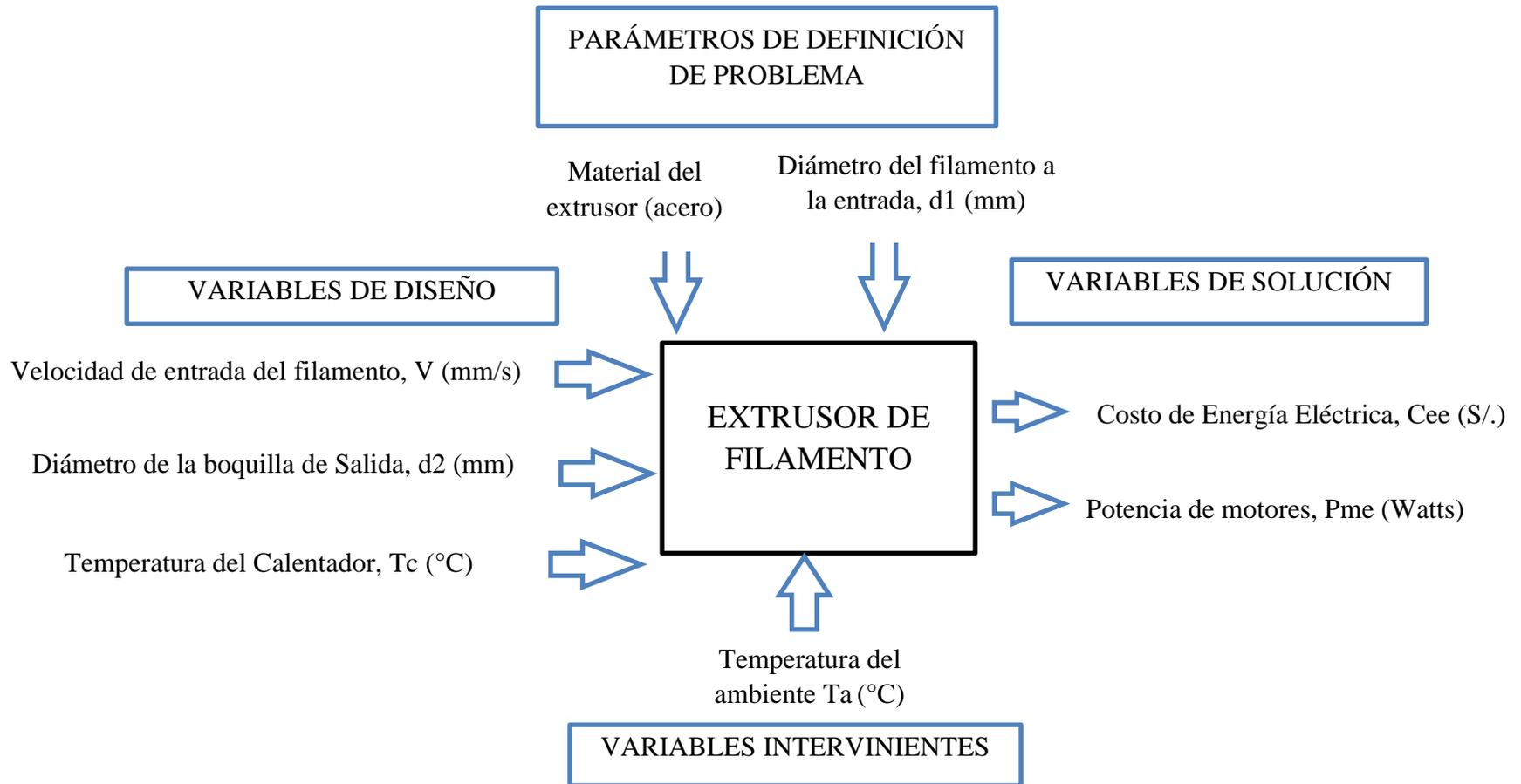


Figura 37: Diagrama de caja negra de la extrusor

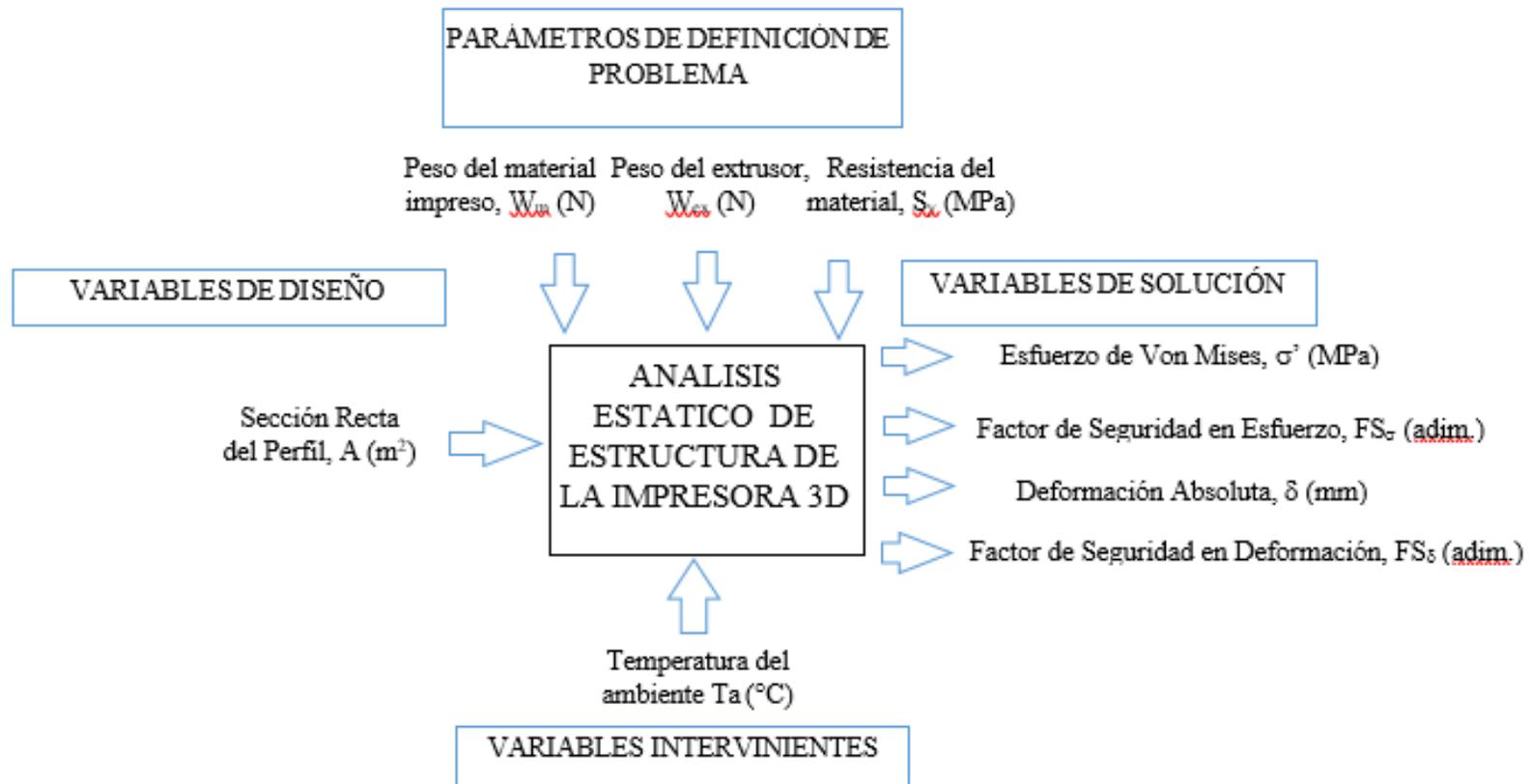


Figura 38: Caja negra para el Análisis Estático de la Estructura de la Impresora 3D

Fuente: Elaboración Propia

DIAGRAMA DE CAJA NEGRA DE LA ESTRUCTURA DE LA IMPRESORA 3D EN FATIGA

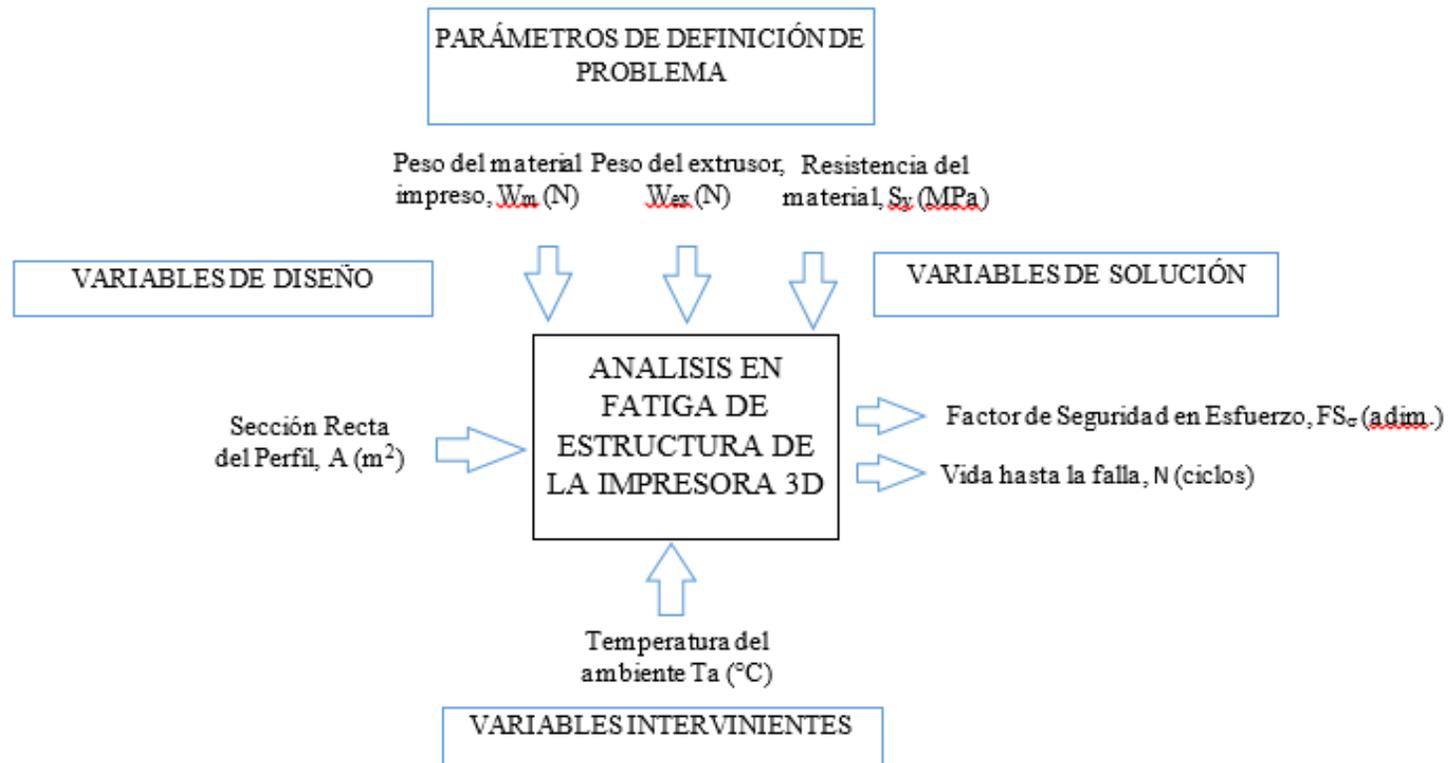


Figura 39: Caja negra para el Análisis en Fatiga de la Estructura de la Impresora 3D

Fuente: Elaboración Propia

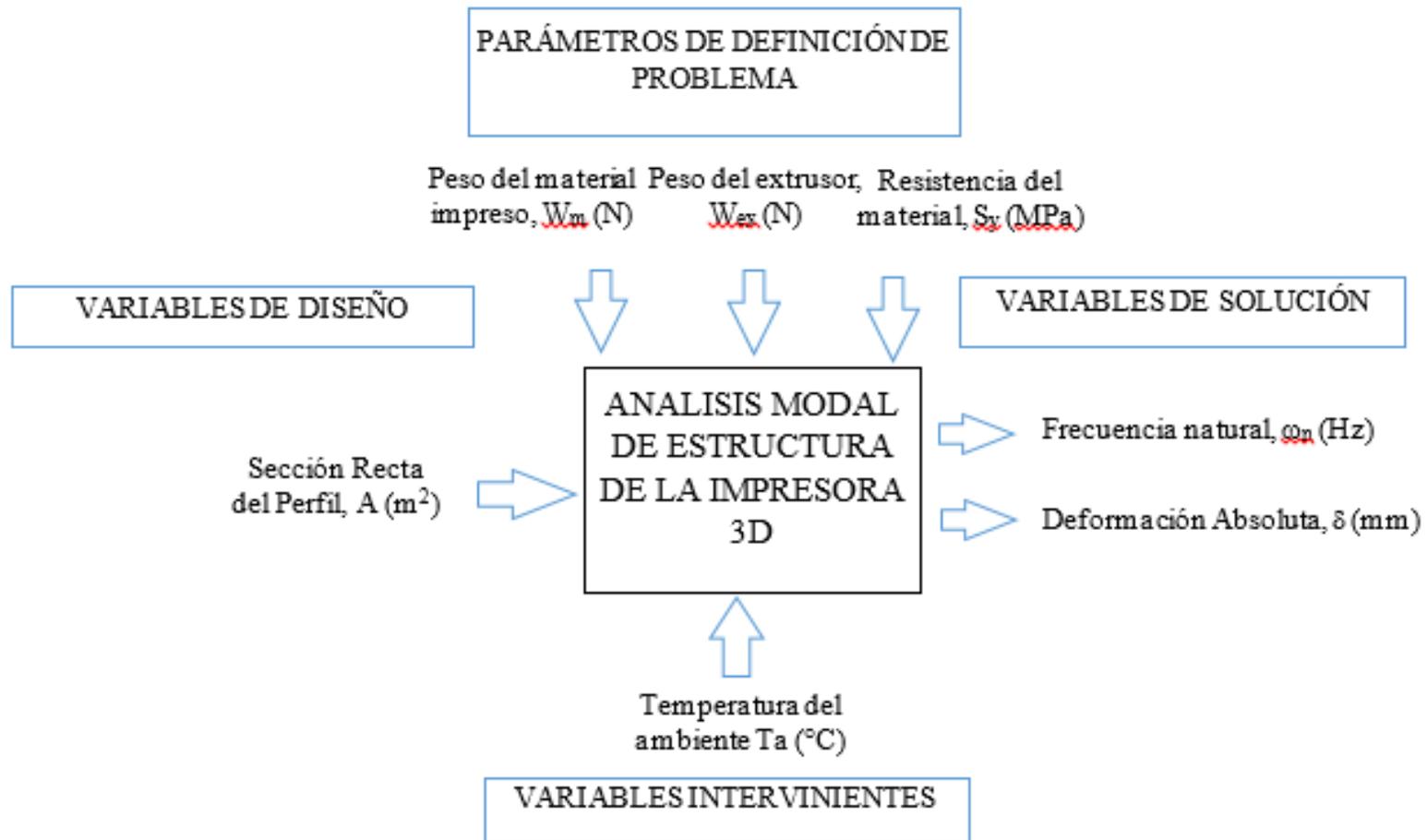


Figura 40: Caja negra para el Análisis modal de la Estructura de la Impresora 3D

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 2. OPERACIONALIZACION DE VARIABLE EXTRUSOR

Variables de Diseño	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Velocidad de entrada, V_e (mm/s)	Velocidad con la que el filamento ingresa en el extrusor sale por la boquilla	Velocidad en mm/s medida a la entrada del extrusor	Velocidad de entrada en mm/s	Intervalo
Diámetro de la boquilla de salida, D_s (mm)	Diámetro medido en milímetros que determina el diámetro de la boquilla de salida.	Diámetro en mm medido en la boquilla de salida del extrusor	Diámetro de salida de la boquilla en mm	Intervalo
Temperatura de calentador, T_c (°c)	Temperatura medida en °c que determina los grados del calentador	Temperatura en °c medida por un sensor de temperatura en la parte interna del extrusor	Temperatura del calentador medida en grados °C	Intervalo
Variables de Solución	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Costo de energía eléctrica (Kw/Hr)	Velocidad con la que el filamento ingresado sale fundido por la boquilla de salida.	Velocidad del filamento fundido en mm/s medida a la salida de la boquilla del extrusor.	Velocidad de salida en mm/s	Intervalo
Potencia de motores (Watts)	Perdida de presión total entre la caída de presión en la entrada, más la caída de presión en la boquilla.	Perdida de presión total medida en Pa, entre la caída de presión en la entrada más la caída de presión en la boquilla.	Caída de presión total en el extrusor medida en Pa	Intervalo

DIAGRAMA DE CAJA NEGRA LÁSER

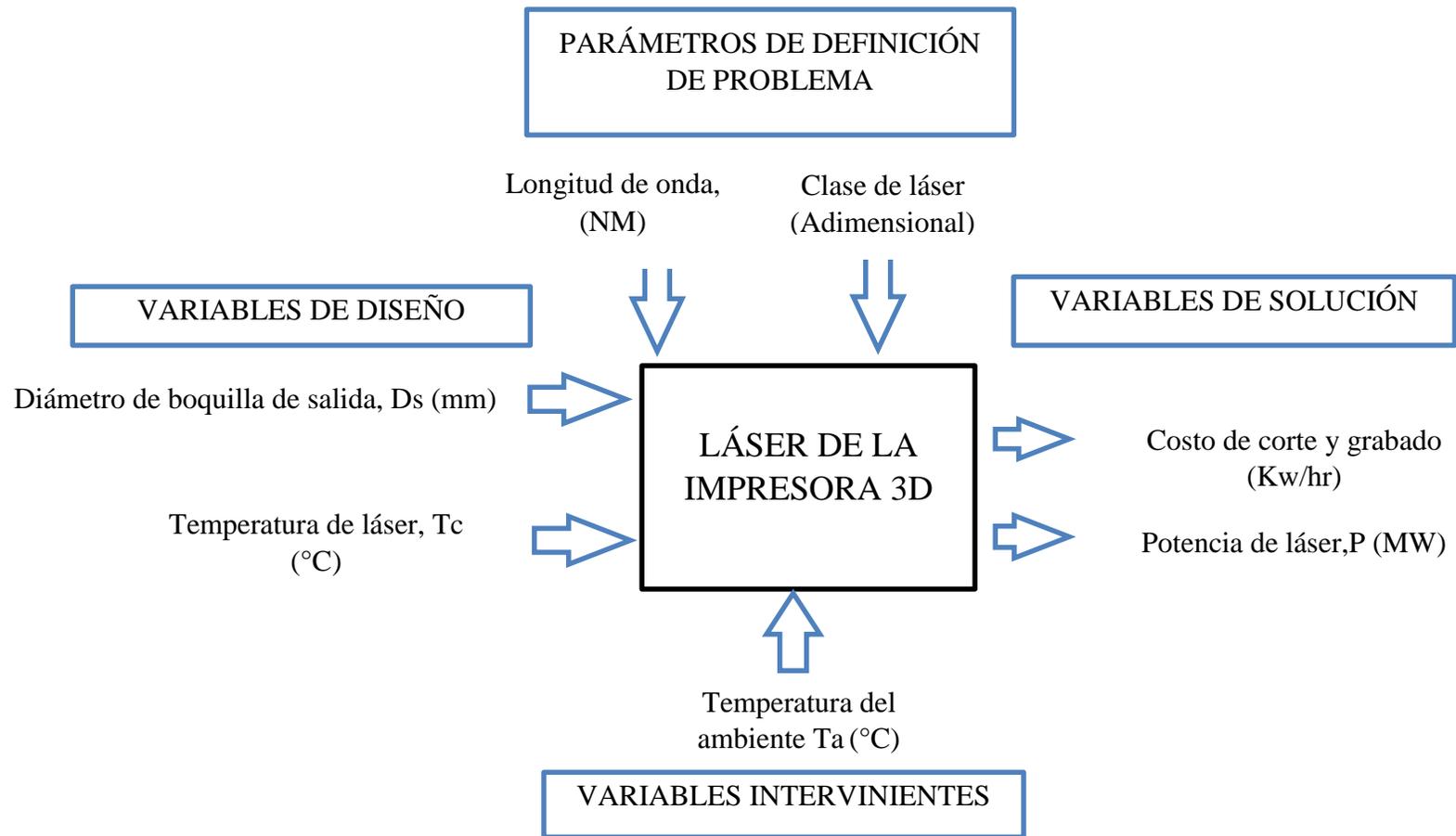


Figura 41: Diagrama de caja negra de la láser

TABLA 3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLE LÁSER

Variables de Diseño	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Diámetro de boquilla de salida	Diámetro medido en milímetros que determina la boquilla de salida.	Diámetro en mm medido en la boquilla de salida del láser	Diámetro de salida en mm	Intervalo
Temperatura de láser	Temperatura en °C que determina los grados del láser	Temperatura en °C medida por un sensor de temperatura en la parte interna del láser	Temperatura del láser medida en grados °C	Intervalo
Variables de Solución	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Costo de corte y grabado	Velocidad con la que el láser corta y graba el material.	Velocidad del láser en hora que corta y graba el material.	Velocidad de corte y grabado medido en horas	Intervalo
Potencia de laser	Perdida de presión total entre la caída de presión en la entrada, más la caída de presión en la boquilla.	Perdida de presión total medida en Pa, entre la caída de presión en la entrada más la caída de presión en la boquilla.	Caída de presión total en el láser medido en Pa	Intervalo

2.3. POBLACION Y MUESTRA

POBLACIÓN: Impresoras 3D

MUESTRA: Impresora 3D de cabezales intercambiables para empresa JJR SERVICIOS GENERALES.

2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

TÉCNICA	INSTRUMENTO	VALIDACION
Entrevista	Cuestionario	Especialista
Análisis documental	Registro de ficha técnica	Especialista

2.5. METODOS DE ANALISIS DE DATOS

I. METODO ANALITICO

El contenido de la indagación se obtendrá mediante entrevistas, donde se determinarán las necesidades del cliente y se formulará una lista de requerimientos la cual se expresará el problema en términos ingenieriles.

Se utilizarán normas y códigos referentes para el diseño paramétrico de la estructura de la impresora 3D como guía para el desarrollo del proyecto. Se generarán conceptos alternativos, los cuales serán evaluados mediante una matriz ponderada y se seleccionara la mejor alternativa que cumpla las exigencias del cliente. Así también se diseñará la configuración general de las partes críticas de la máquina mediante un diseño paramétrico, luego se podrá realizar un diseño de selección para los componentes estándar. Mediante software de ingeniería se podrá realizar los cálculos y simulaciones respectivas a los estudios principales de dicha máquina en Solidworks y Matlab. Se procederá a la selección de la parte eléctrica y electrónica de motores paso a paso tanto como el diseño y dimensionamiento de electrónica de interconexión, sensores y PLC. Para así finalmente poder elaborar el presupuesto para esta máquina.

CAPITULO III

RESULTADOS

III. RESULTADOS

3.1. NECESIDADES DE LA EMPRESA

Las necesidades de la empresa se determinaron mediante 5 entrevistas realizadas a los trabajadores de la empresa JJR SERVICIOS GENERALES encargados de operar la impresora 3D. Las entrevistas completas pueden apreciarse en el Anexo N° 2.

TABLA 4. RESUMEN DE ENTREVISTAS DE NECESIDADES DE LA EMPRESA

No.	ENTREVISTADO	ASPECTO DE INFLUENCIA EN EL MERCADO DEL PRODUCTO	ASPECTO DE LA PRODUCCIÓN DEL PRODUCTO	ASPECTO DEL DISEÑO DE LA MAQUINA	ASPECTO ECONÓMICO
1	Juan Grados Calderón	Conocimiento básico de impresoras 3D. Modelamiento de piezas de prototipos.	50*50*20 cm (volumen de impresión). 6 horas de trabajo.	Materiales comestibles. Velocidad de impresión similar a las comerciales	\$ 1500 dólares
2	Carlos Hurtado Avalos	Conocimiento básico de impresoras 3D. Elaboración de prototipos. Ventaja en tiempo de fabricación	30*30*30 cm volumen de impresión. 4 horas de trabajo. Colores institucionales	Madera, Aluminio, Bronce.	\$ 1500 dólares
3	Miguel Asto Polo	Conocimiento básico de impresoras 3D. Elaboración de prototipos.	30*20*40 cm volumen de impresión. 5 horas de trabajo. Cuatro colores para diferenciar elementos de ensamble	Únicamente PLA y ABS. Velocidad de impresión similar a las comerciales	4 000 nuevos soles Impresoras unidad a escáner
4	Erick Custodio Rodríguez	Conocimiento de impresoras 3D. Elaboración de prototipos.	30*30*20 cm volumen de impresión. 8 horas de trabajo	Metales y polímeros.	\$ 2000 dólares
5	Antonio Tantaquispe Basilio	Elaboración de prototipos.	30*30*20 cm volumen de impresión.	Únicamente filamento de plástico.	\$ 900 dólares

En la tabla se resume los resultados de las entrevistas indicando los aspectos evaluados:

- **ASPECTO DE LA INFLUENCIA EN EL MERCADO DEL PRODUCTO**

El uso de esta máquina sería para la elaboración de piezas, corte y grabado a láser teniendo ventaja en el ámbito laboral.

- **ASPECTO DE LA PRODUCCIÓN DEL PRODUCTO**

En promedio las dimensiones de las piezas a producir serían de **260mm x 260mm x 300mm.**

- **ASPECTO DEL DISEÑO DE LA MÁQUINA**

En promedio el material a imprimir es plástico y para corte grabar: plástico, madera, cuero. Y por último la velocidad de impresión debe ser similar a las impresoras del mercado.

- **ASPECTO ECONÓMICO**

En promedio un valor accesible sería de 1500 dólares.

3.2 NORMAS DE DISEÑO

NORMA ISO/ASTM 52921-13 standard terminology for additive manufacturing technologies

Esta norma está asociada a la manufactura aditiva como: definiciones, descripciones, nomenclatura y acrónimos relacionados a la tecnología de fabricación de aditivos. Define términos para diseñar y fabricar todo aquello con la seguridad y salud del usuario bajo responsabilidad del fabricante.

NORMA ISO/ASTM 52915:2013

Esta norma define que el formato STL es estándar en la industria de la impresión 3D, contiene información acerca de la malla superficial. Pero no cuenta con las demás características del objeto a fabricar como: color, textura, material.

TABLA 5. RECOMENDACIONES DE DISEÑO

ASPECTOS/ CRITERIOS	RECOMENDACIÓN DE DISEÑO	REFERENCIA
MATERIAL	Usar un ventilador para la placa electrónica para evitar sobrecalentamiento.	BACA, Juan (2017)
	Usar poleas metálicas en lugar de poleas de plástico para mayor tiempo de vida	ILLESCAS, Marco (2012)
GEOMETRIA	Usar cama caliente para mejor adherencia del material en su primera capa base.	Baca, Juan (2017)
COMPONENTES	El armazón y los cinchos donde se desplazan los ejes X y Y deben estar correctamente alineadas.	LÓPEZ, Leyva (2012)
	Las barras roscadas donde se desplaza el eje Z de la impresora, son piezas que se deben tener cuidado al instante de la fabricación.	LÓPEZ, Leyva (2012)
MANTENIMIENTO	Se recomienda engrasar las varillas para evitar atascos en los desplazamientos lineales.	HUERTAS, Joan (2014)
	En caso de necesitarse repuestos para la máquina, estos deben estar en lo posible accesibles dentro del mercado nacional.	QUISPE, Héctor.2008.

3.2. ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA

Aplicando las bases de diseño de la impresora 3D, partiendo de las necesidades de la empresa se procede a representarlas de forma ingenieril con el fin de obtener una eficiencia y productividad óptima de la máquina.

Para la automatización de la impresora, se controlará el movimiento de los tres ejes a través de servomotores Nema 17 mediante una placa Arduino.

Los intervalos de impresión de las piezas de acuerdo a las necesidades de la empresa abarcan **260 mm x 260 mm x 300 mm**.

TABLA 6. ESPECIFICACIONES INGENIERILES

SUBFUNCION	CARACTERISTICAS INGENIERILES	UNIDADES	LIMITES
Productividad	cantidad de piezas fabricadas	h-m	≥ 3 piezas
Tamaño de piezas	Según escala	mm^3	≤ 350 mm ≤ 300 mm ≤ 250 mm
Encendido de la máquina	tiempo de encendido	segundos	≤ 5 seg
Potencia de motores	motores paso a paso	N.m	≤ 0.4 N.m
Potencia de láser	láser	MW	≤ 500 MW
Impresión rápida	máxima velocidad	mm/s	≤ 200 mm/s

TABLA 7: REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE LA IMPRESORA 3D DE CABEZALES INTERCAMBIABLES.

Material	Perfil de aluminio furukawa código N° 042205
Proceso de fabricación de la estructura	Se cortarán piezas del perfil de aluminio, para realizar el respectivo ensamble se introducirá una barra delgada de acero, previamente taladrados a los extremos y se utilizará tornillos button head Allen m8.
Selección de componentes electrónicos y mecánicos	Se seleccionaron a través de una matriz ponderada, según los requerimientos y características de la impresora 3D de cabezales intercambiables.

3.3. CONCEPTOS DE DISEÑO ESTRUCTURA

3.3.1. CONCEPTO N° 1: ESTRUCTURA CON ALUMINIO RECTANGULAR

Este tipo de aluminio, se caracteriza por ser muy liviano y mecanizable, y por su disponibilidad en el mercado. Las ventajas para este concepto son principalmente el bajo costo de fabricación, pero presenta poca resistencia mecánica y corto tiempo de vida útil.

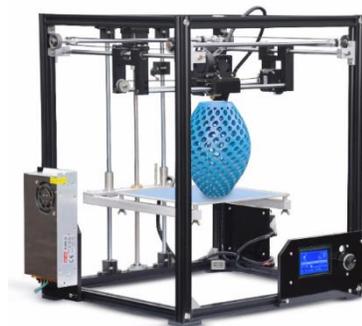


Figura 42: Estructura de aluminio de tubo rectangular

Fuente: <https://elmundo3d.com/tronxy-x5/>

3.3.2. CONCEPTO N° 2: ESTRUCTURA CON ACRÍLICO LISO

Este modelo es ideal para mayor visión estética, además no permite adhesión de partículas de suciedad. Sus ventajas son principalmente su peso ya que es más liviano que el aluminio, resistencia a la exposición del sol. Pero presente un costo elevado y mecanizado por láser.

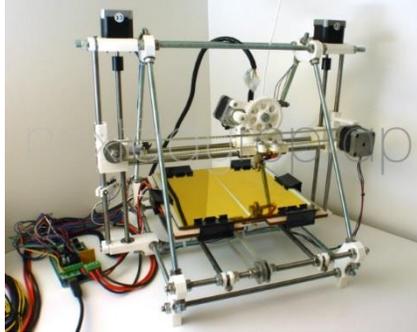


Figura 43: Estructura con acrílico liso

Fuente: Rinstruct (2013)

3.3.3. CONCEPTO N° 3: ESTRUCTURA CON PATIN DE REFUERZO

Este concepto se caracteriza por estar cubierto con un proceso electroquímico para formar una capa protectora de óxido de aluminio. Tiene ventajas como soportar grandes torques, pero no suficiente resistencia mecánica.

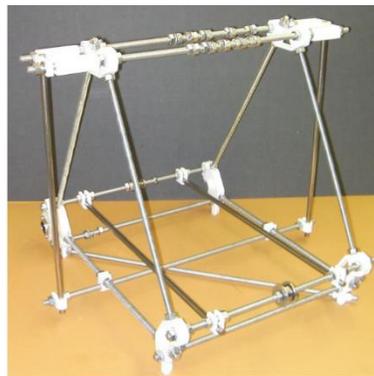


Figura 44: Estructura con acrílico liso

Fuente: Wikipedia (2014)

3.3.4. CONCEPTO N° 4: ESTRUCTURA CON ACERO PINTADO AL POLVO

Es ideal para cualquier ambiente de trabajo ya que presenta su estructura de acero pintado al polvo que proporciona resistencia a golpes y/o ralladuras. Soporta grandes torques, cabezales intercambiables y alta resistencia de corrosión, pero tiene un alto costo.



Figura 45: Estructura con acero pintado al polvo

Fuente: Wikipedia (2014)

3.3.5. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA ÓPTIMA MEDIANTE UNA MATRIZ PONDERADA ESTRUCTURA

TABLA 8. Indicadores

INDICADORES	
CRITERIO	PONDERADO
MANTENIMIENTO	35
SEGURIDAD	10
RUIDO	10
TAMAÑO	15
COSTO	30
TOTAL	100

INDICADORES	
PUNTUACION	EXPLICACION
1	POCO SATISFECHO
2	SATISFECHO
3	MUY SATISFECHO

Se evaluaron los siguientes criterios para el mejor diseño de una impresora 3D de cabezales intercambiables, describiéndolos a continuación:

Mantenimiento: Se evaluó debido a la necesidad de realizar un mantenimiento adecuado a la máquina.

Seguridad: Permite evaluar la seguridad con la que la máquina se diseñará.

Ruido: Nos permite evaluar el nivel de ruido (db) que generará la impresora 3D en funcionamiento.

Tamaño: Permite evaluar las dimensiones de la máquina para elaborar un diseño adecuado de acuerdo al requerimiento de la empresa.

Costo: Nos permite evaluar el costo (S/.) para fabricar la máquina.

La ponderación que se da a cada criterio de evaluación está bajo los resultados que se obtuvieron de las entrevistas realizadas. Y es por ello que mediante los indicadores se obtuvo que el concepto de estructura con aluminio de tubo rectangular es el más óptimo, ya que, a comparación con los demás modelos, presenta buena resistencia mecánica y es económico.

Explicación:

La matriz de selección ponderada contiene los criterios a evaluar, y estos resultados fueron obtenidos al aplicar las entrevistas al comparar los diferentes modelos. La puntuación ponderada se obtuvo multiplicando la puntuación dada por el porcentaje del ponderado y por último dividiendo entre el ponderado total.

TABLA 9. Selección de alternativa óptima estructura.

DISEÑO DE IMPRESORA 3D DE CABEZALES INTERCAMBIABLES		ESTRUCTURA CON ALUMINIO TUBO RECTANGULAR		ESTRUCTURA CON PATIN DE REFUERZO		ESTRUCTURA CON ACRÍLICO LISO		ESTRUCTURA CON ACERO PINTADO AL POLVO	
CRITERIO	PONDERADO (%)	PUNTUACION	PUNTUACION DE PONDERADO	PUNTUACION	PUNTUACION DE PONDERADO	PUNTUACION	PUNTUACION DE PONDERADO	PUNTUACION	PUNTUACION DE PONDERADO
MANTENIMIENTO	35	3	1.05	3	1.05	2	0.7	3	1.05
SEGURIDAD	10	3	0.3	2	0.2	1	0.1	3	0.3
RUIDO	10	3	0.3	2	0.2	1	0.1	2	0.2
TAMAÑO	15	2	0.3	3	0.45	1	0.15	1	0.15
COSTO	30	3	0.9	3	0.9	3	0.9	2	0.6
TOTAL	100	14		13		8		11	

3.4. CONCEPTOS DE DISEÑO DE EXTRUSOR

3.4.1. CONCEPTO N° 1: HOTEND TIPO BUDASCHNOZZLE

Considerado el mejor de todos, se caracteriza por presentar una estructura muy robusta y no se atasca, pero tiene como desventaja el precio y que sólo se envían desde Estados Unidos.

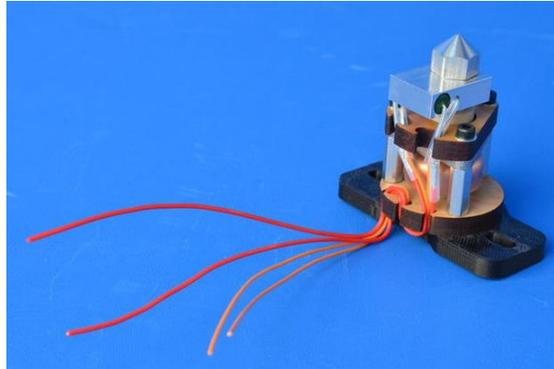


Figura 46: HOTEND BUDASCHNOZZLE

Fuente: Reclone 3D (2013)

3.4.2. CONCEPTO N° 2: HOTEND TIPO MK8

Es un extrusor muy versátil, además presenta facilidad en su mantenimiento y fabricado a base de aluminio, acero y latón. Además, es económico.



Figura 47: Hotend MK8

Fuente: Innovations 3D

3.4.3. CONCEPTO N° 3: HOTEND TIPO J-HEAD NOZZLE

Es un hotend compacto y se calienta muy rápido, tanto que puede quemarse el plástico. Es ideal por su bajo peso y su mecanizado excelente, además permite una refrigeración total.



Figura 48: HOTEND J-HEAD NOZZLE

Fuente: Reclone3D (2013)

3.4.4. CONCEPTO N° 4: HOTEND TIPO V6

Fabricado de acero inoxidable, presenta buen rendimiento, es fiable y excelente aspecto.



Figura 49: HOTEND V6

Fuente: Reclone 3D (2013)

3.4.5. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA ÓPTIMA MEDIANTE UNA MATRIZ PONDERADA PARA EXTRUSOR:

TABLA 10. INDICADORES

INDICADORES	
CRITERIO	PONDERADO
DISPONIBILIDAD	35
MANTENIMIENTO	20
TAMAÑO	20
COSTO	25
TOTAL	100

INDICADORES	
PUNTUACION	EXPLICACION
1	POCO SATISFECHO
2	SATISFECHO
3	MUY SATISFECHO

Se evaluaron los siguientes criterios para el mejor diseño de una impresora 3D de cabezales intercambiables, describiéndolos a continuación:

Disponibilidad: Permite evaluar cuán disponible se encuentra en el mercado este dispositivo.

Mantenimiento: Este criterio nos permite saber si se realizará un mantenimiento adecuado al dispositivo cuando sea necesario.

Tamaño: Permite evaluar las dimensiones del dispositivo para elaborar un diseño adecuado con la intención de disminuir el peso, de acuerdo al requerimiento de la empresa.

Costo: Nos permite evaluar el costo (S/.) que generaría usar el dispositivo.

La ponderación que se da a cada criterio de evaluación está bajo los resultados que se obtuvieron de las entrevistas realizadas. Y es por ello que mediante los indicadores se obtuvo que el concepto de hotend MK8 es el más óptimo, ya que, a comparación con los demás modelos, presenta fácil mantenimiento, bajo costo y disponibilidad.

Explicación: La matriz de selección ponderada contiene los criterios a evaluar, y estos resultados fueron obtenidos al aplicar las entrevistas al comparar los diferentes modelos. La puntuación ponderada se obtuvo multiplicando la puntuación dada por el porcentaje del ponderado y por último dividiendo entre el ponderado total.

TABLA 11. Selección de alternativa óptima extrusor

SEÑO DE IMPRESORA 3D DE CABEZALES INTERCAMBIABLES		HOTEND BUDASCHNOZZLE		HOTEND MK8		HOTEND J-HEAD NOZZLE		HOTEND V6	
CRITERIO	PONDERADO (%)	PUNTUACION	PUNTUACION DE PONDERADO	PUNTUACION	PUNTUACION DE PONDERADO	PUNTUACION	PUNTUACION DE PONDERADO	PUNTUACION	PUNTUACION DE PONDERADO
DISPONIBILIDAD	35	1	0.35	3	1.05	1	0.35	1	0.35
MANTENIMIENTO	20	2	0.4	3	0.6	3	0.6	2	0.4
TAMAÑO	20	2	0.4	2	0.4	1	0.2	1	0.2
COSTO	25	1	0.25	2	0.5	1	0.25	1	0.25
TOTAL	100	6		10		6		5	

3.5.DISEÑO DE LÁSER Y SELECCIÓN

El láser que se seleccionó es PWM, pero a una conexión de control TTL, no acudimos a una matriz ponderada por el hecho que las únicas variables, respecto a la solución es la potencia y la longitud de alcance del láser. Presenta un alcance de 405 nm y potencia de 500MW.



Figura 50: Láser PWM clase IV
Fuente: en.xinruidz.com/

3.6.DISEÑO DE CONFIGURACIÓN GENERAL DE LA MÁQUINA

Se elabora el diseño de configuración general de la impresora 3D organizando los siguientes diagramas, en los cuales va detallado el proceso de selección de las partes de la máquina. La cual ayuda a continuar con el proceso de diseño.

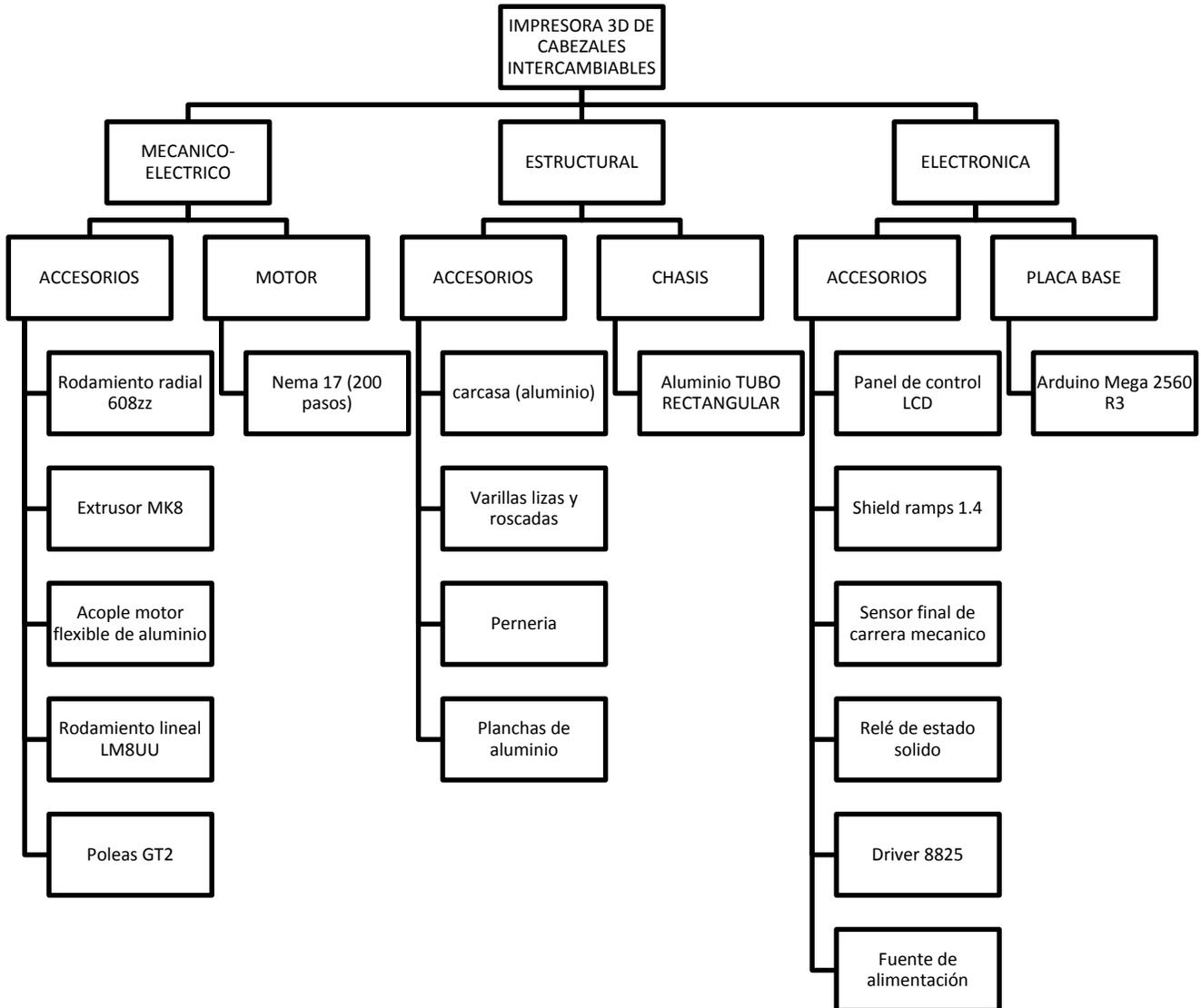


Figura 51: Diagrama de configuración de elementos de la máquina

3.6.1. BOCETOS PARA UNA MEJOR UBICACIÓN DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES

Se determinan tres bocetos para luego seleccionar mediante una matriz ponderada la mejor opción de ubicación de los componentes de la máquina para un desempeño óptimo.

A. BOCETO N° 1

En la siguiente imagen se muestra una alternativa para la ubicación de los motores paso a paso y el carrete del filamento, correspondientes al diseño de la impresora 3D de cabezales intercambiables.

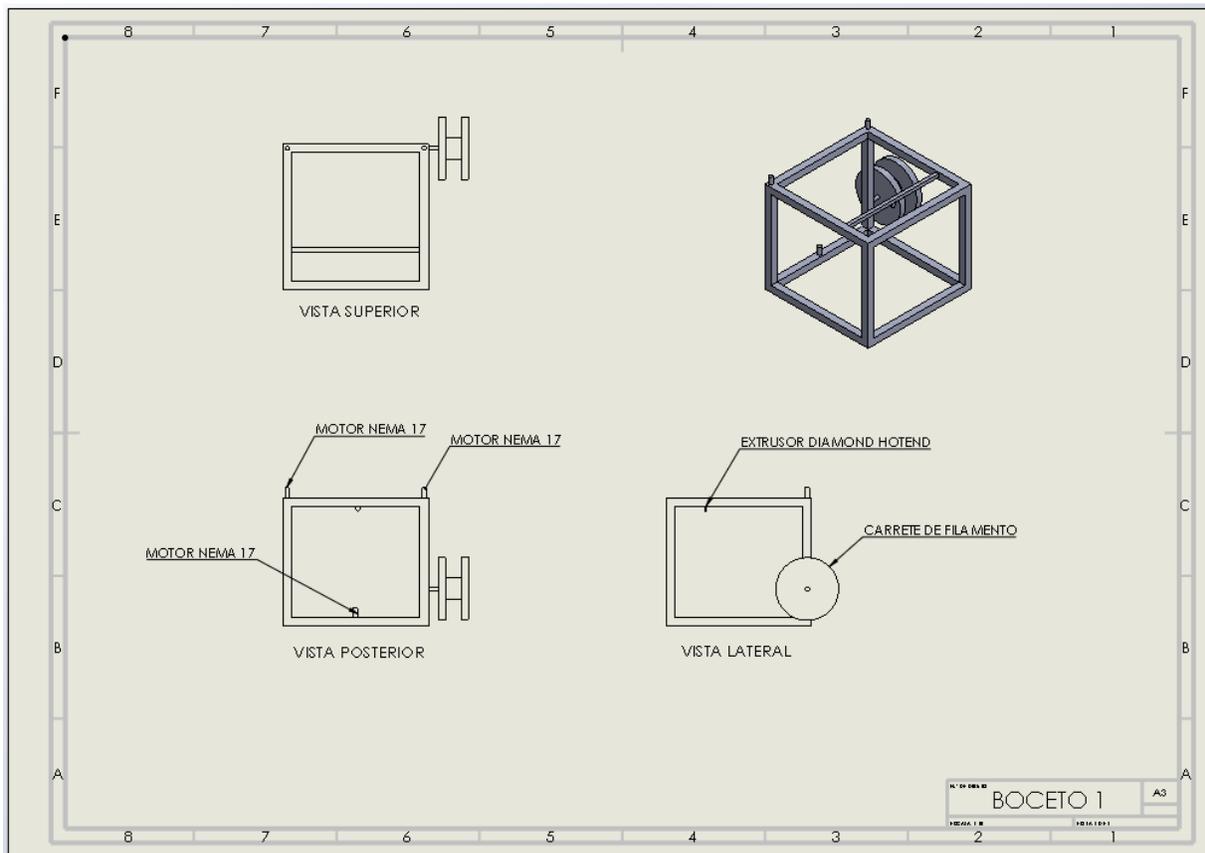


Figura 52: Boceto N° 1

B. BOCETO N° 2

En la siguiente imagen se muestra una alternativa para la ubicación de los motores paso a paso y el carrete del filamento, correspondientes al diseño de la impresora 3D de cabezales intercambiables.

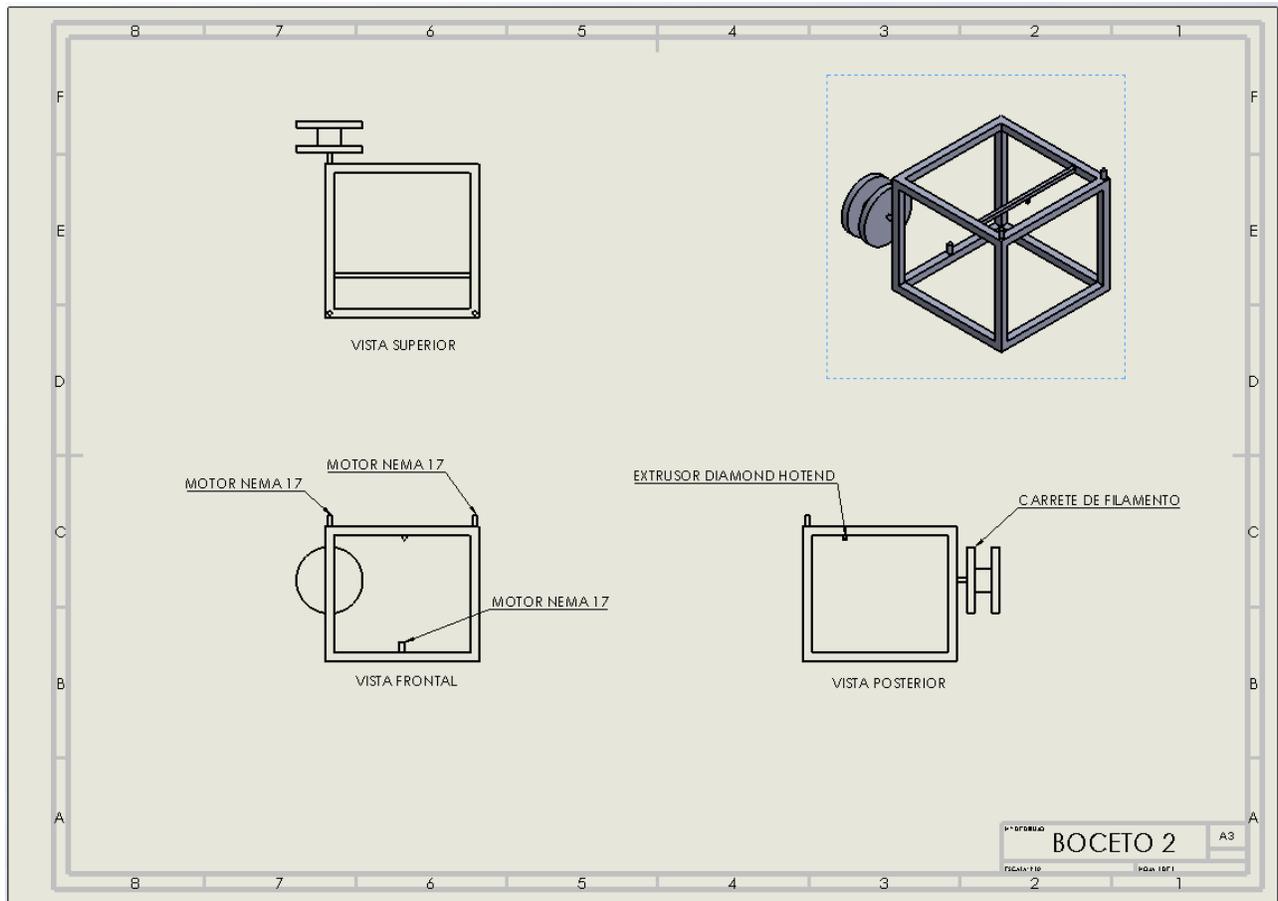


Figura 53: Boceto N° 2

C. BOCETO N° 3

En la siguiente imagen se muestra una alternativa para la ubicación de los motores paso a paso y el carrete del filamento, correspondientes al diseño de la impresora 3D de cabezales intercambiables.

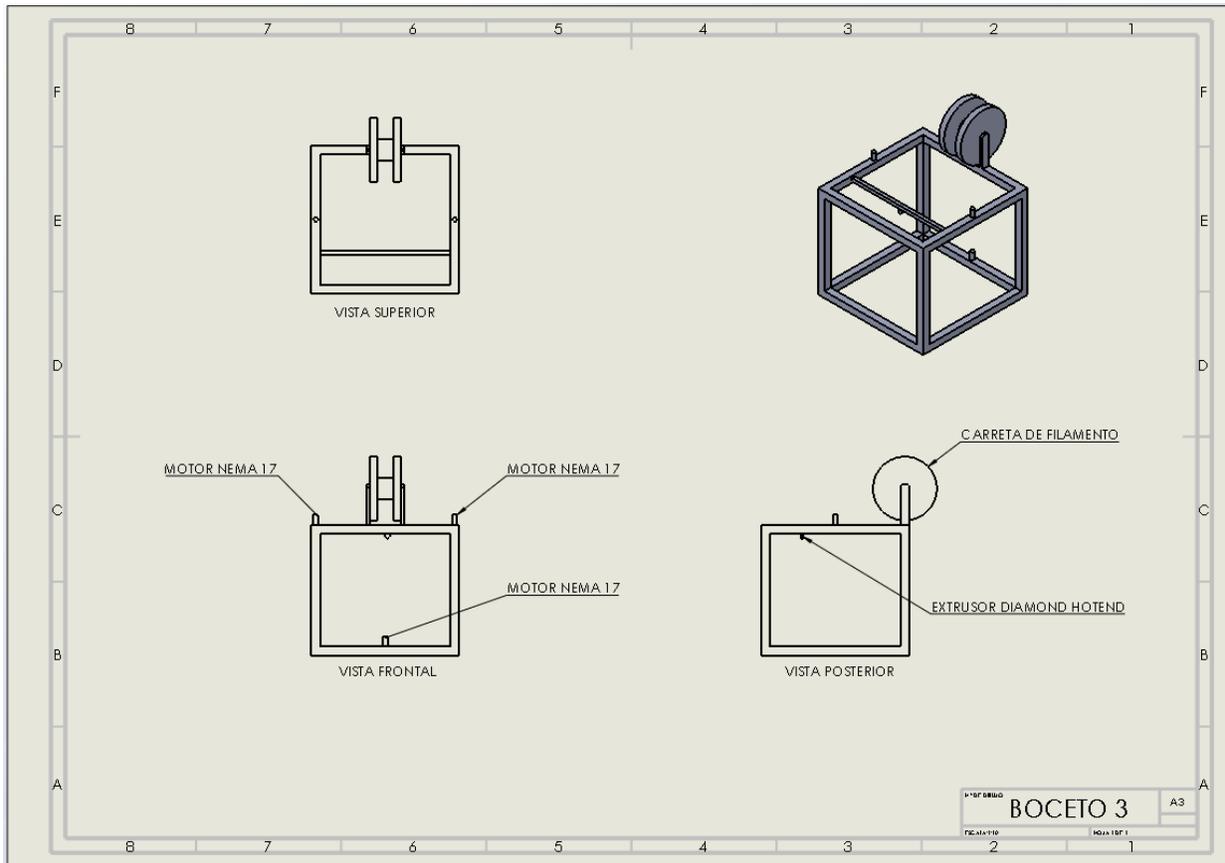


Figura 54: Boceto N° 3

3.6.2. SELECCIÓN DE BOCETO ÓPTIMO A TRAVÉS DE UNA MATRIZ PONDERADA:

TABLA 12. INDICADORES

INDICADORES	
CRITERIO	PONDERADO
MANTENIMIENTO	40
SEGURIDAD	30
TAMAÑO	10
COSTO	20
TOTAL	100

INDICADORES	
PUNTUACION	EXPLICACION
1	POCO SATISFECHO
2	SATISFECHO
3	MUY SATISFECHO

Se evaluaron los siguientes criterios para el mejor diseño de una impresora 3D de cabezales intercambiables, describiéndolos a continuación:

MANTENIMIENTO: Este criterio nos permite saber si se realizará un mantenimiento adecuado a la máquina cuando sea necesario.

SEGURIDAD: Permite evaluar la seguridad con la que se diseñará la máquina.

TAMAÑO: Permite evaluar las dimensiones de la máquina para elaborar un diseño adecuado con la intención de disminuir el peso, de acuerdo al requerimiento de la empresa.

COSTO: Nos permite evaluar el costo (S/.) que generaría fabricar la máquina.

La ponderación que se da a cada criterio de evaluación está bajo los resultados que se obtuvieron de las entrevistas realizadas.

Y es por ello que mediante los indicadores se obtuvo que el concepto de boceto N° 1 es el más óptimo, ya que, a comparación con los demás modelos la ubicación de los principales componentes de la impresora 3D es la adecuada y más fácil de manipular, además presenta fácil mantenimiento y es más económico.

Explicación:

La matriz de selección ponderada contiene los criterios a evaluar, y estos resultados fueron obtenidos al aplicar las entrevistas al comparar los diferentes modelos. La puntuación ponderada se obtuvo multiplicando la puntuación dada por el porcentaje del ponderado y por último dividiendo entre el ponderado total.

TABLA 13: SELECCIÓN DE ALTERNATIVA ÓPTIMA MEDIANTE MATRIZ PONDERADA

DISEÑO DE IMPRESORA 3D DE CABEZALES INTERCAMBIABLES		BOCETO N°1		BOCETO N°2		BOCETO N°3	
CRITERIO	PONDERADO (%)	PUNTA CION	PUNTUACION DE PONDERADO	PUNTUACION	PUNTUACION DE PONDERADO	PUNTUACION	PUNTUACION DE PONDERADO
MANTENIMIEN TO	40	3	1.2	2	0.8	2	0.8
SEGURIDAD	30	2	0.6	1	0.3	1	0.3
TAMAÑO	10	3	0.3	1	0.1	2	0.2
COSTO	20	2	0.4	2	0.4	2	0.4
TOTAL	100	10		6		7	

3.6.3. DIAGRAMA DE BLOQUES

En el consiguiente diagrama de agrupación se evidencia varios componentes que forman la conexión de elementos:

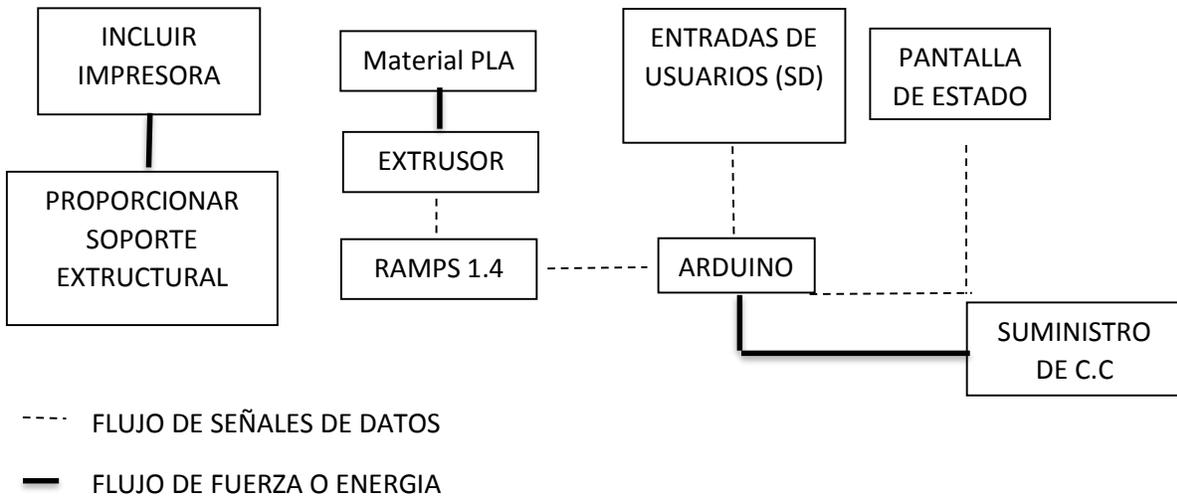


Figura 55: Diagrama de bloques

3.6.4. DIAGRAMA DE AGRUPACIÓN DE ELEMENTOS EN BLOQUES LÓGICOS

El esquema de agrupación de elementos permite estudiar en bloques deductivos las distintas áreas que arman el total de la máquina por lo que proporciona un enfoque más preciso para la posterior ejecución del esquema de control de la máquina.

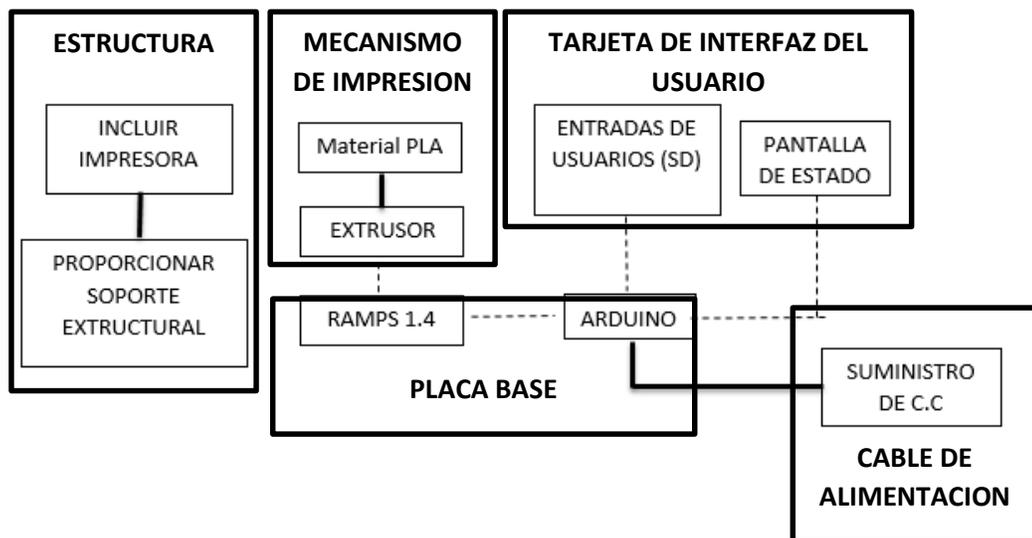


Figura 56: Diagrama de agrupación de elemento en bloques

3.6.5. DIAGRAMA DE INTERACCIÓN DE DATOS

El esquema mostrado se observa cómo se relacionan los datos entre sí, con lo que nos lleva a la solución de que todo debe quedar en óptimas situación para lograr un buen trabajo, fuera de aparición de errores.

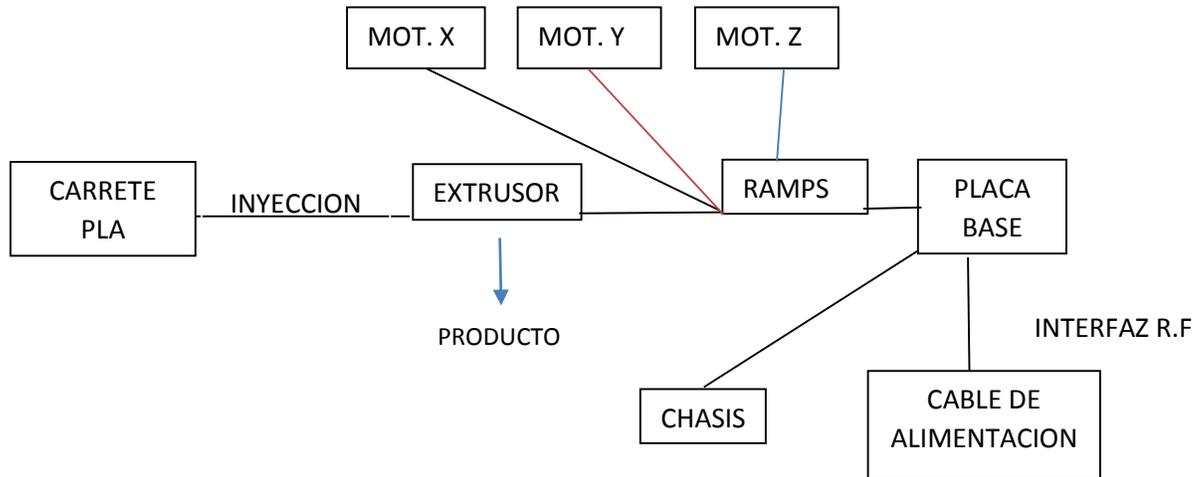


Figura 57: Diagrama de interacción de datos

3.6.6. ELECCIÓN DE MATERIAL – PROCESO

Se eligió el material de construcción de la estructura de la impresora 3D de cabezales intercambiables para luego determinar el proceso que seguirá ya que se trata de una sola máquina, es por ello que lo primordial es la elección del material disponible en el mercado con las mejores características logrando satisfacer las necesidades de la empresa beneficiada a través de lo planteado en el diagrama de caja negra.

3.7. DIAGRAMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA

El esquema de control del mecanismo descrito mediante un esquema que agrupa la electrónica interpretado por los siguientes componentes: Arduino Mega 2560 R3, utilizado para asignar los parámetros correspondientes para el funcionamiento de la impresora 3D; Shield Ramp 1.4, tarjeta electrónica encargada de las conexiones de jumpers, drivers , motores; Driver DRV4988, encargado de limitar la cantidad de amperaje suministrado a los motores; Electrónica de potencia referida a los motores Nema 17 de 1.7 A, 1/8°; Pantalla de Estado LCD12864, muestra los parámetros de funcionamiento de la maquina; Sensores Mecánicos, encargados de delimitar el área de impresión; Tarjeta SD, Memoria extraíble de selección de pieza a fabricar, Asimismo podemos inferir que la impresora 3D estaría bajo las recomendaciones de diseño

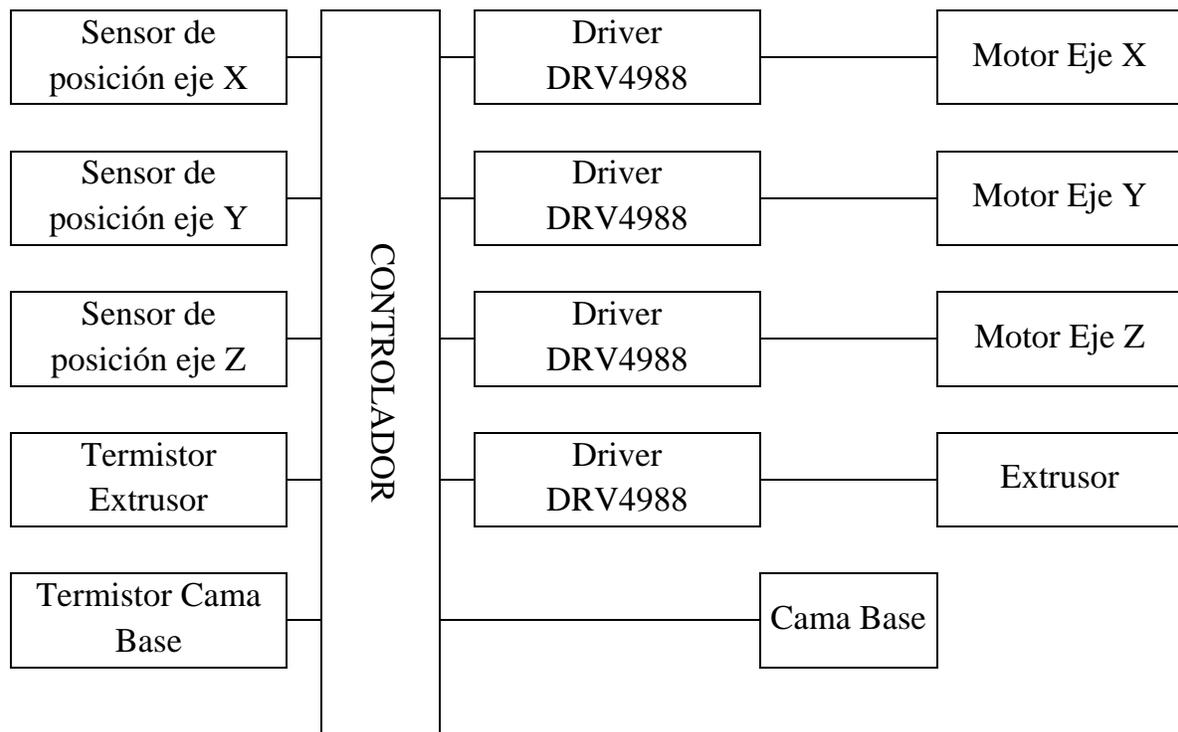


Figura 58: Diagrama de control de la impresora 3D

3.8. DIMENSIONAMIENTO GENERAL DE LA MÁQUINA

Luego de obtener los datos necesarios de las tablas de recomendaciones y de especificaciones ingenieriles para la impresora 3D de cabezales intercambiables se logró dimensionar de manera general la máquina para obtener una visión más detallada en cuanto al diseño final. Los cuales se especifican a continuación:

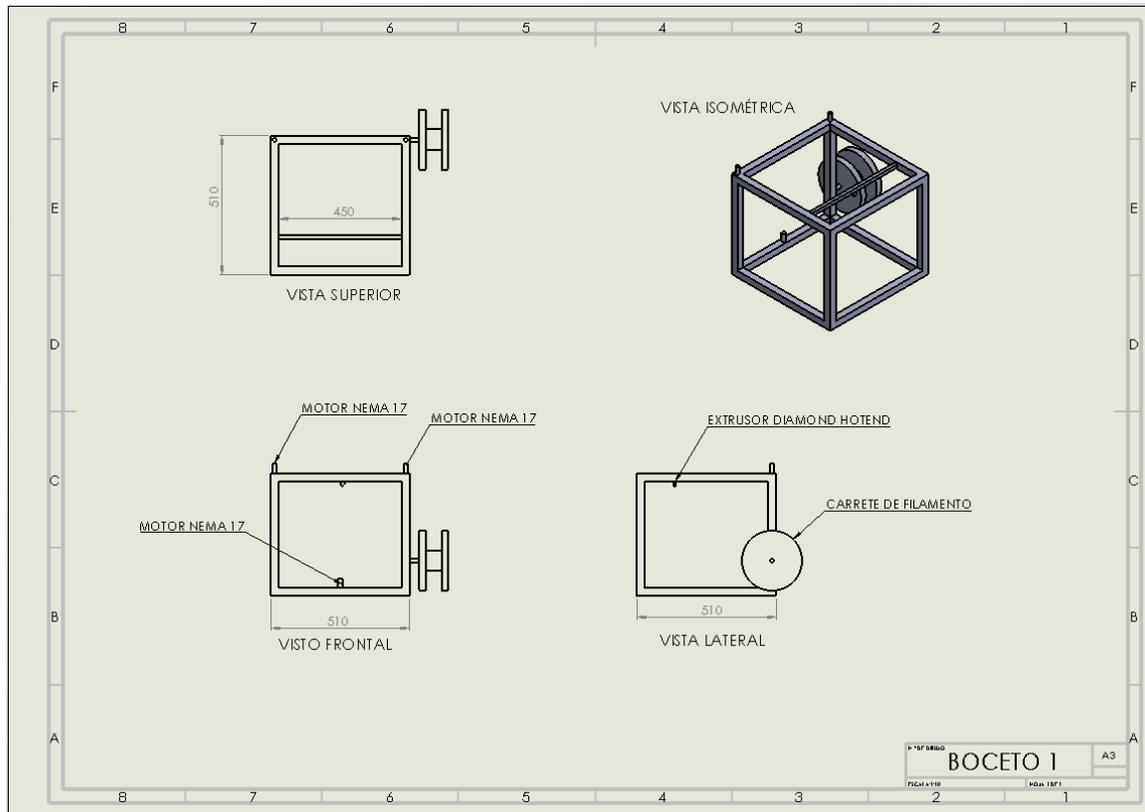


Figura 59: Boceto seleccionado para dimensionamiento de la máquina

Luego de proponer tres bocetos para determinar la ubicación de los componentes principales, se definió que la configuración del boceto N° 2 es la adecuada con el material de tubo cuadrado de aluminio de código N° 042205, sería el material más óptimo ya que es económico y para ello califica su buena resistencia estática y vibracional. Este boceto presenta simplicidad, buen mantenimiento y buena ubicación de los distintos elementos que conforman la máquina final.

3.9. DISEÑO PARAMÉTRICO

3.9.1. DISEÑO PARAMÉTRICO MEDIANTE MEF ANSYS

Para determinar los esfuerzos, las deformaciones y las frecuencias naturales a la que se verá sometida la impresora 3D, se realizará una simulación en el software de ingeniería ANSYS. La simulación se inició preparando el modelo 3D en Solidworks después de haber terminado el ensamble, se determinó evaluar dos configuraciones en base a la cantidad de nodos existentes:

3.9.2. SIMULACIÓN DE IMPRESORA 3D – CONFIGURACIÓN N° 1

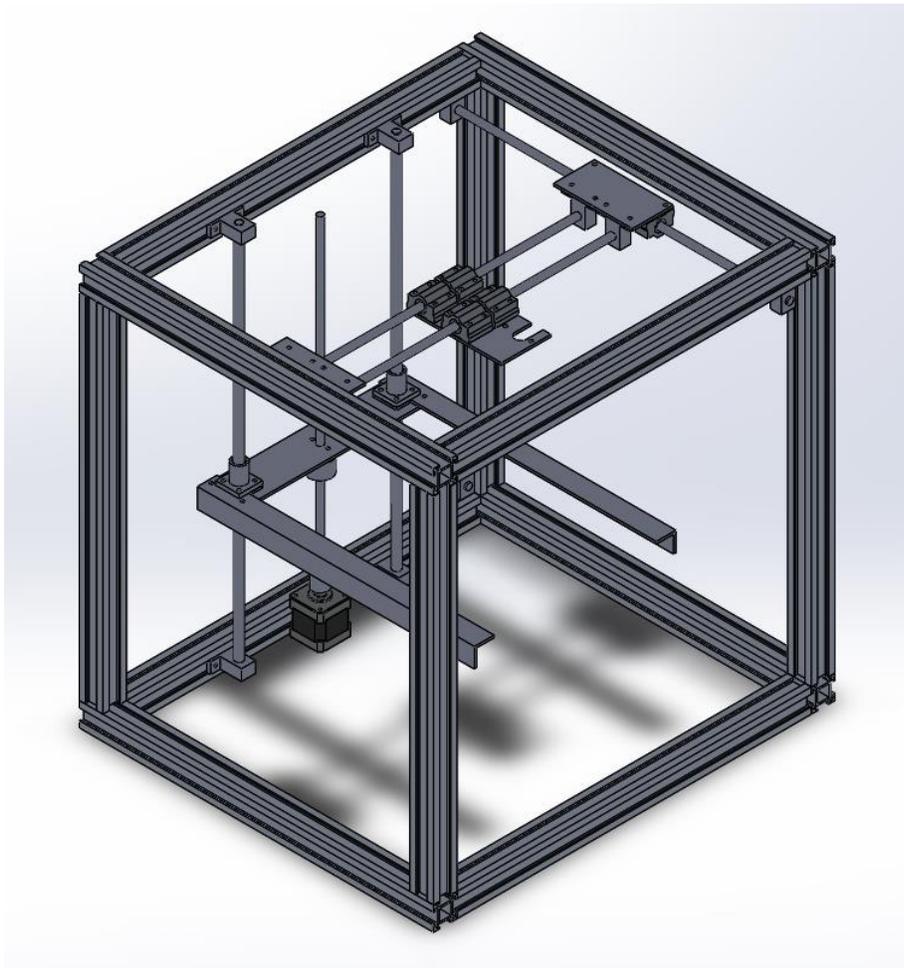


Figura 60: Diseño de impresora 3D en vista isométrica

Fuente: Propia

Para reducir el consumo excesivo de recursos se realizaron optimizaciones de geometría las cuales se describen en las líneas siguientes:

1. Se eliminó todas las roscas, pues durante el mallado se generarán demasiados elementos de pequeña geometría.
2. Se eliminaron elementos innecesarios en el análisis estructural de la impresora 3D y se sustituyeron por una fuerza con el valor de su peso en la simulación.

- **ASIGNACIÓN DEL MATERIAL**

EL material empleado se tomó de la librería de material de ANSYS, donde las propiedades se muestran en la Figura 58.

The screenshot shows the ANSYS Engineering Data interface. The top section, 'Outline of Schematic A2: Engineering Data', lists materials. Row 3 is 'Aluminum Alloy' with a description: 'General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.' Row 4 is 'Structural Steel' with a description: 'Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1'.

The bottom section, 'Properties of Outline Row 3: Aluminum Alloy', displays the material's properties in a table:

Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	2770	kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's Modulu...	
Young's Modulus	71000	MPa
Poisson's Ratio	0.33	
Bulk Modulus	6.9608E+10	Pa
Shear Modulus	2.6692E+10	Pa
S-N Curve	Tabular	
Interpolation	Semi-Log	
Scale	1	
Offset	0	Pa
Tensile Yield Strength	280	MPa
Compressive Yield Strength	280	MPa
Tensile Ultimate Strength	310	MPa
Compressive Ultimate Strength	0	MPa

Figura 61. Ventana de asignación de material en ANSYS

Fuente: Propia

- **ASIGNACIÓN DE CARGAS**

La aplicación de cargas y restricciones se pueden en la Figura 59. Las regiones resaltadas en rojo son las áreas donde se aplican el peso del extrusor (Identificado con la letra B), el peso de la plancha de impresión (Identificado con la letra C) y el peso del material de impresión (Identificado con la letra D). El peso del material se consideró como 1 Kg por ser el valor que posee un carrete de filamento para impresoras 3D, de esta manera para análisis se está considerando que existe una pieza impresa en la plancha de impresión como la condición más crítica de operación.

El peso del resto de componentes no se incluye pues ANSYS calcula el peso para cada objeto que posee masa en el modelo cuando se incluye la opción “Standard Earth Gravity” (Identificado con la letra E)

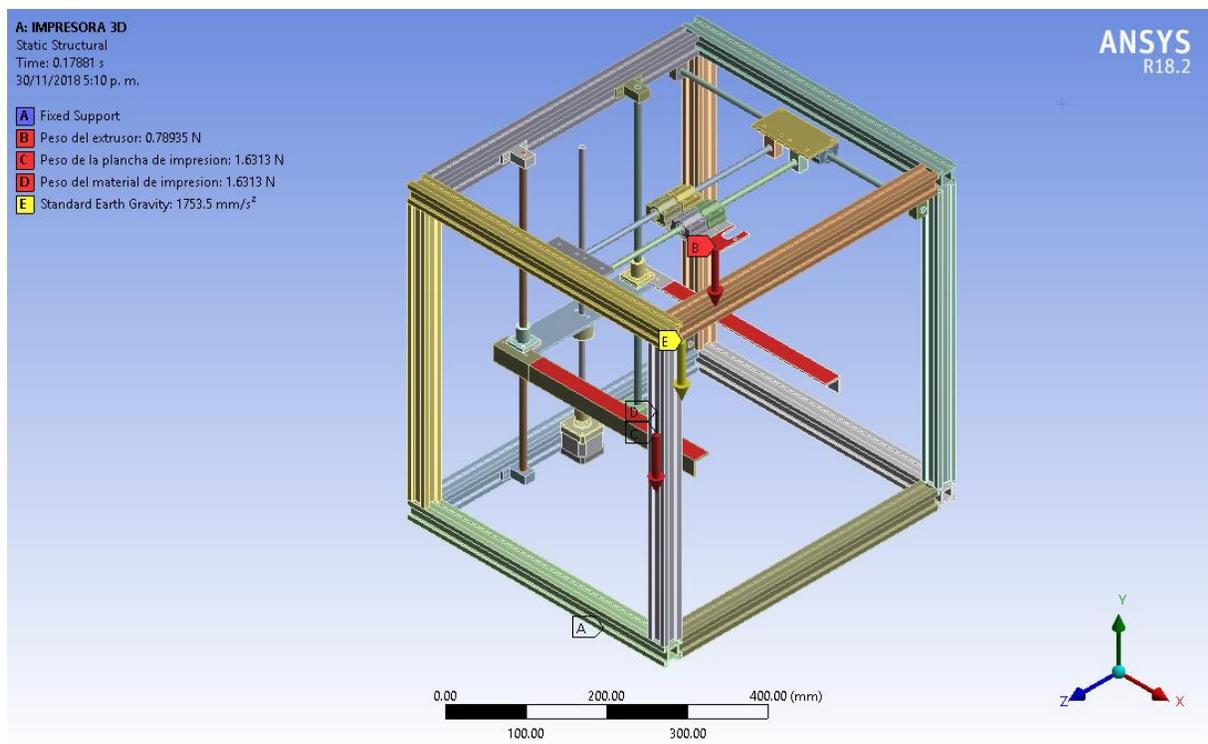


Figura 62: Cargas asignadas al modelo 3D

Fuente: Propia

- **MALLADO**

Se realizó un mallado aplicando un “body sizing” de 10 mm y un método de mallado “method” del tipo “multizone” a los ejes para que ANSYS determine automáticamente las regiones que requieren un mallado óptimo para esos elementos, en total la cantidad de nodos existentes después del mallado es 186469. En la Figura 60 se muestra el mallado del modelo 3D.

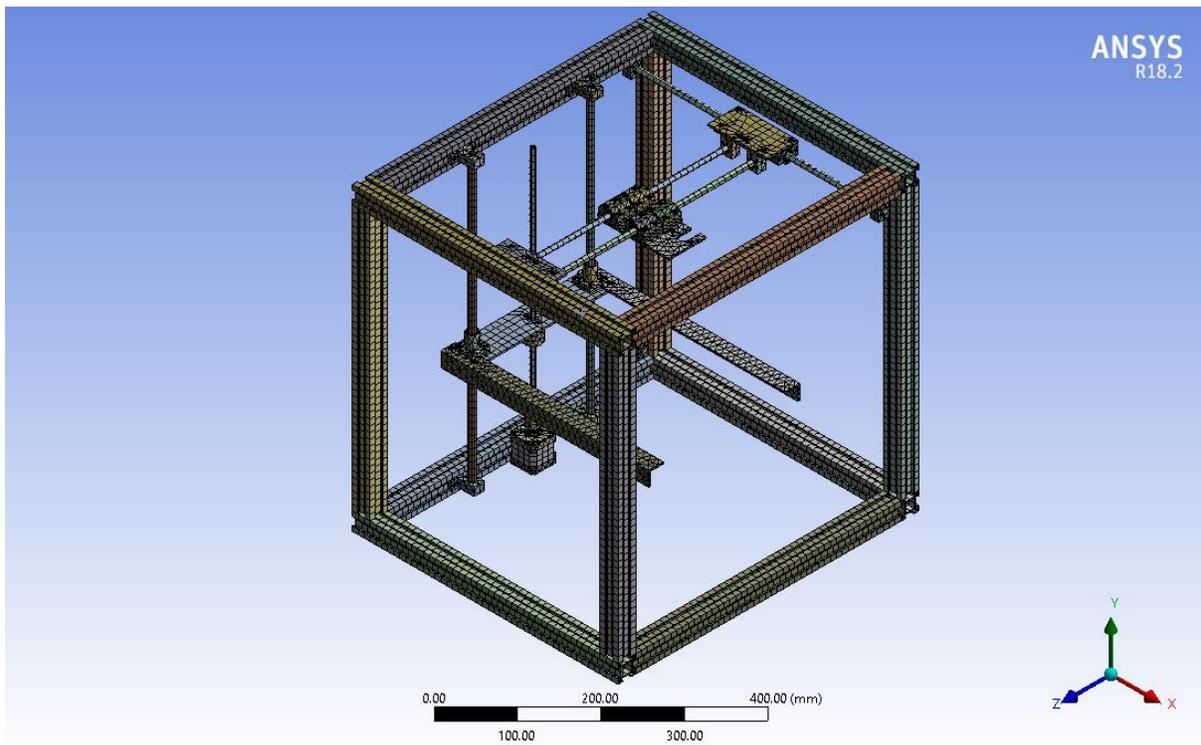


Figura 63: Mallado del modelo 3D

Fuente: Propia

Para reducir el consumo excesivo de recursos se realizaron optimizaciones de geometría las cuales se describen en las líneas siguientes:

1. Se eliminó todas las roscas, pues durante el mallado se generarán demasiados elementos de pequeña geometría.
2. Se eliminaron elementos innecesarios en el análisis estructural de la impresora 3D y se sustituyeron por una fuerza con el valor de su peso en la simulación.

- **ASIGNACIÓN DEL MATERIAL**

EL material empleado se tomó de la librería de material de ANSYS, donde las propiedades se muestran en la Figura 62.

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Aluminum Alloy				General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
4	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1

Properties of Outline Row 3: Aluminum Alloy					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	2770	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulu...			
8	Young's Modulus	71000	MPa		
9	Poisson's Ratio	0.33			
10	Bulk Modulus	6.9608E+10	Pa		
11	Shear Modulus	2.6692E+10	Pa		
12	S-N Curve	Tabular			
13	Interpolation	Semi-Log			
14	Scale	1			
15	Offset	0	Pa		
16	Tensile Yield Strength	280	MPa		
17	Compressive Yield Strength	280	MPa		
18	Tensile Ultimate Strength	310	MPa		
19	Compressive Ultimate Strength	0	MPa		

Figura 65. Ventana de asignación de material en ANSYS

Fuente: Propia

- **ASIGNACIÓN DE CARGAS**

La aplicación de cargas y restricciones se pueden ver en la Figura 63. Las regiones resaltadas en rojo son las áreas donde se aplican el peso del extrusor (Identificado con la letra B), el peso de la plancha de impresión (Identificado con la letra C) y el peso del material de impresión (Identificado con la letra D). El peso del material se consideró como 1 Kg por ser el valor que posee un carrete de filamento para impresoras 3D, de esta manera para análisis se está considerando que existe una pieza impresa en la plancha de impresión como la condición más crítica de operación.

El peso del resto de componentes no se incluye pues ANSYS calcula el peso para cada objeto que posee masa en el modelo cuando se incluye la opción “Standard Earth Gravity” (Identificado con la letra E)

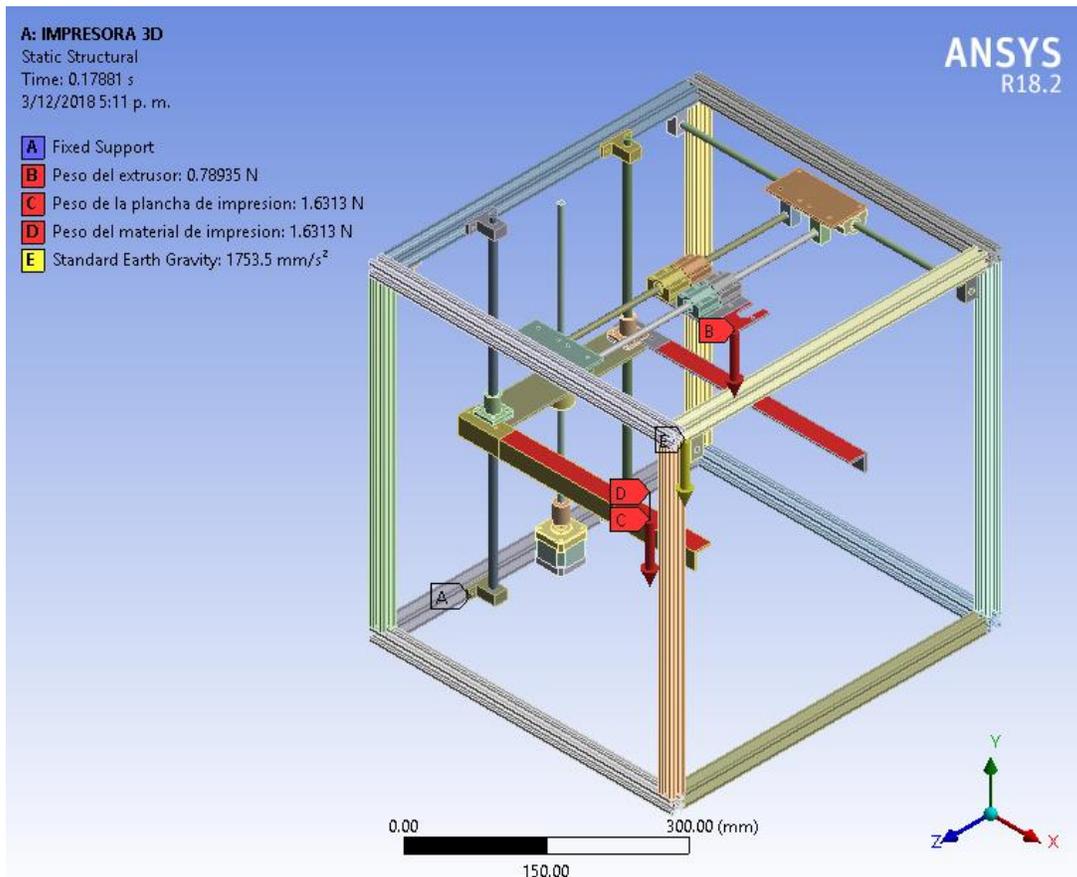


Figura 66. Cargas asignadas al modelo 3D

Fuente: Propia

- **MALLADO**

Se realizó un mallado aplicando un “body sizing” de 10 mm y un método de mallado “method” del tipo “multizone” a los ejes para que ANSYS determine automáticamente las regiones que requieren un mallado óptimo para esos elementos, en total la cantidad de nodos existentes después del mallado es 225877. En la Figura 64 se muestra el mallado del modelo 3D.

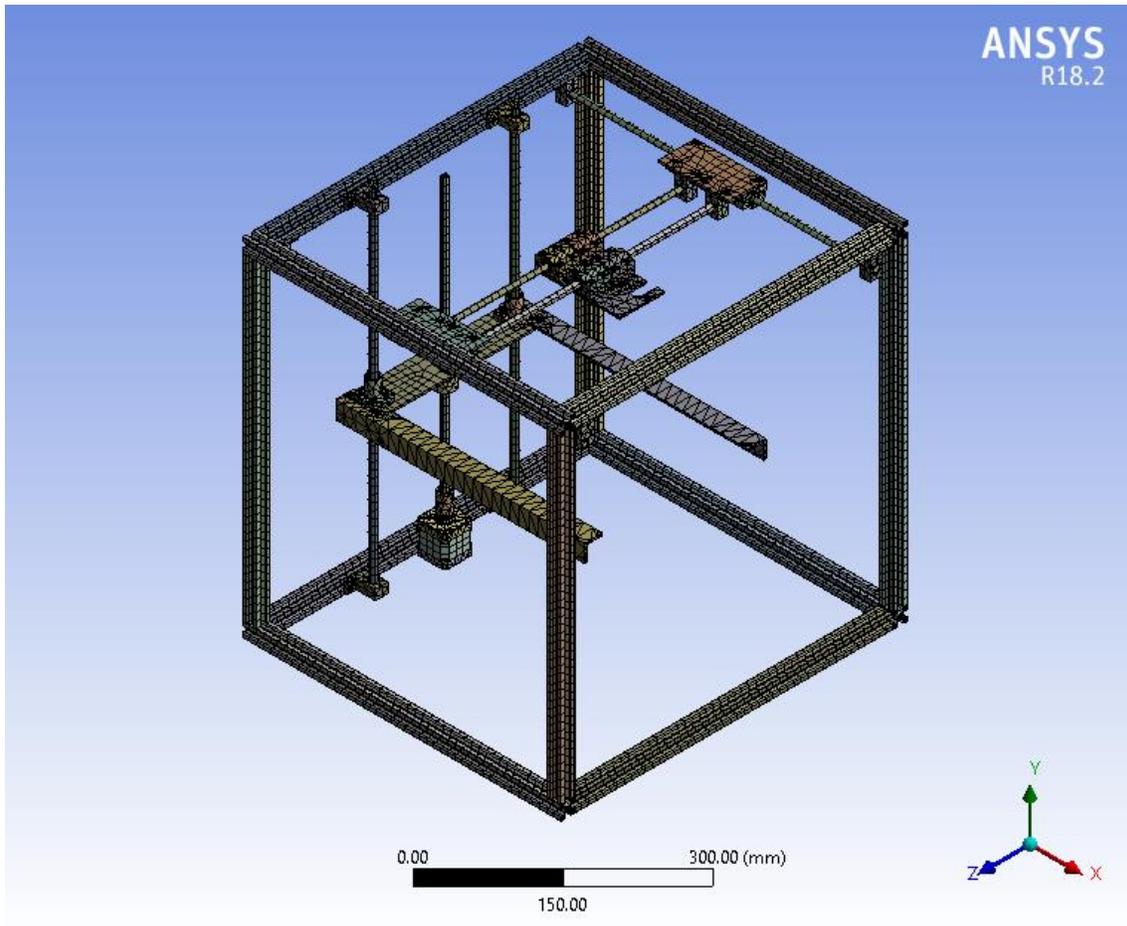
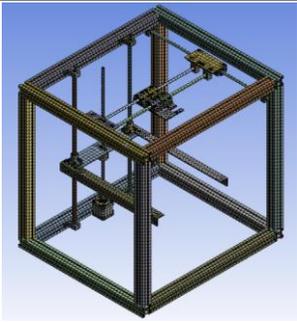
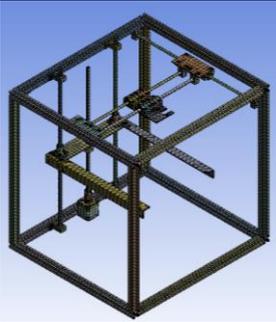
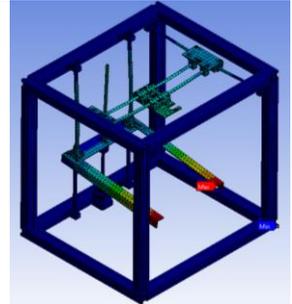
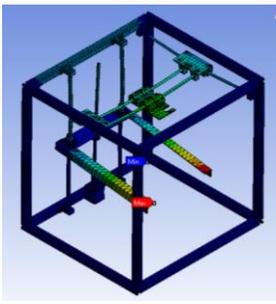
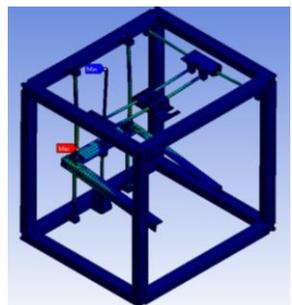
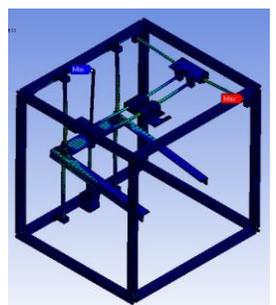
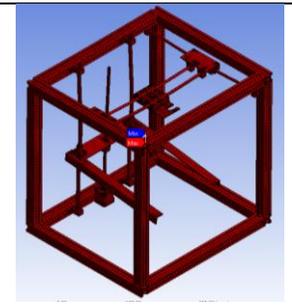
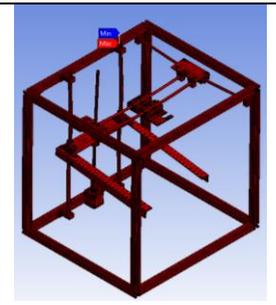


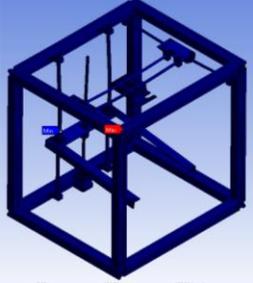
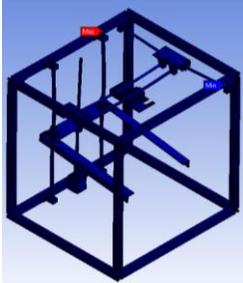
Figura 67. Mallado del modelo 3D

Fuente: Propia

3.10. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE SIMULACIÓN DE LAS CONFIGURACIONES

TABLA 14: ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

RESULTADO	CONF 1	CONF 2	
MALLADO			<p>CONF 1: 186469 nodos</p> <p>CONF 2: 225877 nodos</p>
ANÁLISIS ESTÁTICO			<p>CONF 1: Def. Total: 0.3305 mm</p> <p>CONF 2: Def. Total: 0.3074 mm</p>
			<p>CONF 1: Esf. Von Mises: 10.933 MPa</p> <p>CONF 2: Esf. Von Mises: 13.269 MPa</p>
			<p>CONF 1: Factor de Seguridad: > 15</p> <p>CONF 2: Factor de Seguridad: > 15</p>

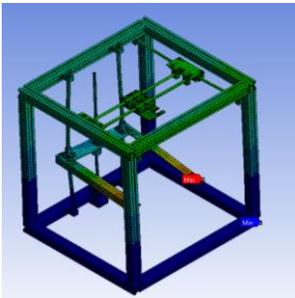
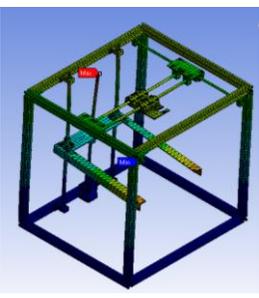
ANÁLISIS DE FATIGA			<p>CONF 1: Fac. de Seguridad: 7.8841</p> <p>CONF 2: Fac. de Seguridad: 6.4964</p>
--------------------	---	--	---

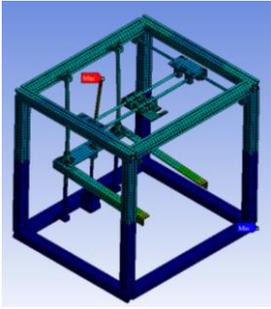
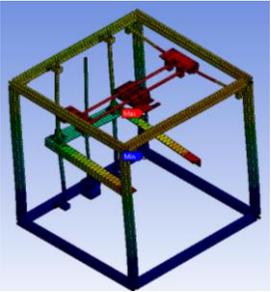
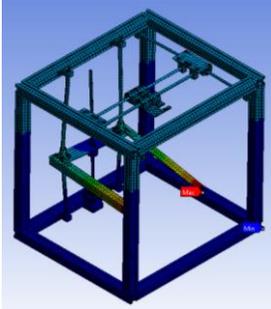
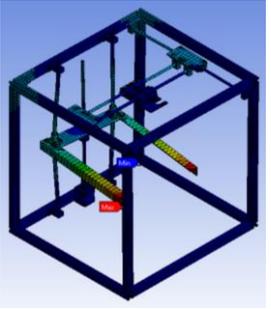
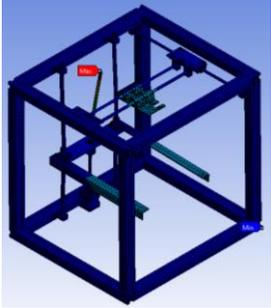
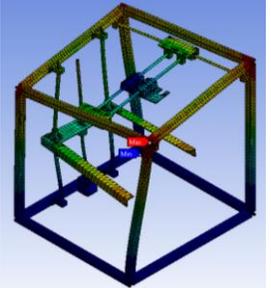
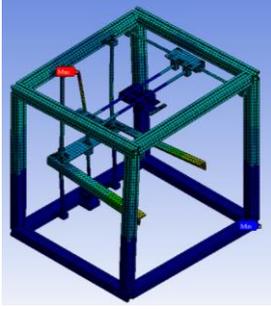
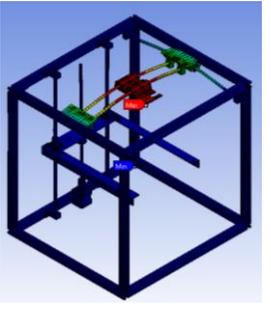
Se puede observar que los esfuerzos son mayores en la configuración N° 2 por lo tanto el factor de seguridad es inferior y es más notorio en el análisis en fatiga. Esto demuestra que la configuración N° 1 es más fiable a los esfuerzos de fatiga.

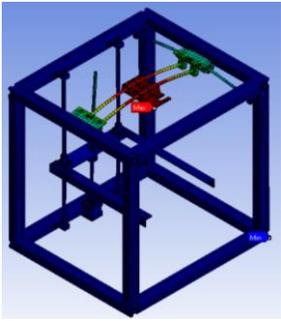
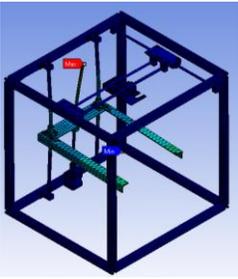
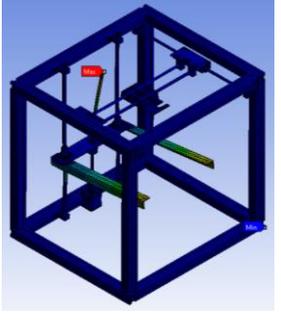
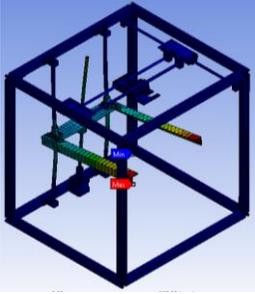
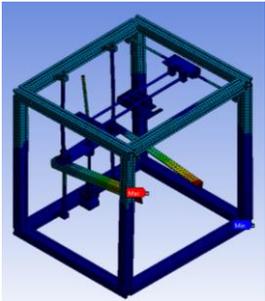
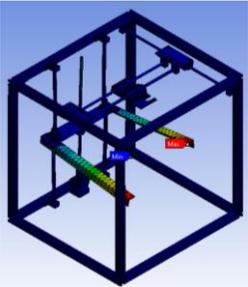
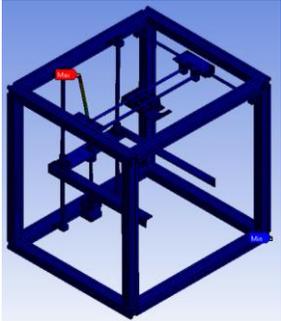
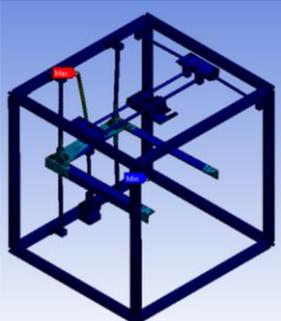
3.10.1. ANÁLISIS MODAL

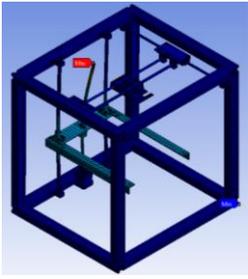
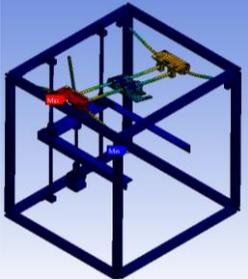
Del análisis modal se puede observar que la configuración N° 2 es más propensa a entrar en resonancia debido a que su primer modo de vibración se da a una frecuencia de 37.775 Hz que es más bajo que en la configuración N° 1 donde la frecuencia es de 46.506. Esto muestra que en comparación la configuración N° 1 es más estable, por lo cual se tomará tal configuración para el diseño de la impresora 3D.

TABLA 15: MODOS DE VIBRACION

RESULTADO	CONF 1	CONF 2	
1 ° Modo de vibración			<p>CONF 1: Frecuencia: 46.506 Hz</p> <p>CONF 2: Frecuencia: 37.775 Hz</p>

<p>2 ° Modo de vibración</p>			<p>CONF 1: Frecuencia: 47.91 Hz</p> <p>CONF 2: Frecuencia: 38.805 Hz</p>
<p>3 ° Modo de vibración</p>			<p>CONF 1: Frecuencia: 52.029 Hz</p> <p>CONF 2: Frecuencia: 52.251 Hz</p>
<p>4 ° Modo de vibración</p>			<p>CONF 1: Frecuencia: 67.079 Hz</p> <p>CONF 2: Frecuencia: 54.76 Hz</p>
<p>5 ° Modo de vibración</p>			<p>CONF 1: Frecuencia: 70.145 Hz</p> <p>CONF 2: Frecuencia: 56.846 Hz</p>

<p>6 ° Modo de vibración</p>			<p>CONF 1: Frecuencia: 71.854 Hz</p> <p>CONF 2: Frecuencia: 71.701 Hz</p>
<p>7 ° Modo de vibración</p>			<p>CONF 1: Frecuencia: 75.952 Hz</p> <p>CONF 2: Frecuencia: 76.486 Hz</p>
<p>8 ° Modo de vibración</p>			<p>CONF 1: Frecuencia: 76.735 Hz</p> <p>CONF 2: Frecuencia: 76.81 Hz</p>
<p>9 ° Modo de vibración</p>			<p>CONF 1: Frecuencia: 79.212 Hz</p> <p>CONF 2: Frecuencia: 89.465 Hz</p>

10 ° Modo de vibración			CONF 1: Frecuencia: 91.743 Hz CONF 2: Frecuencia: 99.826 Hz
------------------------	---	--	--

3.10.2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

DISEÑO PARAMÉTRICO DE LA ESTRUCTURA DE LA IMPRESORA 3D EN ANSYS

A. Análisis Estático

En el diseño paramétrico se utilizó la caja negra de la Figura 65 y los datos que se muestran en la Tabla 16. Para la parametrización se tomaron la variable de diseño: Tamaño del perfil (m^2) mientras que las variables de solución fueron: el esfuerzo de Von Mises (σ'), el factor de seguridad en carga estática (FS) y la deformación absoluta (mm).

Las soluciones de las simulaciones permitieron conocer los esfuerzos, las deformaciones del sistema y el factor de seguridad en carga estática de toda la máquina; para la validación y verificación del análisis. En la Tabla 17 se muestra el diseño paramétrico a través de las simulaciones de la estructura para cada perfil empleado.

TABLA 16. DATOS PARA EL DISEÑO PARAMÉTRICO DE LA ESTRUCTURA DE LA IMPRESORA 3D - ESTÁTICO

Fuente: Elaboración Propia

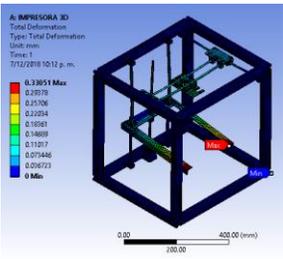
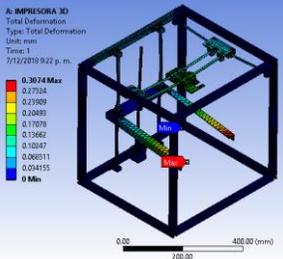
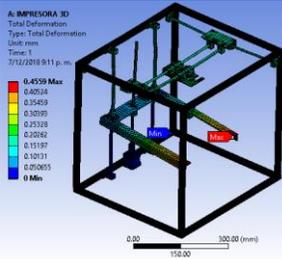
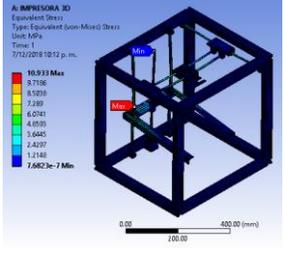
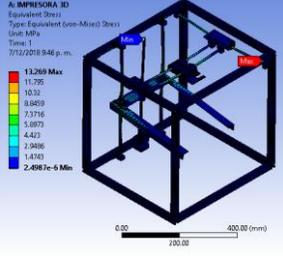
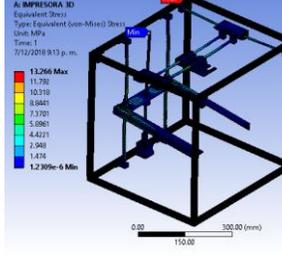
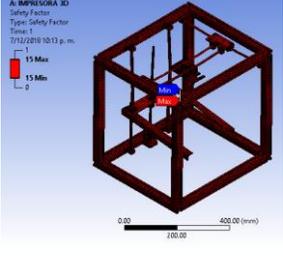
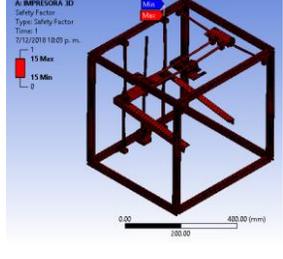
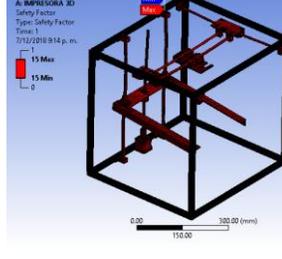
	NOMBRE	UNIDAD	VALOR/RANGO
--	--------	--------	-------------

Parámetros de definición del problema	Peso del material impreso (W_m)	N	1 Kg
	Peso del extrusor (W_{ex})	N	0.96 Kg
	Resistencia del material	Sy	215 MPa
Variables de diseño	Tamaño del perfil (A)	m ²	15x15 mm 20x20 mm 30x30 mm
Variables de solución	Esfuerzo de Von Mises (σ')	MPa	A determinar
	Factor de Seguridad en Esfuerzo (FS_σ)	Adim	A determinar
	Deformación (δ)	mm	A determinar
	Factor de Seguridad en Deformación (FS_δ)	Adim	A determinar

TABLA 17. MATRIZ PARAMÉTRICA PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA DE LA IMPRESORA 3D EN CARGA ESTÁTICA

Fuente: Elaboración Propia

	Perfil de aluminio 30X30 mm	Perfil de aluminio 20X20 mm	Perfil de aluminio 15X15 mm
--	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

<p>Deformación total</p>			
<p>Esfuerzo de Von Mises</p>			
<p>Factor de Seguridad en carga estática</p>			

B. ANÁLISIS EN FATIGA

Para el análisis en fatiga se utilizó la caja negra de la Figura 66 y los datos que se muestran en la Tabla 18. Para la parametrización se tomó como variable de diseño el tamaño del perfil (m^2), mientras que las variables de solución fueron: el factor de seguridad en fatiga (FS) y la vida hasta la falla (ciclos).

En la Tabla 19 se muestra a través de las simulaciones de la estructura para cada perfil empleado los valores resultantes.

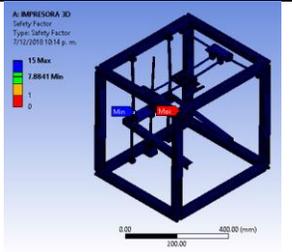
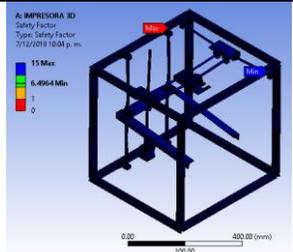
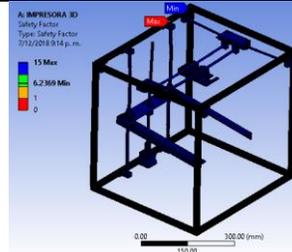
TABLA 18. DATOS PARA EL DISEÑO PARAMÉTRICO DE LA ESTRUCTURA DE LA IMPRESORA 3D - FATIGA

Fuente: Elaboración Propia

	NOMBRE	UNIDAD	VALOR/RANGO
Parámetros de definición del problema	Peso del material impreso (W_m)	N	1 Kg
	Peso del extrusor (W_{ex})	N	0.96 Kg
	Resistencia del material	Sy	215 MPa
Variables de diseño	Tamaño del perfil (A)	m ²	15x15 mm 20x20 mm 30x30 mm
Variables de solución	Vida de la Estructura	Ciclos	A determinar
	Factor de Seguridad en Fatiga (FS_f)	Adim	A determinar

TABLA 19. MATRIZ PARAMÉTRICA PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA DE LA IMPRESORA 3D EN FATIGA

Fuente: Elaboración Propia

	Perfil de aluminio 30X30 mm	Perfil de aluminio 20X20 mm	Perfil de aluminio 15X15 mm
Factor de Seguridad en fatiga			
Ciclos hasta la falla			

C. ANÁLISIS MODAL

En el análisis modal igualmente se usó una caja negra la cual se puede ver en la Figura 67 y adicionalmente los datos que se muestran en la Tabla 20. Para la parametrización se tomó como variable de diseño el tamaño del perfil (m^2), mientras que las variables de solución fueron: la frecuencia natural (ω_n) y la deformación absoluta (mm).

TABLA 20. DATOS PARA EL DISEÑO PARAMÉTRICO DE LA ESTRUCTURA DE LA IMPRESORA 3D - MODAL

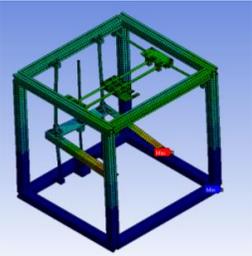
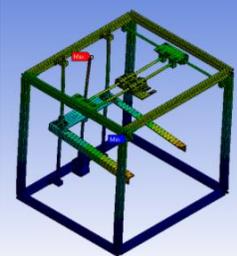
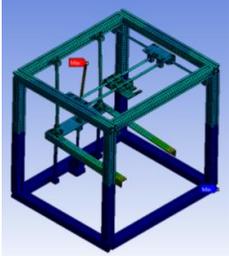
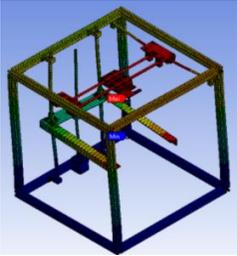
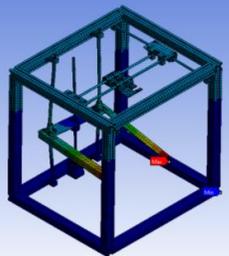
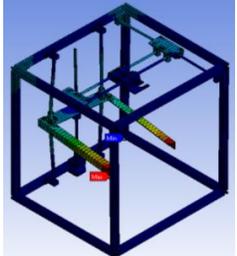
Fuente: Elaboración Propia

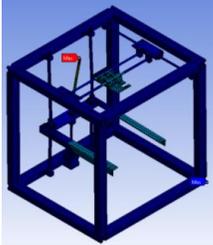
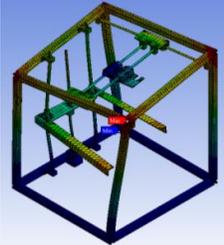
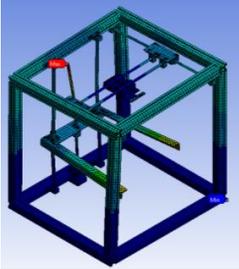
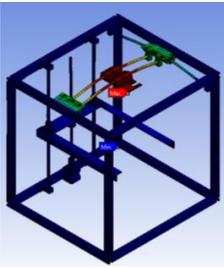
	NOMBRE	UNIDAD	VALOR/RANGO
Parámetros de definición del problema	Peso del material impreso (W_m)	N	1 Kg
	Peso del extrusor (W_{ex})	N	0.96 Kg
	Resistencia del material	Sy	215 MPa
VARIABLES DE DISEÑO	Tamaño del perfil (A)	m^2	15x15 mm 20x20 mm 30x30 mm
VARIABLES DE SOLUCIÓN	Vida de la Estructura	Ciclos	A determinar
	Factor de Seguridad en Fatiga (FS_f)	Adim	A determinar

En la Tabla 21 se muestra a través de las simulaciones de la estructura para cada perfil empleado los valores resultantes de las frecuencias naturales y las deformaciones máximas.

TABLA 21: MATRIZ PARAMÉTRICA PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA DE LA IMPRESORA 3D CON ANÁLISIS MODAL

Fuente: Elaboración Propia

	Perfil de aluminio 30X30 mm	Perfil de aluminio 20X20 mm	Perfil de aluminio 15X15 mm
1 ° Modo de vibración			
	ω_n : 46.506 Hz	ω_n : 37.775 Hz	ω_n : Hz
2 ° Modo de vibración			
	ω_n : 47.91 Hz	ω_n : 38.805 Hz	ω_n : Hz
3 ° Modo de vibración			
	ω_n : 52.029 Hz	ω_n : 52.251 Hz	ω_n : Hz

4 ° Modo de vibración			
	ω_n : 67.079Hz	ω_n : 54.76 Hz	ω_n : Hz
5 ° Modo de vibración			
	ω_n : 70.145 Hz	ω_n : 56.846 Hz	ω_n : Hz

DISEÑO PARAMÉTRICO PARA LA SELECCIÓN DE DIÁMETRO DE BOQUILLA

En base a la caja de negra del extrusor de la Figura No. 37 se estableció la siguiente Tabla de variables (Tabla No. 2) para el diseño paramétrico y posterior selección del extrusor.

Tabla No. 21. Datos para el Diseño Paramétrico del Extrusor de la Impresora 3D

Fuente: Elaboración Propia

	NOMBRE	UNIDAD	VALOR/RANGO
Parámetros de definición del problema	Material del Extrusor	-	Acero
	Diámetro del filamento a la entrada (d1)	mm	1.75 mm

Variables de diseño	Velocidad de entrada del filamento (V)	mm/s	0.05, 0.10, 0.015 0.20, 0.025, 0.030
	Diámetro de la boquilla de Salida, (d2)	mm	0.3 - 0.6
	Temperatura del Calentador (Tf)	°C	180, 200, 220, 250
Variables de solución	Costo de la Energía Eléctrica (Cee)	S/.	A determinar
	Potencia del Motor, (Pm)	Adim	A determinar

Se elaboró un programa Matlab con las variables y rangos indicados cuyos resultados se muestran en las Figuras No. 68 a la 71. En estas graficas se puede apreciar que como era de esperarse el incremento en la temperatura del extrusor incrementa la potencia requerida (Pme) y el costo del consumo eléctrico (Cee). Lo mismo pasa con la velocidad de entrada de filamento (V) debido a que, a mayor velocidad de entrada, mayor velocidad de extrusión y de salida de filamento es necesario un motor más potente y una temperatura mayor En estas graficas se puede apreciar que como era de esperarse el incremento en la temperatura del extrusor incrementa la potencia requerida (Pme) y el costo del consumo eléctrico (Cee). Lo mismo pasa con la velocidad de entrada de filamento (V) debido a que, a mayor velocidad de entrada, mayor velocidad de extrusión y de salida de filamento es necesario un motor más potente y una temperatura mayor. Esto último es muy importante puesto que el diámetro de la boquilla del extrusor determinara en gran medida la resolución de la pieza impresa. Esto es, a menor diámetro de boquilla mayor resolución. La resolución me indica cuan finos detalles se pueden realizar en la pieza impresa.

La clave del diseño en este caso es escoger un diámetro de boquilla comercial que permita una resolución aceptable. Según el catalogo del fabricante (ver Anexo No. 5) el diámetro de

la boquilla del extrusor varía entre 0.15 mm y 0.5 mm con intervalos de 0.05mm. El diámetro del filamento de PLA comercial d_1 es de 1.75 mm (ver Anexo No. 6). Debido a disponibilidad de equipos en los proveedores se escoge un diámetro de boquilla $d_2 = 0.4$ mm (común y comercial). Además, se realiza una estimación de esta velocidad considerando los valores mencionados en este párrafo. De este cálculo se desprende que la velocidad $V = 2.22$ mm/s = 0.0222 m/s. Con esta velocidad, el diámetro de boquilla indicado y una temperatura de $T_f = 220^\circ\text{C}$ se obtiene una potencia consumida de 0.2372 W y costo por segundo de S/.0.1287

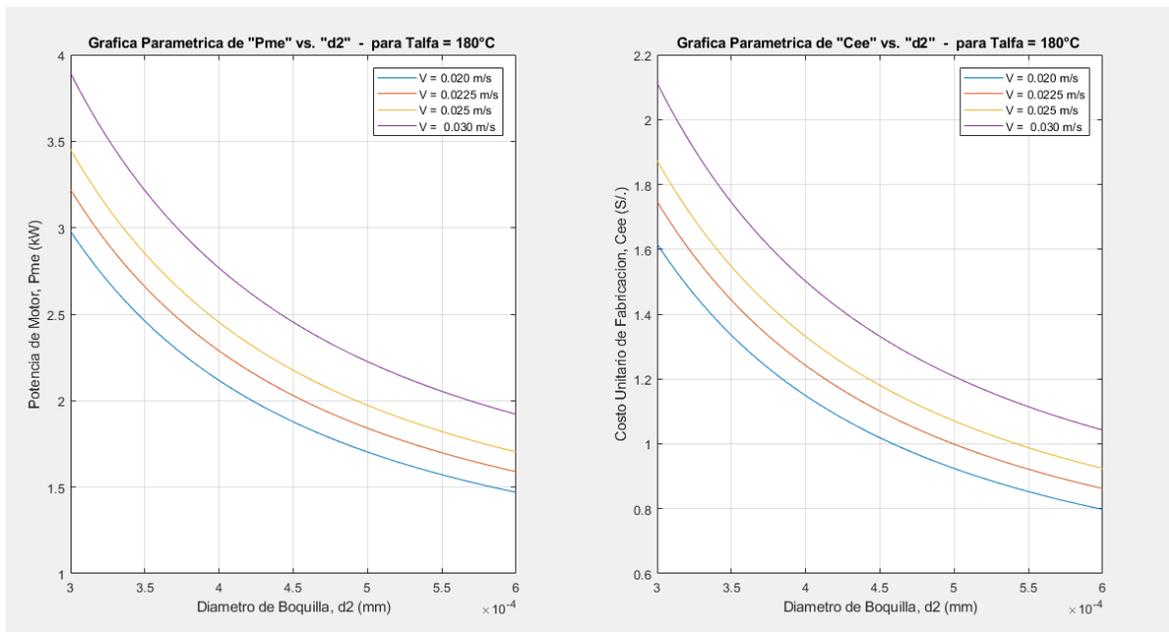


Figura N° 68: Graficas paramétricas para el análisis y selección del extrusor – $T_f = 180^\circ\text{C}$

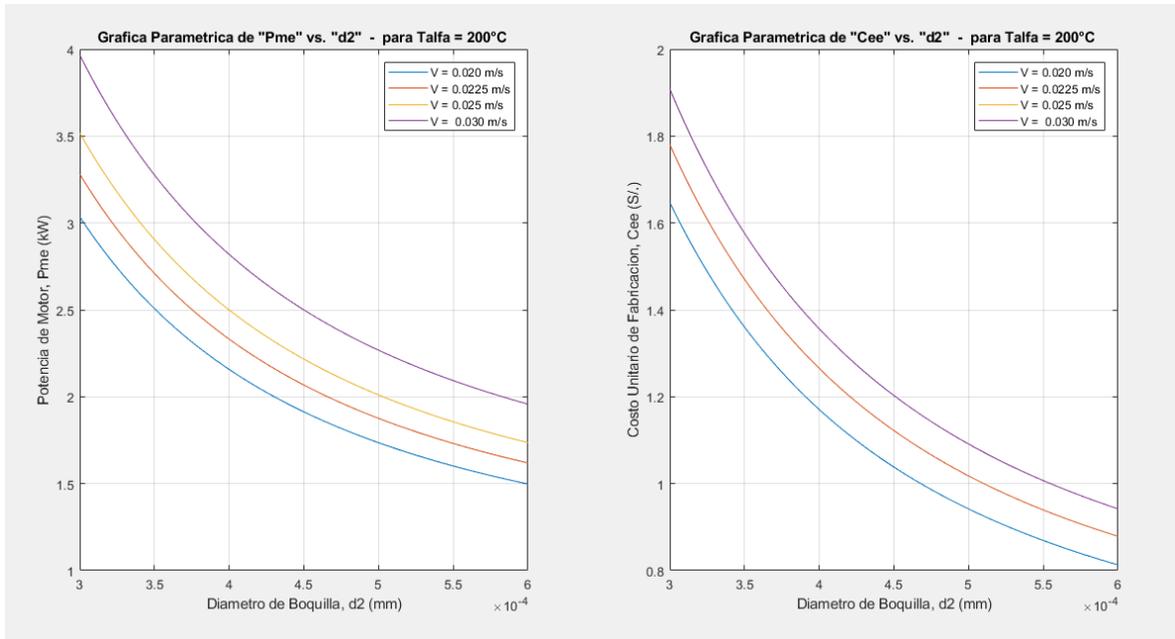


Figura N° 69: Graficas paramétricas para el análisis y selección del extrusor – Tf = 200°C

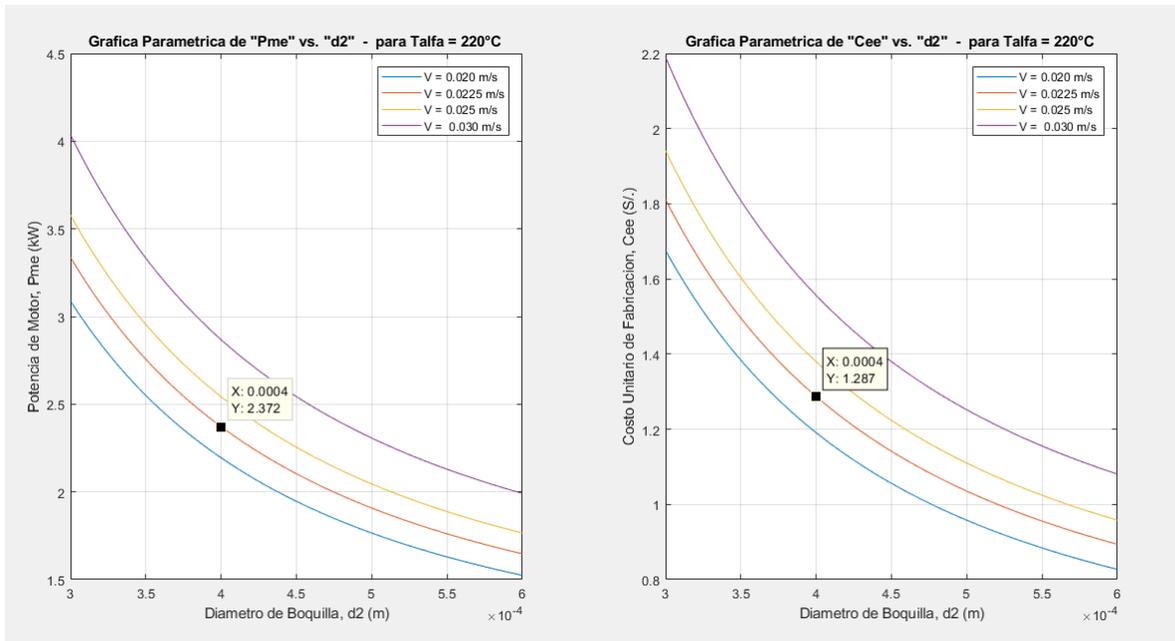


Figura N° 70: Graficas paramétricas para el análisis y selección del extrusor – Tf = 220°C

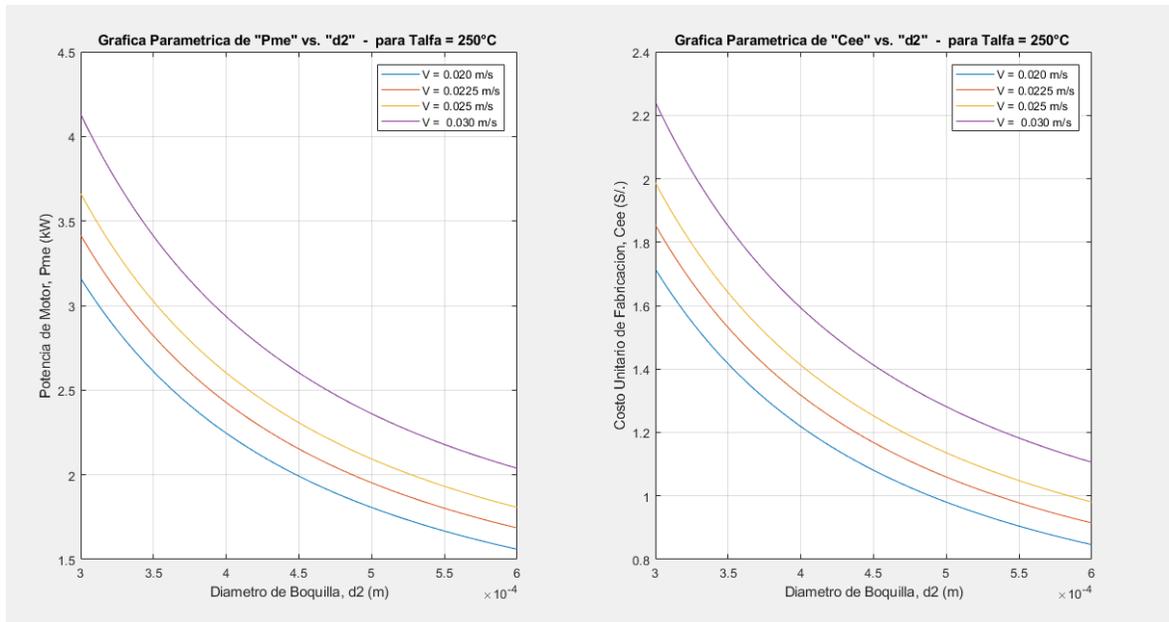


Figura N° 71: Gráficas paramétricas para el análisis y selección del extrusor – Tf = 250°C

SELECCIÓN DE MATERIAL PARA LA ESTRUCTURA Y LOS ACCESORIOS DE LA IMPRESORA 3D DE CABEZALES INTERCAMBIABLES:

A. MATERIAL PARA LA ESTRUCTURA DE LA IMPRESORA:

La selección del material para la fabricación de la estructura de la máquina es un aspecto principal que se debe definir en un primer instante. Con frecuencia la decisión se toma antes de disponer las dimensiones de la impresora 3D. Luego se define el material y finalmente el proceso para su construcción respectiva de acuerdo a la geometría requerida por la empresa.

Los principales estudios realizados a las partes mecánicas son los análisis de deflexión y el esfuerzo, ya que la elección de un material mayormente se basa en muchos aspectos. Algunas partes no tienen carga alguna en ningún momento, sólo están presentes por arquitectura, acabado o estética. Además, se debe tener en cuenta que los componentes están dispuestos a la intemperie y deben resistir la corrosión.

La elección del material para construir el diseño de la estructura de la máquina por presentar fuerzas y momentos generados por los motores NEMA 17, se realizará la selección de una

aleación de aluminio de tubo cuadrado de perfil código N° 042205. Esta aleación presenta resistencia a la corrosión, ya que presenta una capa de protección artificial llamada alúmina, generada a través de un proceso electrolítico de pasivación. Además, es mucho más económico de los demás materiales.

3.11. ACCESORIOS DE LA IMPRESORA 3D DE CABEZALES INTERCAMBIABLES:

1. ACOPLER FLEXIBLES DE ALUMINIO DE 5 – 8 MM

Este acople es de aluminio maquinado, presente un ranurado helicoidal y tornillos hexagonales para su ajuste con los ejes. Son muy utilizados en sistemas CNC, impresoras 3D, fajas transportadoras, entre otros.

Los ejes de diámetro de 5mm son muy comunes en motores paso a paso NEMA 17. Los ejes de 8 mm de diámetro son el estándar en tornillos de potencia en impresoras 3D y máquinas CNC



Figura 72: Acople flexible de aluminio
Fuente: ELECTRONICS ECUADOR

2. TORNILLO DE POTENCIA THSL – 500 – 8D:

Los tornillos de potencia o también llamados husillos de tipo trapezoidal métrico son utilizados en sistemas de transmisión de movimiento rotacional a lineal. Cuando el tornillo gira impulsado por un motor, la tuerza se desplaza linealmente sobre el tornillo.

Está fabricado en acero inoxidable y con un acabado superficial especial para una menor fricción al movimiento hacen de este tornillo un componente adecuado para sistemas CNC, impresoras 3D y aplicaciones de movimiento lineal.



Figura 73: Tornillo de potencia THSL-500-8D
Fuente: ELECTRONICS ECUADOR

3. RODAMIENTO LINEAL CON SOPORTE SC8UU:

Este rodamiento es ideal para ser usado en plataformas deslizantes movidas por motores paso a paso. Se deslizan sobre ejes del mismo diámetro. Muy común en sistemas CNC como impresoras 3D. Incluye soporte para acoplar rápidamente a la estructura.



Figura 74: Rodamiento lineal con soporte SC8UU
Fuente: ELECTRONICS ECUADOR

4. SOPORTE GUÍA LINEAL CIRCULAR 8MM SK8:

Soporte para grúas lineales de 8mm de diámetro. Estos soportes se sujetan a una superficie paralela al eje guía utilizando dos tornillos M5. Para sujetar la guía lineal se utiliza un tornillo M4.

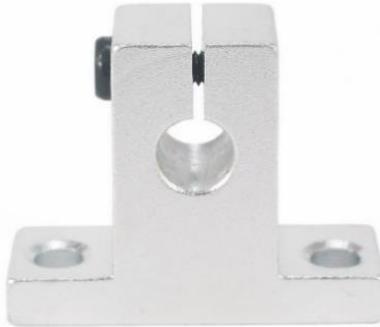


Figura 75: Soporte guía lineal circular 8mm
Fuente: NAYLAMP

5. CORREA DENTADA GT2:

Esta correa es especial para aplicaciones de movimiento lineal como impresión 3D y sistemas CNC, pues la forma redondeada de su diente evita que haya deslizamiento que cause backlash (un retroceso repentino y contundente). El movimiento es suave y preciso, lo que permite obtener una mejor calidad de impresión.



Figura 76: Correa dentada GT2
Fuente: NAYLAMP

6. POLEA DENTADA GT2:

Estas poleas son especiales para aplicaciones de movimiento lineal como el que se utiliza en las impresoras 3D y los sistemas CNC. Con estas poleas se obtiene una buena precisión en el movimiento, sin el inconveniente del juego por backlash. Este modelo en especial es el recomendado para las impresoras 3D RepRap, su uso ha sido verificados por miles de usuarios alrededor del mundo. Estas poleas están diseñadas para trabajar con motores paso a paso Nema 14 o Nema 17 con un diámetro de eje de 5 mm.



Figura 77: Polea dentada GT2
Fuente: ELECTRONICS ECUADOR

7. POLEA LOCA GT2:

En los sistemas de movimiento lineal impulsados por correas, se tiene en un extremo una polea acoplada al motor de pasos y en el otro extremo es necesario utilizar una polea loca, que gire libremente, pero manteniendo la alineación de la correa. Estas poleas son especiales para aplicaciones de movimiento lineal como el que se utiliza en las impresoras 3D y los sistemas CNC. Con estas poleas se obtiene una buena precisión en el movimiento, sin el inconveniente del juego por Backlash. Este modelo en especial es el recomendado para las impresoras 3D RepRap, su uso ha sido verificados por miles de usuarios alrededor del mundo.



Figura 78: Polea loca GT2
Fuente: ELECTRONICS ECUADOR

8. TARJETA ARDUINO MEGA 2560 R3:

Tarjeta de desarrollo que utiliza el microcontrolador ATmega2560. Mediante esta tarjeta se puede compilar el firmware con los parámetros necesarios de funcionamiento.

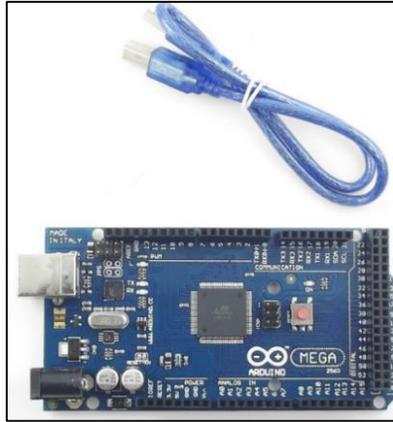


Figura 79: Tarjeta Arduino Mega 2560 R3
Fuente: ELECTRONICS ECUADOR

9. SHIELD RAMPS 1.4:

Diseñado para integrar toda la electrónica necesaria para una impresora 3D en un pequeño tamaño y a un bajo costo. Una pieza imprescindible para la integración de cada elemento asociado al principio de funcionamiento de la impresora 3D.

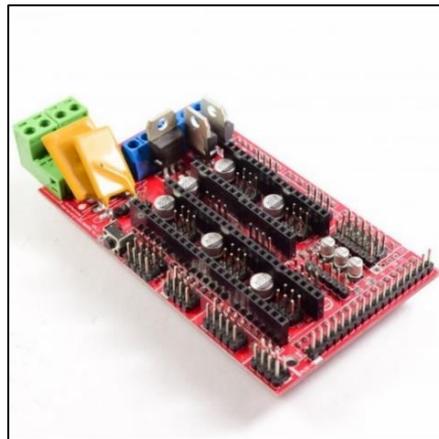


Figura 80: Shield ramps 1.4
Fuente: ELECTRONICS ECUADOR

10. SMART CONTROLLER LCD:

Este controlador con display gráfico nos permite que la impresora 3D trabaje sin la necesidad de estar conectada a una PC. Los archivos a imprimir son almacenados en una tarjeta SD, estos archivos son leídos por el controlador gráfico y enviados a la tarjeta Arduino-Ramps para ser impresos.

El controlador incluye además de la pantalla, un lector de Tarjetas SD, encoder rotatorio y un buzzer. Para conectarlo solo debes usar 2 cables y unir el controlador al shield Ramps. Luego se debe realizar algunas modificaciones al firmware Marlin para configurar adecuadamente el controlador



Figura 81: Smart controller LCD
Fuente: ELECTRONICS ECUADOR

11. DRIVER PAP POLOLU A4988:

Esta placa utiliza el driver Allegro A4988 para motores paso a paso bipolares y es ampliamente utilizada con las distintas placas de control de impresoras 3D como RAMPS, SBOT o similares. Es conocido con el nombre de "Pololus" o "controlador Pololu".

Este driver tiene limitación de corriente ajustable, protección contra sobre corriente y cinco resoluciones diferentes de microstepping. Funciona desde 8V a 35V y puede suministrar 1A por bobina sin usar ventilación forzada o un disipador.

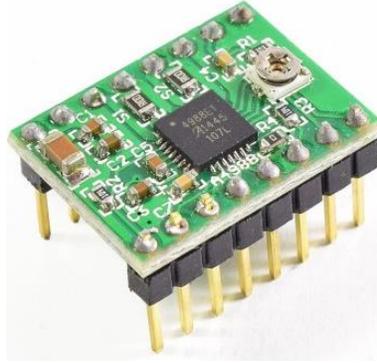


Figura 82: Driver Pap Pololu A4988
Fuente: ELECTRONICS ECUADOR

12. EXTRUSOR BOWDEN MK8:

Todas sus piezas son fabricadas a base de metal, el cuerpo principal y la palanca son de aluminio, este modelo de extrusor se puede alojar en cualquier parte fija de la impresora 3D y disminuir el peso del cabezal de impresión consiguiendo un consumo menor de potencia del motor y una velocidad adecuada de movimiento.

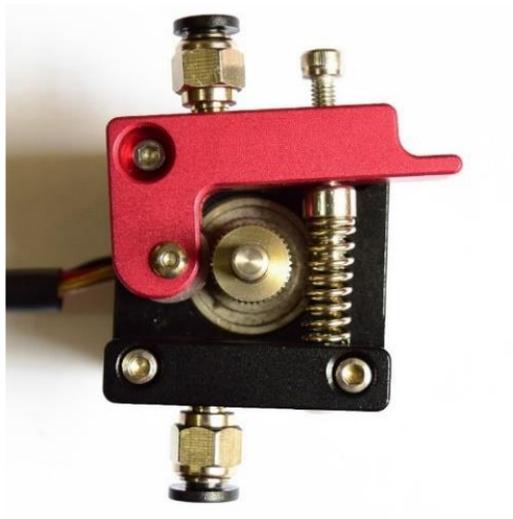


Figura 83: Extrusor bowden MK8
Fuente: NAYLAMP

3.12.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS ESTÁNDAR:

1. MOTOR ELÉCTRICO:

A través de una elección adecuada del motor a usar para el proyecto fijado es conveniente observar ciertos parámetros y criterios para elegir un motor conveniente para impresión 3D. Debido al aumento de potencia requerido para la técnica de prototipado que se va a ejecutar son bajos, de acuerdo a las cargas que maneja, sólo se considerará motores de corriente continua.

1.1. MOTOR NEMA 17 PASO A PASO:

Un motor paso a paso nema 17 es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de 1.8° , Es por eso que ese tipo de motores son muy utilizados, ya que pueden moverse a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un microcontrolador.

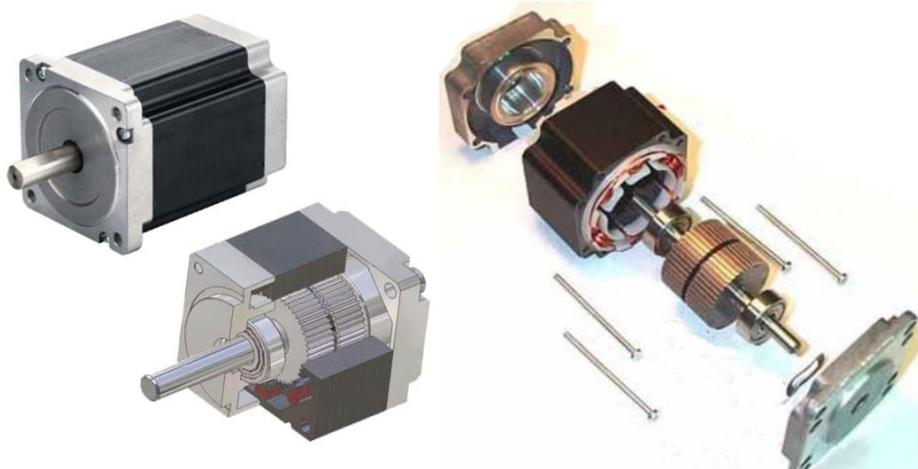


Figura 84: Motor Nema 17 paso a paso
Fuente: ELECTRONICS ECUADOR

3.12. ELABORACIÓN DE LOS PLANOS FINALES DEL PROYECTO

Se elaboraron los planos de la geometría de la impresora 3D de cabezales intercambiables iniciando del boceto N° 2, el cual brindó la configuración óptima para la ubicación de los componentes, de detallan en el Anexo N° 3.

3.13. ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

3.13.1. PRESUPUESTO Y LISTADO DE COMPONENTES

Inversión de activos fijos:

TABLA 22: MATERIALES PARA FABRICACIÓN

N°	ITEM	CANTIDAD	UNIDADES (u) Ó METROS (m)	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO TOTAL S/.
1	Aluminio código N° 042205 30*30 mm	6	m	20	120
2	Soporte de pie lineal – Sk8	8	u	10	80
3	Soporte de pie lineal – Sk10	4	u	12	48
4	BRIDA LINEAL DE BOLAS PARA EJES LKM 10	4	u	26	104

5	RODAMIENTO LINEAL SC8UU	8	u	14	112
6	ACOPLE FLEXIBLE 5MM - 8MM	1	u	10	10
7	TORNILLO TRAPEZOIDAL T8 DE 8MM	1	u	70	70
8	POLEA MOBIL DENTADA	2	u	12	24
9	POLEAS PARA CORREA GT2	2	u	10	20
10	FAJA GT2	4	m	9	36
11	RODAMIENTO RODAJE 8MM	2	u	6	12
12	MOTORES PASO A PASO	3	u	50	150
13	EXTRUSOR MK8 COMPLETO	1	u	150	150
14	RESORTES PARA IMPRESORA	4	u	3	12

15	CAMA CALIENTE DE SILICONA	1	u	70	70
16	CONTROLADOR LCD 12864	1	u	120	120
17	FINAL DE CARRERA MECANICO	3	u	6	18
18	SHIEL RAMPS 1.4	1	u	40	40
19	DRIVER A 4988	5	u	10	50
20	FUENTE DE ALIMENTACION 12V 10A	1	u	55	55
21	CABLE 18	20	m	2.5	50
22	PLANCHA DE ALUMINO 80 *80	1	m	90	90
23	ANGULO DE ALUMINIO	2	m	5	10
24	PERNERIA INOXIDABLE			40	40
24	LÁSER	1	u	110	110
				TOTAL	1601

EGRESOS DE LA EMPRESA POR PARTE DE LA IMPRESORA:

COSTO DE USO DE LA IMPRESORA 3D EN EL RECIBO DE HIDRANDINA:

Ingresar Amperios (A):	2,9	Amp.
Tipo de corriente:	AC	
Numero de fases:	1	
Factor de potencia (0.7-0.8....):	0,7	F.p
Ingresar voltaje L-N (127v, 277v, 110v....)	220	Volt.
Resultado en kW:	0,45	kW

Figura 85: Tabla de cálculo de KW

Al medir la intensidad máxima y mínima a la que trabaja la impresora 3D, obtuvimos los siguientes resultados:

Intensidad máxima (con cama caliente): 2.91 A

Intensidad mínima (sin cama caliente): 0.267

Intensidad promedio: 1.5885 A

Es por ello, que luego hallamos la potencia, evaluando un promedio entre ambas intensidades ya que, durante el tiempo de un minuto, la cama caliente funciona y deja de hacerlo el mismo tiempo respectivamente.

$$P = VI \cos \varphi \quad (28)$$

$$P = 220 \times 1.5885 \times 0.7$$

$$P = 244.63 \text{ w} = 0.24463 \text{ Kw}$$

Sabemos que el costo de energía eléctrica de Hidrandina en la ciudad de Cajamarca es 0.5657 soles por cada Kw-h. A través de las encuestas obtuvimos el promedio de horas de trabajo de la máquina y gracias a ello podemos obtener el costo total al mes por uso de la impresora 3D de cabezales intercambiables, a través de la siguiente ecuación:

Costo diario:

$$C_d = P \times C_{KW} \times T \quad (29)$$

$$C_d = 0.24463KW \times 0.5657 \frac{S/.}{KW - h} \times 10h$$

$$C_d = S/. 1.3839$$

Costo mensual:

Promedio de días laborales = 21 días

$$C_m = C_d \times d \quad (30)$$

$$C_m = 1.3839 \times 21$$

$$C_m = S/. 29.0613$$

COSTO DE POLÍMERO USADO:

Carrete de PLA (1Kg) = S/. 85

Plan de uso al mes = 2 carretes

Es decir, se requiere un presupuesto de 170 nuevos soles para cubrir las necesidades de impresión de la empresa.

Egresos al mes: 199.06 nuevos soles

Realizamos un estudio económico para saber si nuestro proyecto será viable y así ser ejecutado, para beneficio de la empresa JJR Servicios Generales, en primer lugar, ejecutaremos nuestro flujo de caja y con ello obtener los resultados requeridos.

Teniendo en cuenta que el costo mínimo de la impresora 3D de cabezales intercambiables en el mercado se encuentra en 630 euros (Valor de cambio: 3.78 nuevos soles), un total de 2378 Nuevos soles.

TABLA 23. FLUJO DE CAJA DE LA MÁQUINA

Fuente: Elaboración propia

Análisis económico en 1 año	0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Ingresos		777	777	777	777	777	777	777	777	777	777	777	777
Egresos		199.06	199.06	199.06	199.06	199.06	199.06	199.06	199.06	199.06	199.06	199.06	199.06
Flujo Neto	-1601	577.94	577.94	577.94	577.94	577.94	577.94	577.94	577.94	577.94	577.94	577.94	577.94

VAN:

Es el Valor Actual Neto, nos permitirá encontrar el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. Si el VAN nos da un valor positivo, quiere decir que la inversión del proyecto es viable. En nuestro proyecto se determinará su rentabilidad a partir de una inversión inicial de 1491 Nuevos soles, para lo cual se evaluará en un periodo de 12 meses con una tasa de retorno de 10%.

$$VAN = -I + \frac{Q}{(1+i)^1} + \frac{Q}{(1+i)^2} + \dots + \frac{Q}{(1+i)^n} \quad (31)$$

Donde:

I: Inversión (S/.)

Q: Flujo de cada por periodo (S/.)

i: Tasa de Interés (%)

n: Número de periodos (meses, años)

Nro	FNE	(1+i)^	FNE/(1+i)^
0	-1601		-1601
1	577.94	1.10	525.40
2	577.94	1.21	477.64
3	577.94	1.33	434.21
4	577.94	1.46	394.74
5	577.94	1.61	358.86
6	577.94	1.77	326.23
7	577.94	1.95	296.57
8	577.94	2.14	269.61
9	577.94	2.36	245.10
10	577.94	2.59	222.82
11	577.94	2.85	202.56
12	577.94	3.14	184.15
			2336.91

**TABLA 24. DATOS GENERALES
PARA CALCULAR EL VAN**

DATOS	VALORES
Número de periodos	12
Tipo de Periodo	Anual
Tasa de Descuento	10%

$$VAN = -1491 + \frac{577.94}{(1 + 0.1)^1} + \frac{577.94}{(1 + 0.1)^2} + \frac{577.94}{(1 + 0.1)^3} + \dots + \frac{577.94}{(1 + 0.1)^{12}}$$

$$VAN = S/.2336.91$$

TIR:

Es la Tasa Interna de Retorno o Tasa de Rentabilidad, es el rendimiento de una inversión y se puede utilizar como indicador de rentabilidad de un proyecto, es decir si obtenemos un TIR mayor es más rentable:

$i = \text{TIR}$

$$0 = -1491 + \frac{577.94}{(1 + i)^1} + \frac{577.94}{(1 + i)^2} + \frac{577.94}{(1 + i)^3} + \dots + \frac{577.94}{(1 + i)^{12}}$$

$$i = 35\%$$

TABLA 25. VAN RESPECTO A LA TASA DE DESCUENTO

Tasa de Descuento	VAN
0%	S/5,334.28
5%	S/3,531.43
10%	S/2,336.91
15%	S/1,531.79
20%	S/964.60
25%	S/551.90
30%	S/242.78
35%	S/5.20
40%	-S/181.64
45%	-S/331.56
50%	-S/454.03
55%	-S/555.66
60%	-S/641.19

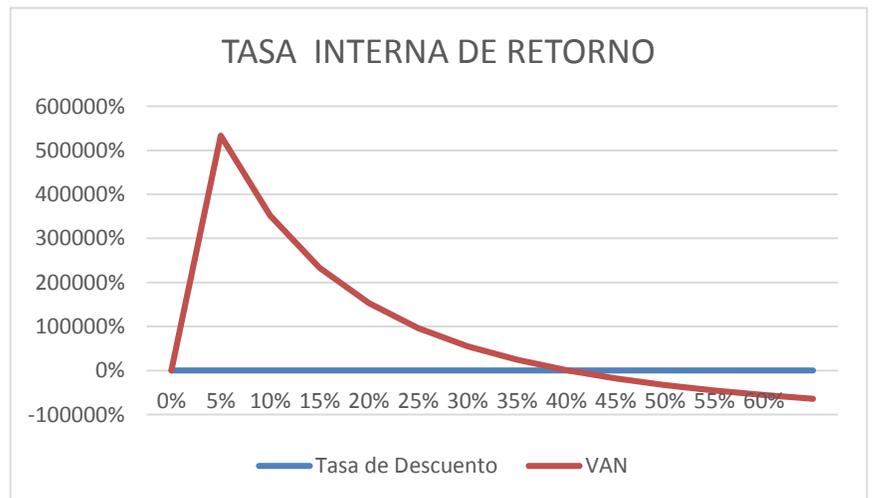


Figura 86: Gráfica relación TIR – TASA DE DESCUENTO
Fuente: Elaboración propia

El criterio de selección tomado es que “k” es la tasa de descuento de flujos que hemos elegido (10%) para el cálculo del VAN.

Se sabe que, si:

- $TIR > k$, el proyecto de inversión es viable.
- $TIR = k$, el proyecto se llevaría a cabo siempre y cuando la posición competitiva de la empresa mejorara y no hubiera otra alternativa.
- $TIR < k$, el proyecto debe ser rechazado.

Al obtener como resultado 38% el valor del TIR, nos damos cuenta que es mayor que nuestro descuento de flujos (10%), esto quiere decir que el proyecto es viable y será aceptado para su desarrollo.

ROI:

Es el valor económico que se genera luego de realizar diferentes actividades de marketing. Con ese dato, podemos medir el rendimiento que obtenemos de una inversión. Se obtiene de la relación entre la inversión y los beneficios generados, plasmado en la siguiente ecuación

:

$$ROI = \frac{\textit{Beneficio-Inversion}}{\textit{Inversion}} \quad (32)$$

$$ROI = \frac{9324 - 3989.72}{3989.72}$$

$$ROI = 1.337 = 133.7\%$$

PRI:

Es el periodo de recuperación de la inversión que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o lo invertido inicialmente. Se calcula a través de la ecuación:

$$PRI = N^{\circ} \text{ mes de contado} + \frac{\text{Inversión} - \sum_{FN < \text{Inversión}}}{FN \text{ de mes continuo}} \quad (33)$$

$$PRI = 2 + \frac{1601 - 1155,88}{577,94}$$

$$PRI = 2,77 \text{ meses}$$

La recuperación de la Inversión inicial será en 2 meses y 23 días.

3.14. COMPARACIÓN DE COSTOS DE LA MÁQUINA:

El costo de la impresora 3D de cabezales intercambiables en el mercado industrial se encuentra con un costo de 2378 nuevos soles a comparación de la que se diseñó para la empresa JJR Servicios Generales por un valor de 1601 nuevos soles, cubriendo todas las necesidades específicas requeridas por la institución.

La empresa beneficiada se encuentra ubicada en la ciudad de Cajamarca, ha puesto en marcha un cambio tecnológico en su proceso laboral, y propone el uso de equipos fabricados con recursos y tecnología propia, para la mejora de su servicio a la población. Con lo cual propone fabricar una impresora 3D de cabezales intercambiables usando las especificaciones de diseño y material de aluminio N° 042205 con un valor de 1601 nuevos soles. Se realizó un estudio económico, obteniendo como resultado que el proyecto es viable y la recuperación de su inversión es favorable a la empresa.

CONSTRUCCION DE IMPRESORA 3D

Selección de componentes mecánicos para la de fabricación de impresora 3d

- Varillas lisas de 8mm y 10mm
- Rodamientos lineales 10mm
- Soportes de pie de 8mm
- Rodajes Z608
- Usillo M8
- Planchas de soporte de motor de 3mm

Selección de material de estructura (aluminio 042205)



Figura 87: Selección de elementos
Fuente: Elaboración propia

Ensamblaje de estructura

- Uniones de estructura de aluminio 042205
- Montaje de planchas de soporte de motores nema
- Montaje de polea loca gt2

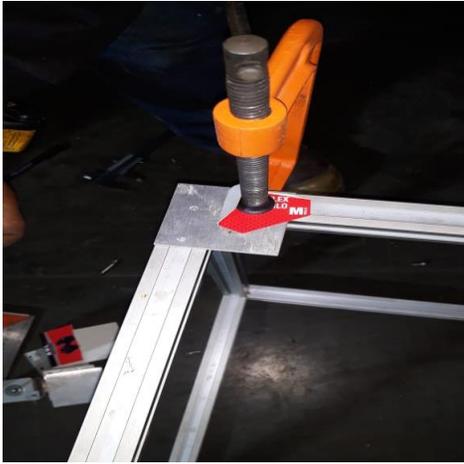


Figura 88: Construcción de la estructura
Fuente: Elaboración propia

Ensamblaje electrónico

- Montaje de motores nema
- Instalación de cable n 20
- Cableado de motores nema
- Conexión de motores nema a interfaz
- Conexión de Arduino a fuente de alimentación
- Montaje de extrusor y fines de carrera
- Conexión de Relé de estado solido

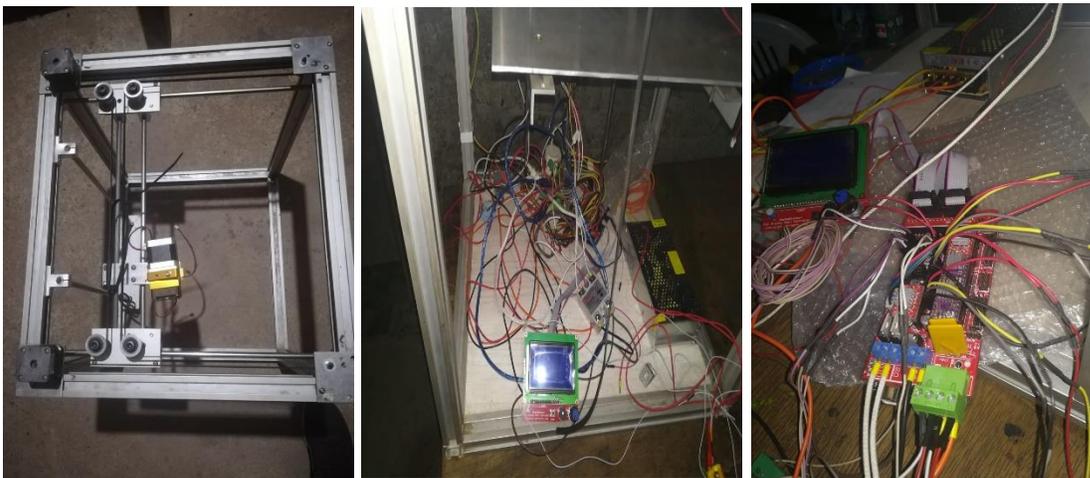


Figura 89: Ensamblaje electrónico
Fuente: Elaboración propia

Ensamble completo de la parte electrónica

- Alineación de guías lineales con su sensor de fin de carrera
- Conexión parcial de componentes eléctricos
- Primera impresión 3D



Figura 90: Ensamblaje final de la parte electrónica
Fuente: Elaboración propia

Fallas y soluciones de impresión

- Mal cálculo de los pasos/mm de los motores nema
- Driver 49885 no calibrados
- Temperatura del filamento no adecuada
- Fallas corregidas
- Impresora funcionando con márgenes adecuados

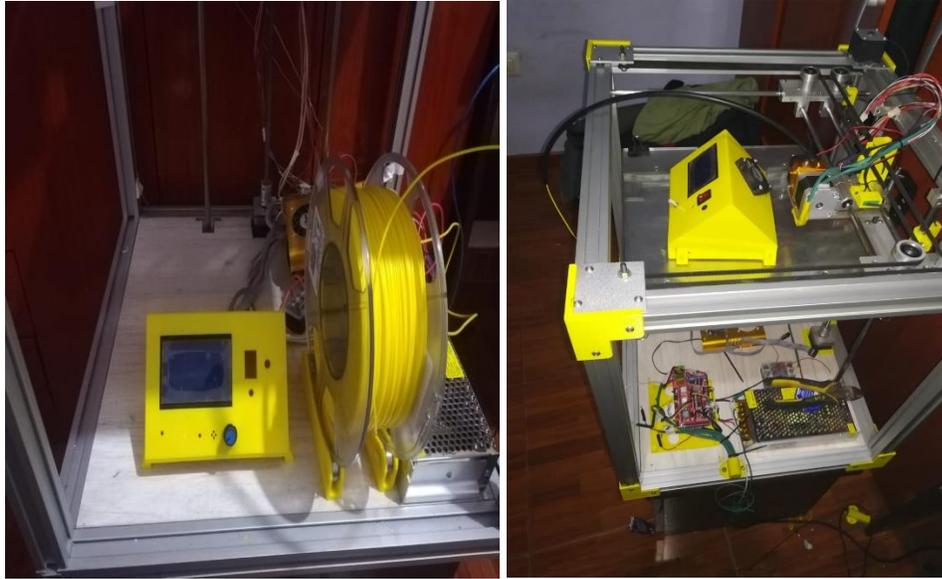


Figura 91: Fallas y soluciones de impresión
Fuente: Elaboración propia

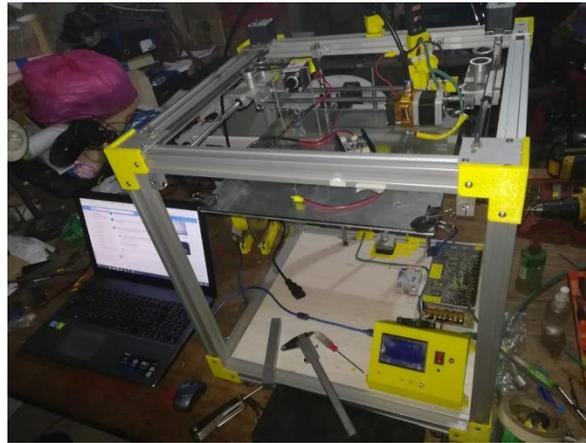


Figura 92: Construcción final de la impresora 3D de
cabezales intercambiables

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

- Las entrevistas realizadas a los trabajadores de la empresa JJR Servicios Generales, nos muestra que tienen interés en cuatro áreas que son: presupuesto de fabricación, variedad de materiales, elaboración de prototipos y volumen de impresión. De igual manera, las recomendaciones de diseño y las normas guían el aspecto final de la máquina y los rangos de parámetros importantes en su diseño (Tabla N° 5). Este procedimiento fue estricto para obtener los datos iniciales para su configuración y parametrización. Este trabajo presenta un procedimiento formal ya que define los aspectos que abarcan el diseño de la impresora 3D, y otros trabajos previos no desarrollan una metodología de diseño (López, Alejandro 2012).
- Los diseños de conceptos alternativos planteados fueron reportados de manera óptima ya que las diferentes configuraciones fueron capaces de cubrir las necesidades de la empresa que se podían tomar en cuenta para un adecuado diseño ingenieril. A través de una matriz ponderada se realizó la selección del mejor concepto de diseño evaluando criterios específicos (Tabla N° 13). Similares procedimientos se observan en trabajos de investigación previos Baca (2017), también obtuvo buenos resultados al aplicar la matriz de selección para obtener una mejor solución al problema.
- El diseño de configuración general de la máquina se ejecutó para poder encontrar la opción más adecuada para que soporte las cargas y esfuerzos sobre la estructura distribuyéndolos en tres partes importantes: mecánico-eléctrico, estructural y electrónica. Luego se propuso tres bocetos de distribución de los principales componentes para la impresora 3D de cabezales intercambiables y obteniendo como resultado la N° 1 como la mejor opción luego de evaluar a través de una matriz de selección, y teniendo en cuenta que en primer lugar se debe realizar la elección del material y luego el proceso de fabricación. Procedimientos similares pueden verse en los trabajos de investigación previos Baca (2107) y Maldonado (2012).

- Se ejecutó el diagrama de control de la máquina el cual se puede observar en el ítem 3.7, además se comprobó que los componentes utilizados fueron estándar los cuales son precedidos por los trabajos previos Maldonado (2012), donde se define los tipos de diagramas de control para impresoras 3D y se especifican las normas respecto a manufactura aditiva y la transferencia de archivos de máquina – ordenador que se detalla en el ítem 3.2 ISO/ASTM 52921-13 y ISO/ASTM 52915.
- Las dimensiones de la impresora 3D de cabezales intercambiables se definieron por los datos obtenidos en las entrevistas, el juicio ingenieril, las investigaciones previas y recomendaciones principalmente de Baca (2017).
- Antes de realizar los estudios a través de método de elemento finito, se ejecutó dos configuraciones distintas, variando el número de nodos para saber cuál mallado utilizar para su simulación: la configuración N° 1 de 186469 y la configuración N° de 225877. Observándose que la primera configuración es más fiable a los esfuerzos de fatiga y menos propensa a la vibración. Lo cual la configuración N° 1 se tomará para el diseño de la impresora 3D de cabezales intercambiables. Este procedimiento no se observa en trabajos previos.
- Para el análisis de elementos finitos, utilizó análisis estático en la estructura de la impresora 3D de cabezales intercambiables, para reducir el consumo excesivo de recursos computacionales se realizaron optimizaciones de geometría donde se eliminó todas las roscas, pues durante el mallado se generarán demasiados elementos de pequeña geometría, por otra parte, se eliminaron elementos innecesarios en el análisis estructural de la impresora 3D y se sustituyeron por una fuerza equivalente al valor de su peso en la simulación, detallados en las Tablas N° 16, 18 y 20. Este procedimiento se puede observar en el trabajo previo Baca (2017).

- De los datos de la simulación se puede observar que los esfuerzos son mayores para las estructuras con perfiles de 20X20 y 15X15 mm, por lo tanto, el factor de seguridad en ambos es inferior en comparación a la estructura con el perfil de 30X30 mm, y esto se hace aún más notorio en el análisis en fatiga. Esto demuestra que al emplear el perfil de 30X30 se obtiene una mayor fiabilidad estructural. Procedimientos semejantes se pueden encontrar en el trabajo de investigación previo Baca (2017).
- Sólo se analizó por el método de elementos finitos a través de ANSYS el cabezal de extrusión, ya que es el de mayor peso por lo que el cabezal de láser tiene un peso inferior y estos resultados que se obtendrían serían parecidos o no afectarían en el estudio de simulación.
- Del análisis modal se puede observar que al emplear perfiles de 20X20 mm y 15X15 mm la estructura es más propensa a entrar en resonancia a bajas frecuencias debido a que por ejemplo el primer modo de vibración para la estructura con el perfil de 20X20 mm se da a una frecuencia de 37.775 Hz que es más bajo que en el caso del perfil de 30X30 mm donde la frecuencia es de 46.506 Hz. Esto muestra que en comparación al usar el perfil de 30X30 mm la estructura es más estable. Este trabajo de investigación presenta un procedimiento preventivo a fallas, puesto que trabajos previos no realizan este estudio en su diseño García (2013), Tejado (2015) y Baca (2017).
- Se ejecutó la parametrización del diseño en MATLAB respecto al cabezal de extrusión para poder observar el comportamiento de la potencia del motor y el costo de energía eléctrica, al variar los datos de diseño como la velocidad de entrada del filamento, diámetro de boquilla y temperatura de fundición para luego definir los parámetros adecuados que cumplan con las recomendaciones de diseño. Procedimientos semejantes pueden observarse en los trabajos de investigación previos Maldonado (2012) y Baca (2017).

- El material seleccionado para el diseño de la máquina fue de aluminio, desde el aspecto económico el costo del perfil de 30X30 mm es más barato que el perfil de 20X20 mm, con una diferencia de S/. 35.00 por metro. Por otra parte, tanto el perfil de 20X20 mm como el de 15X15 mm son más difíciles de conseguir pues existen pocos lugares donde se puedan conseguir tales perfiles. Por las razones anteriores la mejor opción para elaboración de la estructura es emplear el perfil de 30X30 mm. Además, es resistente a la corrosión y resistente a altas cargas. Este procedimiento se puede observar en la tesis Baca (2017)
- La selección del componente estándar para la impresora 3D de cabezales intercambiables fue un motor paso a paso Nema 17 bipolar de 200 pasos con un ángulo de $1/8^\circ$. Este procedimiento se observa en los estudios previos Maldonado (2012) y Baca (2017).
- La búsqueda minuciosa de una metodología de diseño desarrollado en este trabajo ha transcurrido por diferentes estudios previos de diseño de ingeniería asegurando un proceso muy riguroso para el procedimiento general de diseño conceptual según Tejado (2015) y Baca (2017): Definición de necesidades de usuario, descripción de problema en términos ingenieriles, diseño conceptual, diseño de configuración, parametrización a través de softwares de ingeniería., diseño de selección y diseño de detalle. Se puede considerar que luego de ejecutar cada estudio se puede tomar una decisión objetiva y concisa. Además, esta metodología presenta la ventaja tener una amplia gama de posibilidades y con ello tomar una decisión adecuada a beneficio del cliente de manera ordenada.
- La elaboración del estudio económico que tiene este proyecto de tesis es rentable ya que el VAN es positivo (S/. 2336.91), además obtuvimos que la tasa de retorno de inversión (TIR) es 35%, esto es favorable ya que es mayor que la tasa propuesta en un inicio (10%). El retorno de inversión (ROI) obtenido fue de 133.7 %, esto quiere decir que tiene una buena rentabilidad económica, siendo reforzado por el cálculo de

periodo de retorno de inversión (PRI), siendo este recuperado en 2.77 meses (2 meses y 23 días). A comparación de otras tesis no han realizado un análisis económico y no se sabe si es rentable su proyecto.

- El costo de fabricación de la impresora 3D de cabezales intercambiables financiado por la empresa JJR Servicios Generales y ejecutado por los tesisas es de S/. 1601, si se compara con las impresoras 3D de cabezales intercambiables en el mercado industrial con un valor mínimo de S/. 2378, se obtiene un ahorro de S/ 777, siendo este no un valor muy elevado pero el diseño propio cubre las necesidades específicas de la empresa. A diferencia de otros trabajos previos que no consideran la diferencia de costos, en muchos casos viéndose afectado por no realizar un análisis económico.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Luego de obtener los resultados de este trabajo de tesis, se concluyó que:

- La técnica inicial utilizada para la obtención de necesidades de la empresa a través de la entrevista paralelo con la normativa, recomendaciones de diseño y rangos óptimos de funcionamiento de la máquina, ofreció facilidad para ejecutar un diseño conceptual, su configuración y parametrización de los componentes de la impresora 3D de cabezales intercambiables. Se corroboró la importancia de seguir una metodología formal de diseño según trabajos previos (Baca 2017 y López 2012).
- La impresora 3D de cabezales intercambiables con estructura de 30x30mm de aluminio código N° 042205 con rango de área de impresión de 260 x 260 x 300 mm y una velocidad óptima de muestra ventajas en cuanto a potencia requerida, además en el aspecto económico respecto al costo de energía eléctrica y bajo costo de fabricación gracias a la disponibilidad de los materiales y dispositivos en el mercado satisfaciendo las necesidades de la empresa bajo algunas recomendaciones previas de diseño.
- El diseño geométrico de la estructura se orientó en simulaciones por el método de elemento finito en el software ANSYS facilitando el diseño adecuado además de ofrecer versatilidad en las pruebas de carga manteniendo un factor de seguridad adecuado, obteniendo 15, este resultado es muy alto debido a las cargas que se encuentra sometida la estructura.
- El diseño paramétrico con el extrusor como herramienta de impresión arrojó muy buenos resultados como en el análisis estático su deformación total (0.3305mm), esfuerzo de Von Misses (10.933 MPa) y su factor de seguridad mayor a 15 pero en el análisis de fatiga tiene 7.8841; además para que entre en vibración tiene que alcanzar una resonancia de 46.506 Hz., ayudándonos en tomar buenas decisiones evitando que la estructura fallara con las cargas de los componentes. Por lo tanto, por juicio

ingenieril el peso del láser se desprecia porque no afectará en nada a la estructura de la impresora 3D de cabezales intercambiables.

- El diseño paramétrico en el software Matlab sobre la relación de variación de velocidad sobre el diámetro de la boquilla y la velocidad de entrada del filamento, temperatura de fundición, resultó ser una herramienta muy útil para obtener una velocidad adecuada, costo de energía eléctrica y potencia que necesitan los motores. Además, estos parámetros pudiendo ser inferidos de manera intuitiva se pudo expresar cuantitativamente siguiendo un adecuado cálculo matemático.
- El cálculo matemático inicial del torque del motor y costo de energía eléctrica para la impresora 3D de cabezales intercambiables no sólo nos brindó el factor de seguridad máximo (15) y mínimo (7.8841), sino que también nos mostraron los valores iniciales para el estudio de simulación por el método de elemento finito en su previa optimización.
- Para la fabricación de la impresora 3D de cabezales intercambiables se seleccionó los accesorios como el arduino Mega 2560 R3 y la shield ramps 1.4, funcionando además como placa base para el equipo y equipo estándar el motor Nema 17 bipolas de 200 pasos con un ángulo de $1/8^\circ$
- En suma, el proyecto es rentable para su fabricación debido que el VAN es positivo (S/. 2446.91) con un Periodo de Retorno de Inversión (PRI) de 2.58 meses, además se obtuvo un TIR (38%) mayor a la tasa de interés bancaria propuesta, lo que demuestra que la inversión es beneficiosa, respaldado por un ROI (140.3%) óptimo siendo económicamente rentable.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- Investigar nuevos dispositivos (extrusor, láser, dremel, etc) de trabajo que se puedan utilizar en las impresoras 3D, cumpliendo con la normativa y recomendaciones de diseño.
- Realizar una simulación previa de funcionamiento de la máquina utilizando softwares como simulink o labview.
- Se recomienda investigar respecto a la implementación de algún nuevo material de impresión el cual se pueda implementar o cambiar para diferentes necesidades del cliente.
- Ejecutar una ficha de mantenimiento de la impresora 3D de cabezales intercambiables para evitar fallas y paras de trabajo.

REFERENCIAS

ASTM. 2012. Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. s.l. : ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012

Advanced manufacturing 2014 ; Esquema del proceso de Estereolitografía ; consultado en el año 2018 ; disponible en "<http://www.ctadvancedmanufacturing.com/impresoras-3d/elija-por-tecnologia/estereolitografia/> "

Baca castro, Juan (2017). “Diseño de una impresora 3d de cabezales intercambiables para la facultad de ingeniería mecánica - eléctrica de la universidad cesar vallejo” (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Trujillo

Beltrán, M. y Marcilla, A. (2012). Tecnología de Polímeros. Universidad de Alicante.

BQ. 2016. www.BQ.com. *www.BQ.com*. [Online] 2016.

Imprimalia 3D (2016). Pasos para diseño 3D. Recuperado en: "<http://imprimalia3d.com/recursosimpresion3d/ocho-pasos-sobre-c-mo-dise-ar-joyas-imprimirlas-3d>"

Imprimir en 3d 2016. Funcionamiento de fundido por FDM, ; Recupero en: "<https://www.impresoras3d.com/la-guia-definitiva-sobre-los-distintos-filamentos-para-impresoras-3d/> "

Impresora 3D (2016). Tipos de filamentos de plástico. Recuperado en: "<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/08/poliacido-lactico-pla.html> "

Kimball, Andersen 2015. “Optimización de una mezcla de pequeño punto de unión para la elaboración de filamentos en California” (Tesis de pregrado), Estados Unidos.

López, Alejandro (2012). “Mejora del proyecto y fabricación de una impresora 3d” (Tesis de pregrado), “Cenidet” (Centro nacional de investigación y desarrollo tecnológico), México.

Laboratory of Information Processing Science (2012). Esquema de funcionamiento SLS. Recuperado en: "<https://tfmrimuned.wordpress.com/sinterizado-selectivo-por-laser-sls/>"

Macas, Cesar and Pilco, Kleber (2016). Contruccion de un modelo de fundicion mediante la utilizacion de tecnologia de impresion 3D. Riobamba.

Maldonado, Galo. 2012. diseño, construcción y programación de una máquina de control numérico aplicada al prototipado rápido de modelado por deposición fundida de material para el laboratorio de mecatrónica de la universidad del ecuador. Quito: s.n., 2012.

Mathworks (2012). Programación Matlab, Recuperado en: "https://la.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/product-description.html "

Mathworks (2012). Entorno de programación. Recuperado en "<https://la.mathworks.com/videos/data-analysis-and-visualization-with-matlab-1490973562536.html> "

Olortegui, Jorge (2016). Diseño de maquinas. *Introduccion al diseño de maquinas.* Trujillo

Ramos, Maltés (2011).“Multifab: una plataforma de impresión 3d de múltiples materiales”, Universidad Estatal de Carolina del Norte, USA.

Rinstruct (2013). Modelo-Prusa Mendel. Recuperado en "<http://rinstruct.com/products/reprap-prusa-mendel/>"

Tecnología 3D DLP (2014).Esquema de la técnica de AM por DLP ; Recuperado en: "<http://makermex.com/blog/nuestro-blog-1/post/como-funciona-la-impresion-3d-341> "

Tejado, Sebastián (2015) “Escaneado en 3d y muestras de piezas arqueológicas” en la Universidad de La Rioja México.

Villanueva, Alirio (2016) “Perfección de armaduras de poliácido láctico (PLA) y polietilenglicol (PEG) aplicando tecnología de modelado por deposición fundida (FDM) utilizada en impresión 3D, Lima.

ANEXOS

A. ANEXOS DE ENTREVISTAS

Anexo N° 1: Modelo de entrevista

ENTREVISTADO

Apellidos y Nombres:

Cargo:

Profesión:

Empresa:

ENTREVISTADOR

Apellidos y Nombres: Avilés Grados Javier

Universidad: Cesar Vallejo

Escuela: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Tesis: DISEÑO y FABRICACION DE UNA IMPRESORA 3D CON CABEZALES INTERCAMBIABLES PARA LA EMPRESA JJR SERVICIOS GENERALES SRL

ASPECTO DE INFLUENCIA EN EL MERCADO DEL PRODUCTO

1. ¿Qué conoce acerca de la aplicación de la impresión 3D?

.....
.....

2. Al utilizar la impresora 3D como herramienta constante ¿qué usos importantes le brindará en las actividades que realiza en la empresa?

.....
.....

3. ¿Qué beneficios tendría la empresa el obtener una impresora 3D?

.....
.....

ASPECTO DE LA PRODUCCIÓN DEL PRODUCTO

4. ¿Cuáles piensa usted que serían las dimensiones máximas de una pieza impresa por la máquina para cubrir las necesidades de la empresa?

.....
.....

5. ¿Cuántas horas de trabajo máxima sería adecuado según dedique el operario encargado?

.....
.....

6. ¿Le interesaría algún color en especial por cuestiones estéticas? ¿Cuáles?

.....
.....

ASPECTO DE DISEÑO DE LA MÁQUINA

7. ¿Con qué otro material le gustaría trabajar en la impresora 3D aparte de los polímeros?

.....
.....

8. ¿Qué velocidad de impresión sería la adecuada para sus propósitos (mm/s)?

.....
.....

ASPECTO ECONÓMICO

9. ¿Cuánto pagaría para la adquirir una impresora de cabezales intercambiables?

.....
.....

10. Existen diferentes modelos de impresoras 3D, ¿conoce las ventajas y desventajas de algún modelo en específico?

.....
.....

Anexo N° 2: Entreviste realizada a jefe de área

Anexos

ANEXOS DE ENTREVISTAS

Anexo N° 1: Modelo de entrevista

ENTREVISTADO

Apellidos y Nombres: Grados Calderón Juan

Cargo: Jefe de mantenimiento

Profesión: Ingeniero Mecánico

Empresa: JJR Servicios Generales

ENTREVISTADOR

Apellidos y Nombres: Avilés Grados Javier

Universidad: Cesar Vallejo

Escuela: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Tesis: DISEÑO y FABRICACION DE UNA IMPRESORA 3D CON CABEZALES INTERCAMBIABLES PARA LA EMPRESA JJR SERVICIOS GENERALES SRL

ASPECTO DE INFLUENCIA EN EL MERCADO DEL PRODUCTO

1. ¿Qué conoce acerca de la impresión 3D?

Es una máquina tecnológica de fabricación por adición de capas que permite crear objetos por la superposición de capas de materia

2. Al utilizar la impresora 3D como herramienta constante ¿qué usos importantes le brindara en las actividades que realiza en la empresa?

diseño de estructuras físicas, mejoras de prototipos obtenidos de otras empresas

3. ¿Qué beneficios tendría la empresa el obtener una impresora 3D?

Obtener diseños con resistencia y complejidad, lo que puede implicar una mejora en el diseño

ASPECTO DE LA PRODUCCIÓN DEL PRODUCTO

4. ¿Cuáles piensa usted que serían las dimensiones máximas de una pieza impresa por la máquina para cubrir las necesidades de la empresa?

..... 250 mm x 250 mm x 250 mm

5. ¿Cuántas horas de trabajo máxima sería adecuado según dedique el operario encargado?

..... 12 horas

6. ¿Le interesaría algún color en especial por cuestiones estéticas?

¿Cuáles? Plomo y negro

ASPECTO DE DISEÑO DE LA MÁQUINA

7. ¿Con qué otro material le gustaría trabajar en la impresora 3D aparte de los polímeros?

..... Nylon y Teflon

8. ¿Qué velocidad de impresión sería la adecuada para sus propósitos (mm/s)?

..... 40 mm/s

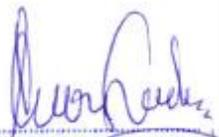
ASPECTO ECONÓMICO

9. ¿Cuánto pagaría para la adquirir una impresora de cabezales intercambiables?

..... 2000 US\$

10. Existen diferentes modelos de impresoras 3D, ¿conoce las ventajas y desventajas de algún modelo en específico?

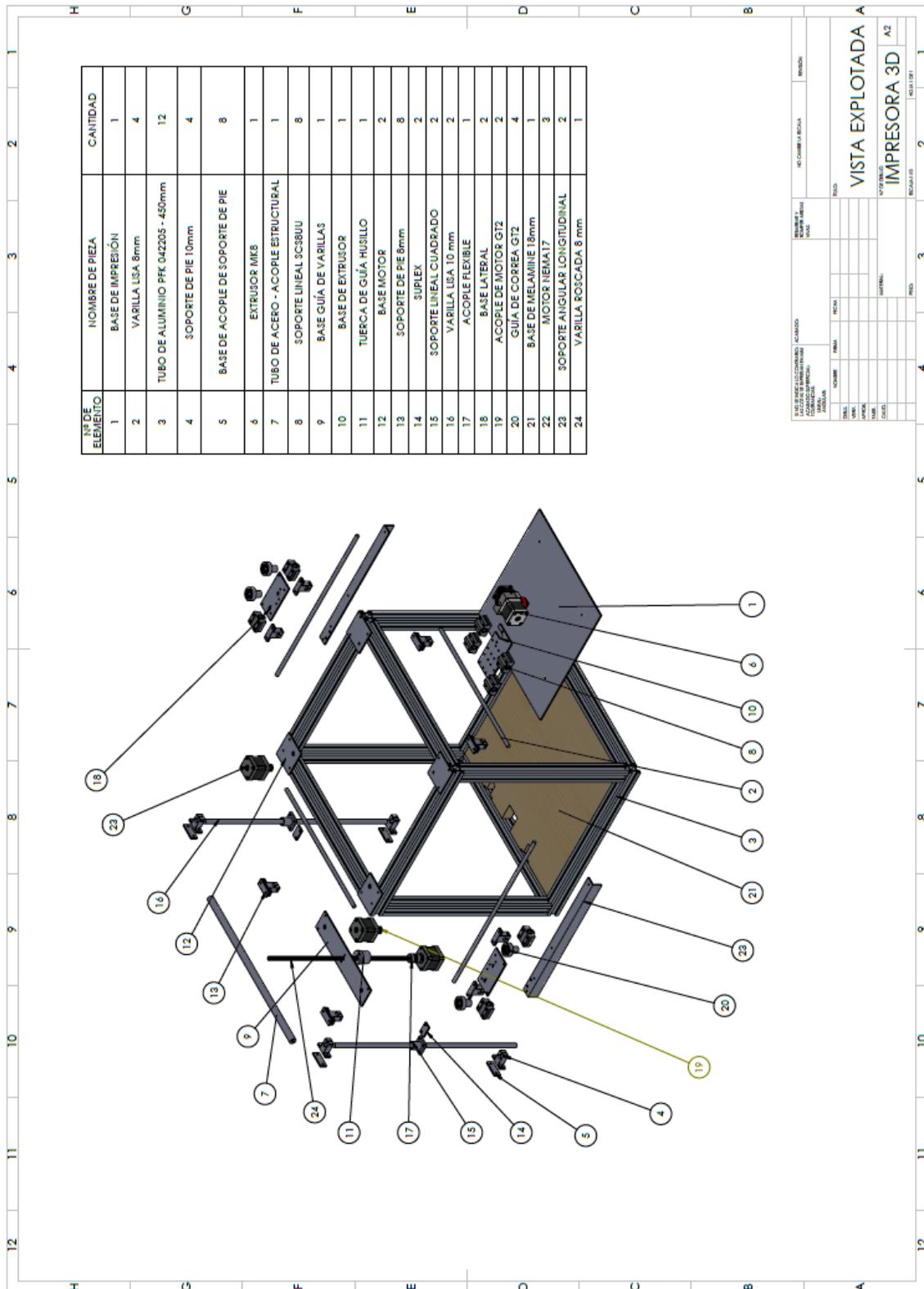
..... No, en específico


.....
JUAN GRADOS CALDERÓN
SERVICIOS GENERALES SRL

Anexo N° 3: Normas

Código para diseño	<p>ISO / ASTM 52921-13 Define la terminología relacionada a la manufactura aditiva.</p> <p>ISO / ASTM 52915:2013 Esta norma establece de formato de archivo que permite intercambiar información entre programas de diseño y equipos de fabricación aditiva.</p>
--------------------	--

4.2. Plano Explotado



ANEXO N° 5: DIAMETROS DE BOQUILLA DE EXTRUSOR

MARCAS	Ø NOZZLE
0	0.15mm
0	0.25mm
1	0.3mm
2	0.35mm
3	0.4mm
4	0.6mm
5	0.8mm
6	0.5mm

ANEXO N° 6: FICHA TÉCNICA DEL FILAMENTO

Ficha de datos técnicos PLA

Ultimaker

Denominación química	Acido poliláctico
Descripción	El filamento de PLA Ultimaker ofrece una experiencia de impresión 3D sencilla gracias a su fiabilidad y buena calidad superficial. Nuestro PLA está fabricado con materiales orgánicos y renovables. Es seguro, fácil de utilizar en la impresión y se adecua a una amplia gama de aplicaciones para usuarios nuevos y experimentados.
Características principales	El PLA ofrece una buena resistencia a la tracción y calidad superficial, facilita el trabajo a altas velocidades de impresión, simplifica el uso en entornos domésticos y de oficina y permite la creación de piezas de alta resolución. Existe una amplia gama de opciones de color disponibles.
Aplicaciones	Herramientas domésticas, juguetes, proyectos educativos, objetos de exposición, prototipado, modelos arquitectónicos y también métodos de fundición a la cera perdida para crear piezas de metal.
No adecuado para	Aplicaciones en contacto con alimentos e in vivo. Uso prolongado en exteriores o aplicaciones en las cuales la parte impresa está expuesta a temperaturas superiores a 50 °C.

Especificaciones del filamento

	<u>Valor</u>	<u>Método</u>
Diámetro	2,85 ± 0,10 mm	-
Desviación de redondez máxima	0,10 mm	-
Peso neto del filamento	350 g / 750 g	-
Longitud del filamento	~44 m / ~95 m	-

Información sobre el color

<u>Color</u>	<u>Código de color</u>
PLA verde	RAL 6018
PLA negro	RAL 9005
PLA plata metalizado	RAL 9006
PLA blanco	RAL 9010
PLA transparente	n.p.
PLA naranja	RAL 2008
PLA azul	RAL 5002
PLA magenta	RAL 4010
PLA rojo	RAL 3020
PLA amarillo	RAL 1003
PLA blanco nacarado	RAL 1013