



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

TESIS:

**DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D PARA IMPRIMIR
PIEZAS CON POLÍMEROS CON VOLUMEN MÁXIMO
DE 30 CM x 30 CM x 30 CM PARA LA UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autores:

Bach. Gamarra Miranda Ángel Brady

Bach. Parraguez De La Cruz Luighi Jhonatan

Asesor:

Dr. Jorge Antonio Olortegui Yume Ph.D.

Línea De Investigación:

Ingeniería De Procesos Productivos

Pimentel – Perú

2019

DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D PARA IMPRIMIR PIEZAS CON
POLIMEROS CON VOLUMEN MÁXIMO DE 30 CM x 30 CM x 30 CM
PARA LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

Bach. Gamarra Miranda Angel

Brady

AUTOR

Bach. Parraguez De La Cruz

Luighi Jhonatan

AUTOR

Dr. Olortegui Yume Jorge Antonio, Ph.D

ASESOR

Presentado a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán
para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

APROBADO POR:

Msc. Rojas Coronel Ángel Marcelo

Presidente del Jurado de tesis

Mg. Vives Garnique Juan Carlos

Secretario del Jurado de tesis

Mg. Alvarado Silva Carlos Alexis

Vocal del Jurado de tesis

PIMENTEL – 2019

DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D PARA IMPRIMIR PIEZAS CON POLIMEROS CON VOLUMEN MÁXIMO DE 30 CM x 30 CM x 30 CM PARA LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

Angel Brady Gamarra Miranda¹
Luighi Jhonatan Parraguez De La Cruz²

Resumen

En esta tesis se realizó el diseño de una impresora 3D para la universidad Señor de Sipán, partiendo de datos obtenidos de entrevistas realizadas a docentes y directivos de la especialidad. Se analizaron variantes de diseño de proyectos similares mediante una matriz de selección, luego se estimaron las cargas de diseño para los ejes guía y soporte mediante cálculos estáticos y usando una GUI (interfaz gráfica de usuario) desarrollada en Matlab[®], obtenidos los diámetros de las barras se determinó la velocidad, tasa de deposición, resolución, potencia de los motores y de la maquina en general, además se diseñó la estructura general, piezas de soporte y carcasa, luego se realizó la simulación de cargas de las barras y la estructura externa en Solidworks[®] para optimizar detalles de geometría y material, Finalmente se seleccionó el software de control, se determinó la configuración del firmware y selección de los componentes de la máquina para los subsistemas de movilidad, extrusión y mesa de trabajo.

El diámetro calculado de las barras para los ejes X – Y es de 8 mm, y 10 mm para el eje Z, resultó favorable en el análisis de cargas, el material seleccionado fue el AISI 304, La estructura de perfiles angulares de aluminio presentan un factor de seguridad mínimo de 1.2. Se seleccionó los motores Nema 17, extrusor E3dv6, además, se determinó que la velocidad óptima de impresión usando filamento PLA debe ser de 60 mm/s a una temperatura de 210 °C, con una tasa de deposición de 7,5 mm³/s y resolución de 0,4 mm por capa, con un eje de rosca métrica M8 de 1.25 mm. La potencia del equipo es 360 W, por otro lado, la electrónica se compone de, Arduino Mega 2560, una placa CNC Ramps 1.4, además el software de control será el Repetier Host de uso libre, en el presupuesto económico se estimó una inversión de \$ 809,68 que genera un ahorro de 75% con respecto a equipos comerciales de similares características.

Palabras clave: Impresora 3D, Arduino, PLA, ABS, tasa de deposición, Firmware, velocidad de impresión.

¹Adscrito a la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica, pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: gmirandaange@crece.uss.edu.pe

²Adscrito a la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica, pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: pcruzluig@crece.uss.edu.pe

DESIGN OF A 3D PRINTER TO PRINT PARTS WITH POLYMERS WITH MAXIMUM VOLUME OF 30 cm x 30 cm x 30 cm FOR THE UNIVERSITY OF SEÑOR DE SIPÁN

Angel Brady Gamarra Miranda¹
Luighi Jhonatan Parraguez De La Cruz²

Abstract

In this thesis, a 3D printer was designed for the Señor de Sipán University, based on the data obtained from interviews with professionals, teachers of the specialty. Design variants of similar projects were analyzed using a selection matrix, then the design loads for the guide and support axes were estimated using static calculations and using a GUI (Graphical User Interface) developed in Matlab®, obtained the diameters of the bars were determined the speed, deposition rate, resolution, power of the motors and the machine in general, in addition the general structure, supporting and carcass parts were designed, then the simulation of loads of the bars and the structure was carried out external in Solidworks® to optimize details of geometry and material, Finally the control software was selected, the firmware configuration and selection of the machine components for mobility, extrusion and work table subsystems was determined.

The calculated diameter of the bars for the X - Y axes is 8 mm, and 10 mm for the Z axis, was favorable in the load analysis, the selected material was the AISI 304, The structure of angular aluminum profiles presents a security factor minimum of 1.2. The Nema 17, E3dv6 extruder motors were selected, and it was determined that the optimum printing speed using PLA filament should be 60 mm / s at a temperature of 210 ° C, with a deposition rate of 7,5 mm³/s and resolution 0.4 mm per layer, with an M8 metric thread of 1.25 mm. The power of the equipment is 360 W, on the other hand, the electronics consists of, Arduino Mega 2560, a CNC Ramps 1.4 plate, in addition the control software will be the Repetier Host for free use, in the economic budget an investment of \$ 809,68, which generates savings of 75% with respect to commercial equipment with similar characteristics.

Key Words: *3D printer, Arduino, PLA, ABS, deposition rate, Firmware, printing speed*

¹Adscrito a la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica, pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perù, email: gmirandaange@crece.uss.edu.pe

²Adscrito a la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica, pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perù, email: pcruzluig@crece.uss.edu.pe

INDICE GENERAL

Capítulo I.....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Realidad Problemática:	14
1.2. Antecedentes de la investigación:.....	16
1.3. Teorías Relacionadas al Tema	19
1.3.1. Tecnología de Impresión 3D	19
1.3.2. Funcionamiento de Una Impresora 3D.....	20
1.3.3. Principales Tecnologías De Prototipado.....	21
1.3.4. Materiales Usados En Impresión 3D Con Tecnología FDM.....	25
1.3.5. Impresoras Con Tecnología FDM	26
1.3.6. Tipos de Impresoras 3D según su Tipo de movimiento:	29
1.3.7. Partes De Una Impresora 3D con Tecnología FDM.....	34
1.3.8. Definición de términos	37
1.4. Formulación del Problema.....	39
1.5. Justificación e Importancia	39
1.5.1. Justificación Técnica	39
1.5.2. Justificación económica.....	39
1.5.3. Justificación Ambiental	40
1.5.4. Justificación social.....	40
1.6. Hipótesis	40
1.7. Objetivos de la Investigación.....	41
1.7.1. Objetivo General.....	41
1.7.2. Objetivos específicos	41
Capítulo II:.....	42
2. MATERIAL Y MÉTODOS	43
2.1. Tipo y Diseño de la Investigación	43
2.2. Población y Muestra	43
2.3. Variables y Operacionalización	43
2.3.1. Variables.....	43

2.3.2.	Operacionalización.....	45
2.4.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos Validez y Confiabilidad.....	46
2.4.1.	Técnicas de recolección de datos.....	46
2.4.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	46
2.4.3.	Datos Validación y Confiabilidad de Instrumentos.....	47
2.5.	Procedimiento de Análisis de Datos	47
2.6.	Criterios éticos	49
2.7.	Criterios de Rigor Científico.....	50
	Capítulo III:	51
3.	RESULTADOS	52
3.1.	Identificación De Las Necesidades De La Institución Interesada:	52
3.2.	Generación De Conceptos Alternativos:.....	55
3.2.1.	Conceptos de solución para Sistema de movimiento	55
3.2.2.	Concepto de Solución para Carcasa	58
3.3.	Selección De Alternativa Óptima Mediante Matriz De Criterios Ponderados.	61
3.3.1.	Análisis De Alternativas Para Sistema De Movimiento.....	61
3.3.2.	Análisis De Alternativas Para La Carcasa.....	63
3.4.	Diseño De Configuración Morfológica Para La Carcasa.	65
3.5.	Dimensionamiento De La Impresora.	66
3.6.	Diseño De Impresora 3d De Tecnología FDM.....	67
3.6.1.	Diseño Y Selección Para Subsistema De Movilidad.....	67
3.6.2.	Determinación Del Torque Requerido Para Los Motores	68
3.6.3.	Determinación de la deflexión máxima de los ejes.	69
3.6.4.	Determinación de diámetro de eje roscado de potencia.	70
3.6.5.	Torque para mover la carga en el eje Z	70
3.6.6.	Determinación Del Torque Y Potencia De Motores	72
3.6.7.	Flujo De Filamento Fundido	72
3.6.8.	Tasa De Deposición.....	73
3.7.	Diseño De La Estructura.....	73
3.7.1.	Criterios Para La Selección De Componentes.....	73
3.8.	Selección De Material Para Los Ejes.....	73
3.9.	Cálculo De Las Cargas De Diseño.....	74

3.10. Diseño Paramétrico	76
3.11. Diseño Paramétrico Según GUI Matlab® Para Diseño De Ejes.	76
3.12. Selección De Material Para La Estructura.	83
3.13. Diseño Paramétrico De La Estructura.....	84
3.13.1. Análisis De Elemento Finito De La Estructura.	85
3.13.2. Análisis De Elemento Finito Para Mesa De Trabajo	89
3.13.3. Diseño de tornillo de potencia y movimiento eje Z.....	91
3.14. Determinación De La Velocidad Y Tiempo De Impresión.	93
3.14.1. Tiempo De Impresión	94
3.15. Determinación De La Potencia De Los Motores Y Selección.....	97
3.15.1. Motor para el eje X	97
3.15.2. Motor para el eje Y	99
3.15.3. Motor para el eje Z.....	100
3.15.4. Selección de motores	102
3.16. Determinación De La Potencia De La Máquina.	103
3.16.1. Selección de Fuente de Alimentación:.....	105
3.17. Determinación De La Resolución De Impresión.	106
3.17.1. Modelamiento 3d De La Estructura Y Partes	108
3.18. Selección Del Sistema De Control.....	108
3.18.1. Selección de software:	111
3.19. Configuración Del Firmware Para Control Del Arduino.....	112
3.19.1. Marlin.....	112
3.20. Descripción De La Configuración Y Conexiones De Arduino Y Componentes.....	113
3.21. Diseño De Selección Para Subsistemas	115
3.21.1. Selección de componentes para el subsistema de control.....	115
3.21.2. Selección de Subsistema de extrusión:	116
3.21.3. Selección De Base De Deposición (Cama Caliente).	117
3.21.4. Otros componentes	119
3.22. Elaboración De Planos De Fabricación Y Montaje.	120
3.23. Presupuesto.	121
Capítulo IV:	123
4. DISCUSIÓN.....	124

4.1. Necesidades de la universidad:	124
4.2. Alternativa de solución:	124
4.3. Selección de material y Cálculo de diámetro de ejes.....	124
4.4. Factores de seguridad para los ejes y soportes:	125
4.5. Potencia y selección de motores.	125
4.6. Velocidad y tiempo de impresión.	125
4.7. Resolución de impresión.....	125
4.8. Diseño paramétrico	126
4.9. Selección de sistema de control.	126
4.10. Selección de sub sistemas.	126
Capítulo V:.....	127
CONCLUSIÓN	127
5. CONCLUSIONES.....	128
Capítulo VI:	129
RECOMENDACIONES	129
6. RECOMENDACIONES.	130
Capítulo VII:.....	131
REFERENCIAS	131
7. REFERENCIAS	132
ANEXOS.....	134
ANEXO A: FORMATO DE ENTREVISTA APLICADA.....	135
ANEXO B: NORMATIVA RELACIONADA A LAS IMPRESORAS 3D	136
ANEXO C: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO AISI 304/ FACTORES MARIN	137
ANEXO D: ESPECIFICACIONES TECNICAS MOTOR NEMA 17.....	138
ANEXO E CÁLCULOS DE LOS DIAMETROS PARA EJES X, Y, Z.	139
ANEXO F: CONFIGURACIÓN DEL FIRMWARE MARLIN	150
ANEXO H: PLANO DEL CONJUNTO GENERAL DE LA MAQUINA.....	170
ANEXO I: PLANO TAPA FRONTAL SUPERIOR	170
ANEXO J: PLANO TAPA FRONTAL INFERIOR	170
ANEXO K: PLANO TAPA SUPERIOR	170
ANEXO L: PLANO TAPA INFERIOR.....	170

ANEXO M: PLANO TAPA LATERAL.....	170
ANEXO N: PLANO TAPA POSTERIOR.....	170
ANEXO Ñ: PLANO CUBIERTA POSTERIOR	170
ANEXO O: PLANO PERFIL ANGULAR 38,1 mm x 38,1 mm.....	170
ANEXO P: PLANO PERFIL ANGULAR 25,4 mm x 25,4 mm	170
ANEXO Q: PLANO EJE X.....	170
ANEXO R: PLANO EJE Y	170
ANEXO S: PLANO EJE Z.....	170
ANEXO T: PLANO MESA DE TRABAJO	170

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1 IMPRESORA 3D PRUSA DE LA PUCP	16
FIGURA N° 2 TECNOLOGÍA DE IMPRESIÓN 3D	20
FIGURA N° 3 PROCESO DE LA IMPRESIÓN 3D	20
FIGURA N° 4 SINTERIZADO SELECTIVO LÁSER	22
FIGURA N° 5 PROCESO DE ESTEREOLITOGRAFÍA	23
FIGURA N° 6 TECNOLOGÍA FMD	24
FIGURA N° 7 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO Y TÉCNICA DE MODELADO FDM	27
FIGURA N° 8 IMPRESORA 3D TIPO DELTA	30
FIGURA N° 9 IMPRESORA 3D TIPO CARTESIANA PRUSA I3	31
FIGURA N° 10 IMPRESORA 3D TIPO POLAR	32
FIGURA N° 11 IMPRESORA 3D TIPO BRAZO ROBÓTICO	33
FIGURA N° 12 FUENTE DE ALIMENTACIÓN CONMUTADA PARA IMPRESORA 3D	34
FIGURA N° 13 KIT ARDUINO RAMPS 1.4 CON ARDUINO MEGA PARA IMPRESORA 3D	35
FIGURA N° 14 EJEMPLO DE UN TIPO DE ESTRUCTURA DE IMPRESORA 3D DE MOVIMIENTO CARTESIANO	35
FIGURA N° 15 MOTOR NEMA 17	36
FIGURA N° 16 CABEZAL DE EXTRUSIÓN	36
FIGURA N° 17 CAMA CALIENTE PARA IMPRESORA 3D	37
FIGURA N° 18 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA USADA	43
FIGURA N° 19 CAJA NEGRA APLICADA AL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	44
FIGURA N° 20 SISTEMA DE MOVIMIENTO CARTESIANO TÍPICO DE IMPRESORA PRUSA I3	55
FIGURA N° 21 SISTEMA DE MOVIMIENTO TÍPICO DE IMPRESORA MAKER BOT	56
FIGURA N° 22 SISTEMA DE MOVIMIENTO TÍPICO DE IMPRESORA CUBE 3D PRINTER	57
FIGURA N° 23 CONCEPTO DE CARCASA CON COMPARTIMIENTO CON FILAMENTO EN LA PARTE POSTERIOR	58
FIGURA N° 24 CARCASA SEMICERRADA CON TAPAS LATERALES, RODETE Y ELECTRÓNICA EXTERIOR.	59
FIGURA N° 25 CARCASA SEMICERRADA CON ELECTRÓNICA INTERIOR Y ROLLO DE FILAMENTO EXTERNO	60
FIGURA N° 26 DISEÑO DE CONFIGURACIÓN DE CARCASA	65
FIGURA N° 27 DIMENSIONES GENERALES DE LA IMPRESORA	66
FIGURA N° 28 PANTALLA DE INICIO INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO PARA DETERMINAR DIÁMETRO DE EJES.	78
FIGURA N° 29 CÁLCULOS PARA HALLAR DIÁMETRO DEL EJE X	79
	X

FIGURA N° 30 CÁLCULOS PARA HALLAR DIÁMETRO DEL EJE Y	80
FIGURA N° 31 CÁLCULOS PARA HALLAR DIÁMETRO DEL EJE Z	80
FIGURA N° 32 GRÁFICA PARAMÉTRICA (GUI) DE SELECCIÓN DE MATERIAL, FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO.	81
FIGURA N° 33 ANÁLISIS ESTÁTICO PARA LOS EJES X, Y	82
FIGURA N° 34 ANÁLISIS ESTÁTICO DEL EJE Z	83
FIGURA N° 35 ESTRUCTURA GENERAL DEL CHASIS	85
FIGURA N° 36 FACTOR DE SEGURIDAD DE LA ESTRUCTURA	86
FIGURA N° 37 DEFORMACIÓN UNITARIA	87
FIGURA N° 38 ESFUERZOS VON MISES	88
FIGURA N° 39 RESULTADOS DE ANÁLISIS VON MISES	89
FIGURA N° 40 DEFORMACIÓN O DESPLAZAMIENTO EN EL EJE Z DE LA MESA DE TRABAJO	90
FIGURA N° 41 DETERMINACIÓN DE FACTOR DE SEGURIDAD PARA MESA DE TRABAJO	91
FIGURA N° 42 RELACIÓN DE VELOCIDAD Y TEMPERATURA DE IMPRESIÓN PARA EL FILAMENTO ABS	93
FIGURA N° 43 RELACIÓN DE VELOCIDAD Y TEMPERATURA DE IMPRESIÓN PARA EL FILAMENTO PLA	94
FIGURA N° 44 TABLA DE TIPO DE RELLENO PARA IMPRESIÓN 3D	95
FIGURA N° 45 DCL DEL MOTOR Y POLEAS	98
FIGURA N° 46 POLEA GT2	98
FIGURA N° 47 MOTOR NEMA 17	103
FIGURA N° 48 FUENTE DE ALIMENTACIÓN 360 W	106
FIGURA N° 49 MODELO 3D DE LA ESTRUCTURA	108
FIGURA N° 50 ESQUEMA GENERAL DE CONTROL DE LA IMPRESORA	109
FIGURA N° 51 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL MODO DE IMPRESIÓN AUTOMÁTICO..	110
FIGURA N° 52 INTERFAZ DEL SOFTWARE REPETIER HOST	111
FIGURA N° 53 INTERFAZ GRÁFICA DE FIRMWARE MARLIN.	113
FIGURA N° 54 MONTAJE DE RAMPS 1.4 EN PLACA MEGA 2560	114
FIGURA N° 55 CONEXIÓN DE COMPONENTES PARA EL SISTEMA ELECTRÓNICO DE IMPRESORA 3D	115
FIGURA N° 56 HOTEND E3DV6	117
FIGURA N° 57 CAMA CALIENTE MK3	118
FIGURA N° 58 ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS PARA LA CAMA CALIENTE	119

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 TIPOS DE IMPRESORAS POR TECNOLOGÍAS.	21
TABLA 2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	45
TABLA 3 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	46
TABLA 4 RESULTADOS DE LA ENTREVISTA REALIZADA.	53
TABLA 5 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	54
TABLA 6 TABLA DE ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA.	54
TABLA 7 MATRIZ DE SELECCIÓN PARA SISTEMA DE MOVIMIENTO.	62
TABLA 8 MATRIZ DE SELECCIÓN PARA LA CARCASA DE LA IMPRESORA 3D.	64
TABLA 9 ESCALA DE CALIFICACIÓN, PONDERACIÓN E INTERPRETACIÓN.	73
TABLA 10 MATRIZ DE SELECCIÓN PARA MATERIAL DE EJES	74
TABLA 11 DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS PARA EL EJE X.	74
TABLA 12 DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS DEL EJE Y.	75
TABLA 13 DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS PARA EL EJE Z.	75
TABLA 14 VALORES ASIGNADOS PARA EL DISEÑO PARAMÉTRICO.	77
TABLA 15 CÁLCULO MANUAL DE LOS PARÁMETROS DE SALIDA.	79
TABLA 16 MATRIZ DE SELECCIÓN DE MATERIAL PARA EL CHASIS.	84
TABLA 17 ESTIMACIÓN DE TIEMPO DE IMPRESIÓN SEGÚN PORCENTAJE DE RELLENO.	96
TABLA 18 COEFICIENTE DE ROZAMIENTO PARA DISTINTAS SUPERFICIES EN CONTACTO.	97
TABLA 19 COMPONENTES KIT ARDUINO.	116
TABLA 20 OTROS COMPONENTES PARA LA IMPRESORA 3D.	119
TABLA 21 DESCRIPCIÓN Y ANEXO DE PLANOS.	120
TABLA 22 COSTOS DE INVERSIÓN.	121
TABLA 23 COSTO DE MANO DE OBRA.	122
TABLA 24 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO AISI 304.	137
TABLA 25 PARÁMETROS DE FACTOR SUPERFICIAL DE MARÍN.	137

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática:

Segun International Data Corporation (IDC). Se han comercializado 182.000 impresoras 3D en 2015, lo que supone un aumento del 37% respecto al año anterior. De 2015 a 2020, las impresoras 3D vendidas crecerán un 67,2% cada año, alcanzando los 2,4 millones de equipos llevados a los consumidores en 2020. Los datos de IDC indican que, entre impresoras, materiales, software y servicios, el mercado de la impresión 3D movió el año 2015 la suma de 13.200 millones de dólares, si todo va de acuerdo con lo previsto, crecerá un 22,3 % durante los siguientes años, hasta alcanzar los 28.900 millones de dólares en 2020. (IDC, 2015). En Argentina desde el año 2013 se viene impulsando políticas de innovación y desarrollo de la impresión 3D como parte de un programa de investigación tecnológico. “Se han financiado 10 proyectos de I+D y 25 proyectos de adopción de la tecnología y capacitación en Universidades Públicas Nacionales. (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva), Colombia también viene realizando investigación en el campo de la impresión 3D, la Universidad Nacional de Colombia está impulsando el interés de los estudiantes para incursionar en el mundo del modelado en 3 dimensiones. “Se trata de una herramienta imprescindible para estar a la vanguardia de la tecnología”, afirman Juan Pablo Escamilla, profesor de la Facultad de Ingeniería, y Rafael González, estudiante de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Elementos.

En el Perú la primera universidad en presentar una impresora 3D adquirida para uso académico fue la “Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)”, quien presentó la primera impresora 3D. Se trata de Fortus 400mc que crea modelos de diseños de plástico y otros materiales, los cuales van desde huesos humanos hasta drones (naves no tripuladas), pasando por extractores de jugo y joysticks para consolas de videojuegos. (República, 2013). De acuerdo a Jennifer Wong, coordinadora de la Sala de Manufactura Digital –VEO 3D de la PUCP, los sectores de metalmecánica, salud, moda y automotriz son los que más la utilizan, seguido de otras áreas de ingeniería (Ballena, 2016).

La Universidad Señor de Sipán es una empresa privada que se dedica a la educación, brinda una formación académica de calidad en valores y servicio, comprometida con la creación del conocimiento basado en la investigación científica con la finalidad de formar profesionales emprendedores, humanistas críticos y creativos, capaces de enfrentar retos para lograr el desarrollo socio económico, cultural, tecnológico, político regional e internacional. Ofrece 19 carreras profesionales agrupadas en, 5 facultades, durante el año 2105, según la revista América Economía, ingresó al ranking de las mejores universidades del Perú en el puesto 20 de este ranking (ALCÁNTARA, 2016).

Actualmente la universidad cuenta con laboratorios como, mecánica de fluidos, circuitos eléctricos, transferencia de calor, mecánica de suelos y otros. En ingeniería mecánica eléctrica, para los cursos de diseño no se cuenta con un laboratorio especializado, y los trabajos de diseño CAD que realizan los estudiantes terminan solo en diseños. La universidad no cuenta con tecnología de impresión donde los estudiantes puedan realizar prototipos de sus diseños como se viene dando en muchas universidades del país y de la región. Al mismo tiempo esta tecnología da la oportunidad de realizar piezas didácticas para los docentes que dictan cursos donde se estudian elementos de distintas máquinas y mecanismos, las cuales contribuirían a un mejor aprendizaje de los alumnos. Además, poder fabricar a través de la impresión 3D piezas de remplazo para equipos de poca potencia, o remplazar piezas metálicas que estén sometidas a bajos o nulos esfuerzos, también permitirá a los estudiantes ser instruidos en los principios básicos de control numérico y programación, se podrá ofrecer el servicio de prototipado rápido a otras escuelas profesionales y/o empresas particulares que necesiten materializar sus diseños en muestras reales.

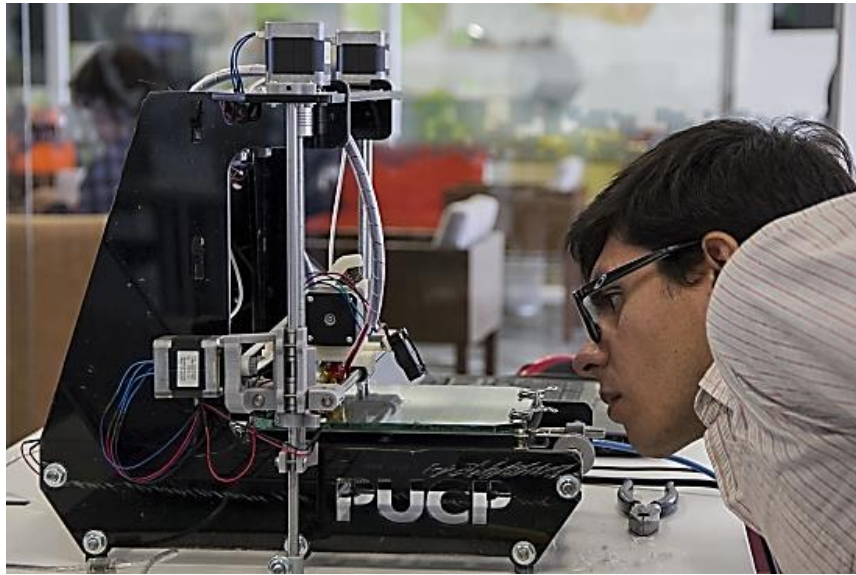


Figura N° 1 Impresora 3d Prusa de la PUCP

Fuente: <http://puntoedu.pucp.edu.pe/noticias/cual-es-el-futuro-de-la-impresion-3d/>

El presente trabajo consiste en el diseño de una impresora 3D, con sistema FDM, (Fused Deposition Modeling o modelado por deposición fundida) para fines educativos, enfatizando el diseño, prototipado de piezas para muestra, y la realización de componentes mecánicos para uso didáctico de docentes y estudiantes.

1.2. Antecedentes de la investigación:

En este proyecto se encontraron antecedentes de estudios como referencia:

Avelino Hernandez, Hugo A. Gomez Ortega, Arturo (2011), Diseñaron una impresora 3D por extrusión de termoplástico para la fabricación de piezas y modelos, para este propósito los estudiantes emplearon una metodología conocida como DFMA ((Design for Manufacture and Assembly), El proyecto contempla el diseño de la estructura y sistema de movimiento, así como el diseño de selección de componentes como motores, electrónica, etc. El diseño de las columnas para la estructura, los ejes lisos para soporte del cabezal de extrusión y mesa de deposición y la base para el extrusor, fue evaluado

mediante el método de elementos finitos con ayuda del software solidworks, el material seleccionado es un canal de aluminio de aleación 6063 T-5 que tiene un esfuerzo de cedencia de $78,4 \text{ MN/m}^2$ para las columnas y los ejes lisos fueron acero inox 304 cuyo límite de cedencia es de 688.8 MN/m^2 . Los resultados muestran para las columnas de aluminio un esfuerzo de 13 MN/mm^2 y 47.2 MN/mm^2 para las varillas de acero inox. Se concluye que la velocidad óptima de impresión para filamento de ABS está en el rango de $1500 - 2000 \text{ mm/s}$, y la temperatura en el hot end de $250 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura del hot-bed $120 \text{ }^\circ\text{C}$, altura de capa $0,7\text{mm}$, con una boquilla de $0,5 \text{ mm}$.

Torres, Edgar A. León, Jersson X. (2011), Realizaron el diseño y construcción de una impresora 3d aplicando la técnica de prototipado rápido modelado por deposición fundida. El desarrollo del sistema tiene en cuenta un diseño mecánico, el diseño del extrusor, la selección de sensores y actuadores y el diseño del sistema de control. Los resultados de los cálculos para el diseño muestran los siguientes valores para el extrusor: Generado de energía térmica de 50 W : Espesor del aislamiento térmico 6 mm , Diámetro del cordón de polímero 3 mm , Diámetro de la boquilla 0.5 mm ; La velocidad máxima permitida para la deposición de material fundido es de 0.235 mm/s , las velocidades para los ejes X, Y, Z son respectivamente 0.415 mm/paso , 0.400 mm/paso , $0.375 \text{ } \mu\text{m/paso}$. El diseño e implementación del sistema de posicionamiento corresponde a un mecanismo de tres grados de libertad, con una precisión de respuesta que se ajusta a los criterios de diseño definidos.

Romero Sánchez, Martín D. (2014), Diseñó y construyó una impresora 3D, cuyo principal objetivo es que la impresión de objetos mediante la tecnología FDM sirva como un método efectivo de fabricación industrial. Se realizaron ensayos para determinar las resoluciones óptimas de impresión, Como resultado se obtuvo que la resolución máxima (coincidente con el vértice de la forma triangular) es de $400 \text{ } \mu\text{m}$, sin embargo, hay que considerar que estos ensayos de realizaron con una boquilla de 0.35mm , en el caso de emplear una de menor tamaño se alcanzará una mayor resolución. Finalmente se concluyó que los resultados del proyecto son adecuados como para dejar abierta la posibilidad de futuros proyectos de mejora y al mismo tiempo sirva de guía para la adaptación en otros proyectos similares.

Student, Department of Civil and Environmental Engineering, American University of Beirut, Lebanon (2015), Diseñaron una máquina de impresión 3D para concreto, diseñada para moverse en un plano ($x - y - z$) con el fin de imprimir en tres dimensiones. Se calculó la velocidad de extrusión de la mezcla óptima, se ajustó para mantener los criterios apropiados para la impresión. La velocidad de extrusión de la tobera se calculó que era de 0,09 litros/s. Así, la velocidad apropiada que fue compatible se estableció como 18,76 cm/s. Se concluyó que la aplicación del prototipo de impresión en este documento a la construcción real es muy eficaz, al menos para las estructuras a pequeña escala. Fue esencial encontrar una relación equilibrada entre la velocidad de extrusión de la mezcla y la velocidad de la máquina.

Calderón, Miguel A. (2016), Diseñó y construyó una impresora 3D que utiliza plástico PLA, ABS o Nylon, tipo delta, de bajo costo, y realizar el control metrológico en los productos impresos. El proyecto implica el diseño de la estructura de una impresora 3D tipo delta, así como otros componentes relacionados con el movimiento del extrusor como son: los acoples o estructuras de rodamiento, etc. El diseño de la estructura se fundamenta en la elección de varios componentes fundamentales como: perfiles de aluminio, ejes de acero calibrados de 12mm y rodamientos para los ejes, etc. Una vez ensamblada la impresora y realizado el proceso de calibración, se encontró que la tolerancia de las piezas impresas varía entre (0.4 - 0.6) mm. Se concluyó que el diseño es aceptable ya que las tolerancias encontradas están en un rango aceptado y usual entre las impresoras que se encuentra en el mercado.

Gasca, Efraín A., Cortés Torres Eliseo de J., Peña Cortés César A. (2016), Diseñaron una impresora 3D aplicando la metodología Desarrollo de la Función de la Calidad (QFD), para ello primero se diseñó una plataforma robótica paralelo de 3 GDL dos para la plataforma de impresión y uno para el cabezal de extrusión, el proyecto contempla el uso de un extrusor tipo Bowden y plataforma caliente Heatbed, para la construcción de las piezas se aplicó los métodos de manufactura como fresado, torneado, soldadura. La máquina fue puesta en funcionamiento realizando diversas pruebas de impresión, obteniendo como resultado: esta máquina al ser un mecanismo de cadena

cinemática cerrada brinda altas prestaciones como: alta repetitividad, precisión y velocidad, por lo que se concluyó que al involucrar la metodología de planificación QFD, se diseñó en función de los requerimientos del usuario, trazando las rutas de desarrollo que permitieron la ejecución del proyecto de manera satisfactoria.

1.3. Teorías Relacionadas al Tema

1.3.1. Tecnología de Impresión 3D

El término “impresión 3D” se utiliza para denominar diferentes tecnologías de manufactura que permiten crear objetos partiendo de un modelo digital. La mayoría de ellas funciona añadiendo finas capas de material hasta completar un producto. En la actualidad existen más de una decena de técnicas de impresión diferentes que admiten, según la tipología, diversos tipos de materiales, incluyendo plásticos, resinas y metales. Suelen clasificarse, según su uso y prestaciones, en domésticas o de escritorio, profesionales e industriales.

Estas tecnologías pueden ser utilizadas en diferentes instancias del ciclo de vida del producto. Al presente, debido a cuestiones relacionadas con los tiempos de impresión, los costos y la terminación superficial, entre otras, se utilizan mayoritariamente en las etapas de diseño (elaboración de prototipos para testeo del diseño, dimensiones, ergonomía, etc.), pero crece su aplicación para la fabricación de un producto final (Ministerio de ciencia, 2015).



Figura N° 2 Tecnología de Impresión 3D

Fuente: <https://www.simplify3d.com/support/hardware-setup-guides/xyzprinting-da-vinci-1-0/>.

1.3.2. Funcionamiento de Una Impresora 3D

La impresión 3D conocida también como prototipado por adición de material consiste en materializar un objeto a partir de un modelo realizado en un software de diseño CAD, de los cuales existen muchos. El prototipado rápido es el proceso por el cual se crea una pieza tridimensional añadiendo material capa por capa hasta obtener la pieza 3D de diseño. Este procedimiento permite crear objetos con formas internas y externas complejas que no podrían ser fabricadas de otra forma (ALEJANDRO, 2012).

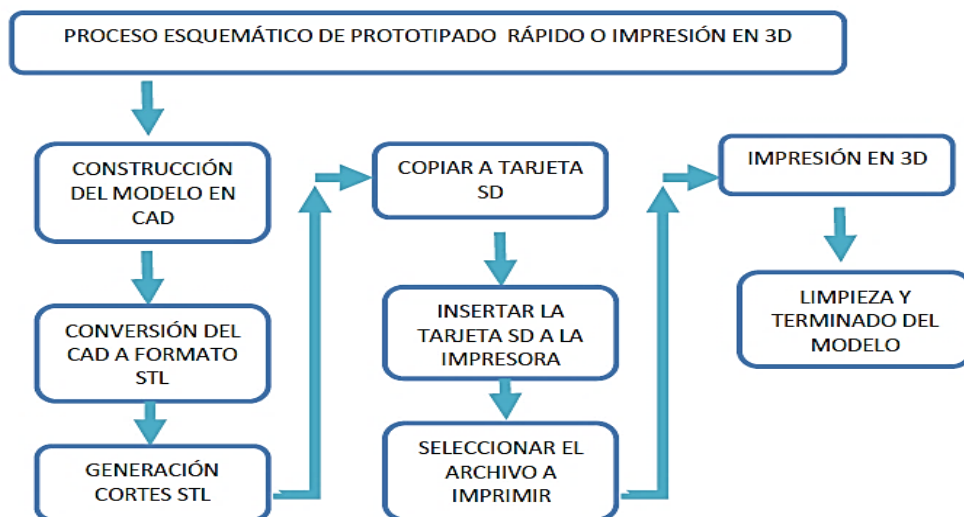


Figura N° 3 Proceso de la impresión 3D

Fuente: Tesis de maestría en ciencias mejoramiento del diseño y ensamblado de una impresora en 3d (Alejandro, 2012).

1.3.3. Principales Tecnologías De Prototipado

Tipos De Impresoras Según la Tecnología Que Utilizan.

Se clasifican como se muestra en la tabla No 01:

Tabla 1 Tipos de impresoras por tecnologías.

TIPO	TECNOLOGÍA	MATERIALES
Compactación	Sinterizado directo del metal por láser (DMLS)	Aleaciones
	Fusión por has de electrones (EBM)	Aleación de titanio
	Sinterizado selectivo por calor (SHS)	Polvo termoplástico
	Sinterizado selectivo por láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos
	Proyección aglutinante (DSPC)	Yeso
Extrusión, Adición	Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos (PLA, ABS), HDPE, metales eutécticos, materiales comestibles.
Hilado	Fabricación por haz de electrones (EBF3)	Aleaciones
Laminado	Laminado por capas (LOM)	Papel, papel de aluminio, capa de plástico
Fotoquímicos	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímero
	Fotopolimerización por luz ultravioleta (SGC)	Fotopolímero

Fuente: revista caribeña de ciencias sociales, junio 2016 - ISSN: 2254-7630

Recuperado de. <https://recicla3dplabs.wordpress.com/2014/09/26/metodos-de-impresion-3d/>

Las tecnologías más resalantes se describen a continuación:

Sinterizado selectivo por láser SLS

Este método es una técnica de prototipado rápido, se basa en la colocación de una fina capa de material en polvo de unas décimas de milímetros sobre un recipiente a determinada temperatura ligeramente inferior a la de fusión del material, luego un láser sinteriza el material en polvo causando que estas partículas se fusionen y solidifiquen repitiendo sucesivamente capa por capa hasta obtener la pieza final del diseño. El polvo no solidificado actúa como material de soporte y puede ser recuperado para usarse en posteriores trabajos.

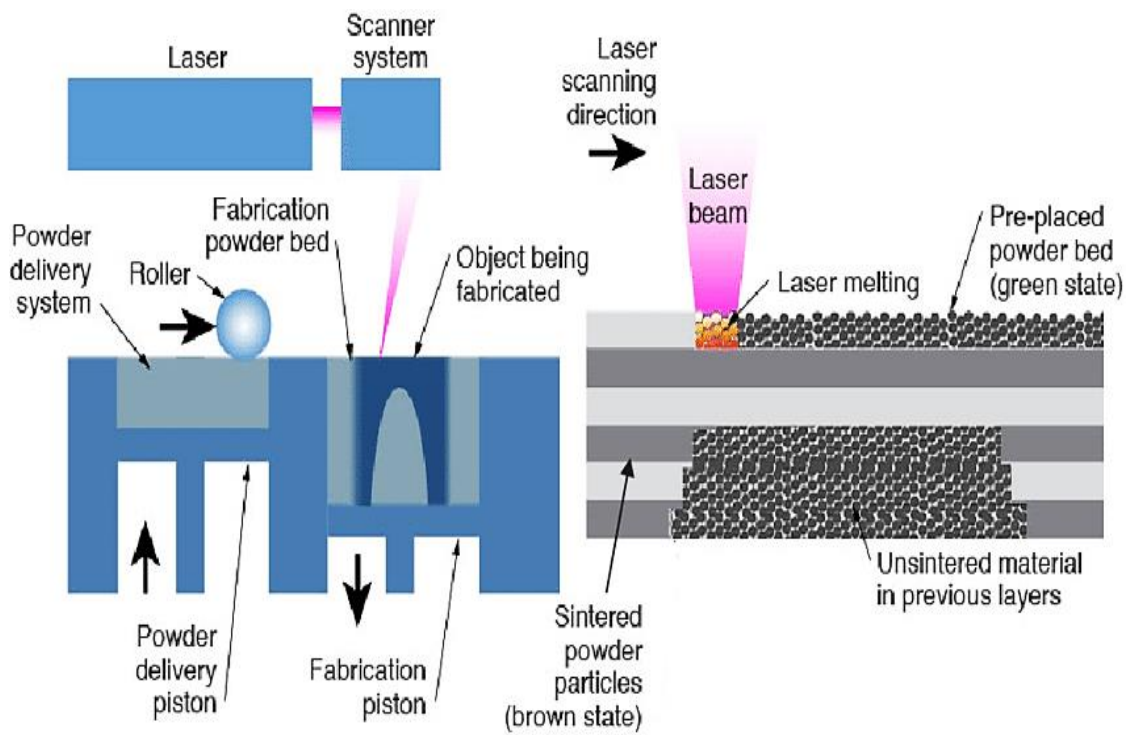


Figura N° 4 Sinterizado selectivo láser

Fuente: <http://es.3dilla.com/impresora-3d/selective-laser-sintering/>

Impresoras con Tecnología de Estereolitografía.

Este método consiste en la curación y solidificación de un material foto polimérico en estado líquido. Mediante la acción de un láser ultravioleta a la longitud de onda necesaria para que el material solidifique esta solidificación se va realizando por capas hasta completar el diseño.

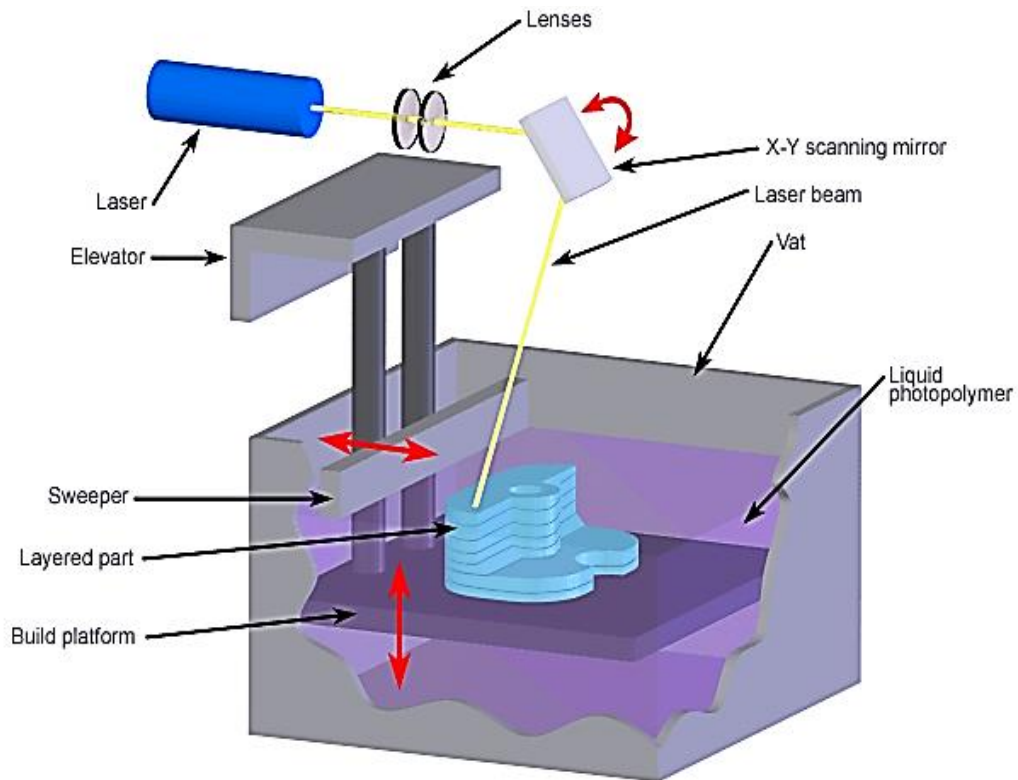


Figura N° 5 Proceso de Estereolitografía

Fuente: <http://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-por-estereolitografia-les-explicamos-todo/>

Deposición por plástico fundido FDM

En 1992 se patentó el método de Fused Deposition Modeling (en adelante, FDM). Esta tecnología se basa en la deposición de capas de plástico fundido sobre otras capas a fin de construir capa por capa el prototipo. El material que se utiliza es un filamento normalmente de ABS o PLA, el proceso se inicia en una bobina donde se coloca el filamento, luego este pasa por un extrusor a temperatura superior a la de transición vítrea del material, y es extruido a través de una tobera (hot end). Esta tobera se suele mover gracias a motores electrónicos paso a paso, normalmente cada uno para un eje cartesiano, una vez que se ha creado una capa, el cabezal de impresión se eleva a una altura correspondiente a su espesor y repite el proceso una vez más hasta que se han formado todas las capas proporcionadas por el modelo 3D, también existen otras máquinas que usan sistemas de movimiento distintos, a menudo se emplea un material de soporte soluble en algún determinado compuesto o fácil de separar.

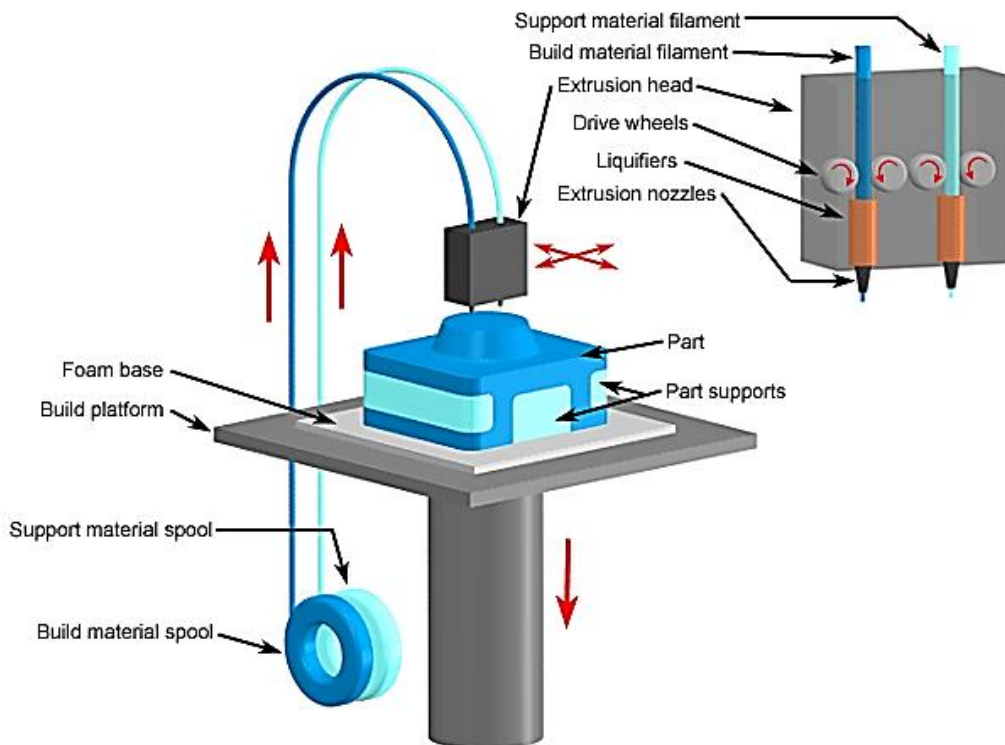


Figura N° 6 Tecnología FMD

Fuente: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>

1.3.4. Materiales Usados En Impresión 3D Con Tecnología FDM

Los materiales más usados y comerciales en la actualidad son: Plástico, por sus ventajas prácticas en el proceso de fundido, bajo costo y Polímeros como: Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), Ácido Polilactico (PLA).

Plástico.

Según su estructura se clasifican en tres grupos: termoplásticos, termoestables y elastómeros:

- A. **Los termoplásticos.** - son plásticos termosensibles, ya que los enlaces entre las cadenas poliméricas que contienen enlaces covalentes son débiles y sensibles al calor. Estos polímeros contienen generalmente carbono y se hacen mediante polimerización por adición o condensación.

Los termoplásticos se usan comúnmente en aplicaciones cotidianas regulares tales como botellas de beber. A medida que estos polímeros se funden a alta temperatura y se solidifican cuando se enfrían, pueden reciclarse fácilmente.

- B. **Los termoestables.** - son plásticos que tienen cadenas reticuladas. El polímero está químicamente unido. Esto hace que el material sea resistente al calor, ya que los polímeros reticulados resistirán el movimiento. Estos plásticos se consiguen por polimerización por condensación. Los termoendurecibles generalmente se consideran superiores a los termoplásticos en aplicaciones de ingeniería, ya que tienen propiedades de material más fuertes. El inconveniente de estos materiales es que son difíciles de reciclar.

- C. **Los elastómeros.** - Son materiales artificiales obtenidos por síntesis química que tiene propiedades similares a las del caucho, como la elasticidad, siendo capaces de recobrar su longitud y forma original después de sufrir deformaciones por estiramiento, pero no pueden fundirse de nuevo. Los elastómeros están formados por cadenas unidas lateralmente y plegadas sobre ellas mismas, como una bobina, además de que son adherentes y duros.

Los más corrientes son:

Caucho natural (aislantes, neumáticos...), Caucho sintético (componentes de coches, tuberías, esponjas...). (Lipponen, 2015).

Polímeros.

compuesto, ya sea sintético, natural o químico, que se crea a través de un fenómeno conocido como polimerización, a partir de la repetición de unidades estructurales.

A. Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)

ABS es un polímero termoplástico comúnmente utilizado por la industria del plástico para diferentes aplicaciones. Es uno de los materiales que se usan para el filamento de impresión 3D de alto grado de consumo. ABS es un material duro y robusto con una larga vida útil, lo que lo hace ideal para aplicaciones mecánicas. Las temperaturas de proceso típicas varían de 215-250 ° C (Lipponen, 2015).

B. Ácido Polilactico (PLA)

PLA es también un material común utilizado por las impresoras FDM 3D de alto grado de consumo. No requiere una superficie caliente para la impresión. El material es generalmente más débil que el ABS. Sin embargo, este material es ecológico ya que es biodegradable. La temperatura de procesamiento es menor y oscila entre 160-220 ° C (Lipponen, 2015).

El presente proyecto se llevará a cabo usando el tipo de impresora 3D por extrusión o modelado por deposición fundida (FDM).

1.3.5. Impresoras Con Tecnología FDM

Esta técnica de prototipado rápido basada en la extrusión es la más usada después de la estereolitografía y la más comercial por haber llegado incluso al uso de ámbito doméstico, con gran aceptación debido a su versatilidad de aplicaciones y su fácil uso.

Funcionamiento

Un filamento de plástico se desenrolla de una bobina y abastece material hacia una boquilla de extrusión. La boquilla se alimenta con el filamento que es calentado a una temperatura por debajo de la temperatura de fusión del material. La boquilla va depositando finas capas de plástico una sobre otra hasta terminar completamente la pieza. El material fundido se solidifica al ir haciendo contacto con la superficie donde el material se va uniendo para obtener un sólido.

La impresora 3D consta de un extrusor y un sistema de movimiento cartesiano. Para formar la primera capa la máquina realiza dos movimientos a través de sus mecanismos para cada coordenada, depositando el material con la trayectoria requerida. Después, se repite el procedimiento para que el extrusor deposite la segunda capa sobre la primera y así sucesivamente (Navarrete, P. Chancusi, T, 2014).

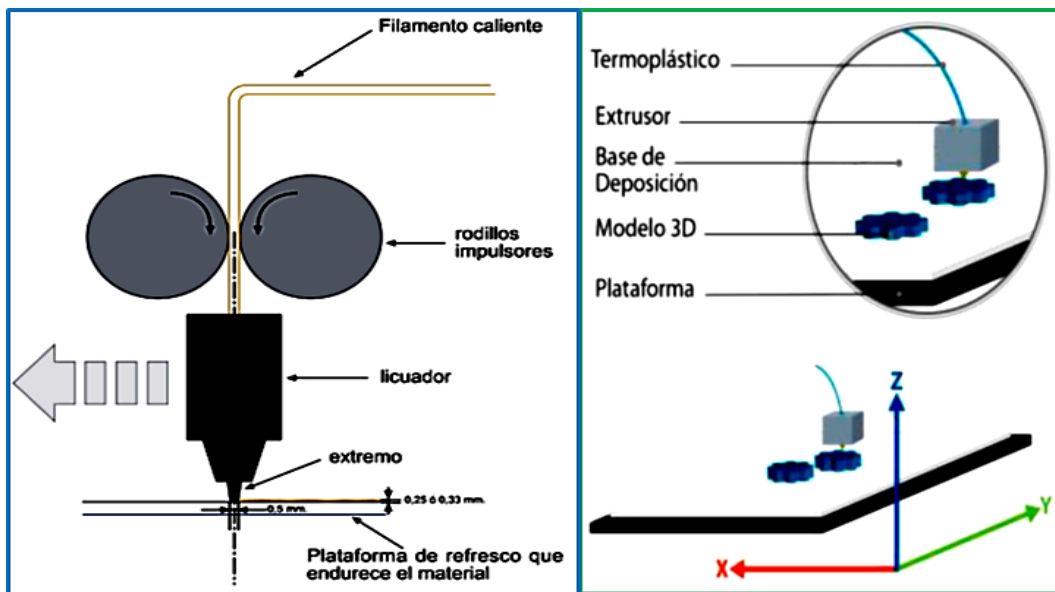


Figura N° 7 Esquema de funcionamiento y técnica de modelado FDM

Fuente: Tesis “diseño y construcción de una impresora 3d auto-replicable controlada inalámbricamente para el prototipado de piezas plásticas de bajo costo, mediante software libre (Navarrete, P. Chancusi, T, 2014).

Ventajas Y Desventajas De Impresión 3D Con El Método FDM.

Ventajas:

1. Los materiales usados permiten fabricar prototipos funcionales.
2. Los modelos pueden ser generados en varios colores.
3. Fácil y seguro de usar, se utiliza materiales económicos.
4. Piezas menos pesadas que de otras tecnologías.
5. No se deforman son aptos para pintar cromar y mecanizar.
6. Excelente resistencia a la temperatura.
7. No genera desechos contaminantes.

Desventajas

1. Precisión limitada comparada con procesos basados en líquidos.
2. Es difícil construir diseños con detalles muy complejos
3. El tamaño de construcción es limitado.
4. Se tiene una impredecible contracción en el material al ser depositado.
5. Necesita soportes para algunos diseños.
6. No se pueden hacer paredes muy delgadas.
7. El proceso puede emitir ciertos vapores tóxicos según el material de impresión.

(Navarrete, P. Chancusi, T, 2014)

Aplicaciones.

Ingeniería: Permite a los ingenieros poner a prueba ideas de productos tridimensionales a bajo costo, antes de comprometerse con herramientas costosas y procesos de fabricación complicados.

Arquitectura: Es una parte clave del proceso creativo para empresas de arquitectura, pues al disponer de maquetas rápidas es una ventaja real a la hora de conocer las necesidades y expectativas de los clientes.

Educación: En este sector brinda la posibilidad de poner en práctica la creatividad de los alumnos, aumentando en gran medida su capacidad de aprendizaje.

Arte: Permite a los artistas crear objetos que serían increíblemente difíciles, costosos o que consumiría mucho tiempo construir con los procesos tradicionales.

Arqueología: El uso de esta tecnología permite la réplica de reliquias de alto valor cultural donde el contacto directo con sustancias de moldeo puede dañar la superficie del objeto original.

Medicina: Los cirujanos la utilizan para imprimir partes del cuerpo, como referencia antes de realizar cirugías complicadas, o para crear injertos de huesos.

Hogar: Los artículos para el hogar son estructuralmente simples, muy decorativos y perfectos para la impresión 3D.

1.3.6. Tipos de Impresoras 3D según su Tipo de movimiento:

A. Impresora tipo Delta

Las impresoras Delta están basadas en el robot que lleva el mismo nombre. Cuentan con una cama de impresión circular la cual se mantiene fija otorgando mayor precisión. El extrusor está suspendido por encima, posicionado mediante tres brazos articulados que se deslizan arriba y abajo sobre guías verticales dispuestas en una configuración triangular. El posicionamiento del extrusor depende de la altura de cada brazo que se desplaza por toda el área de impresión que está determinado por el diámetro de la base y la altura de los brazos verticales.

El funcionamiento mecánico consiste en el desplazamiento sobre los tres pilares verticales de las tres varillas que sujetan el extrusor. La transmisión de movimiento puede hacerse a través de correas y poleas, varillas roscadas o husillos.

Se caracterizan por alcanzar mayor rapidez en comparación con las tradicionales cartesianas, así como la posibilidad de incrementar la altura de fabricación de forma espectacular sin mermar la calidad de ésta.



Figura N° 8 Impresora 3D tipo delta

Fuente: <https://www.amazon.es/impresoras-3ddelta/s?ie=UTF8&page=1&rh=i%3Aaps%2Ck%3Aimpresoras%203d%20delta>.

B. Impresoras 3D tipo Cartesianas

Estas impresoras reciben este nombre debido al sistema de coordenadas que utilizan para el movimiento, el cartesiano. El movimiento se traduce en tres ejes ortogonales, donde el origen puede variar según la máquina. El hot-end se desplaza en estas coordenadas para realizar la impresión. Además, cuentan con una cama de impresión cuadrada que se desliza a lo largo un eje, impulsada por un motor paso a paso que transmite el movimiento, para ayudar a la impresión.

En estas impresoras, la cama de impresión puede descender (es el caso de la Witbox) o bien el eje X se levantará al construir objetos (como ocurre con la Hephestos). Es sin dudar el tipo de impresora con tecnología FDM más común que hay en el mercado, reciben este nombre debido a que utilizan un sistema de coordenadas dimensionales, el eje X, Y, Z- que se utiliza para determinar dónde y cómo moverse

en tres dimensiones, estos son utilizados para determinar la correcta localización del cabezal de impresión y corregir la dirección del movimiento.

La cama de impresión de esta máquina se mueve únicamente en el eje Z, el extrusor se sitúa sobre el eje X y el Y, así puede moverse en cuatro direcciones.

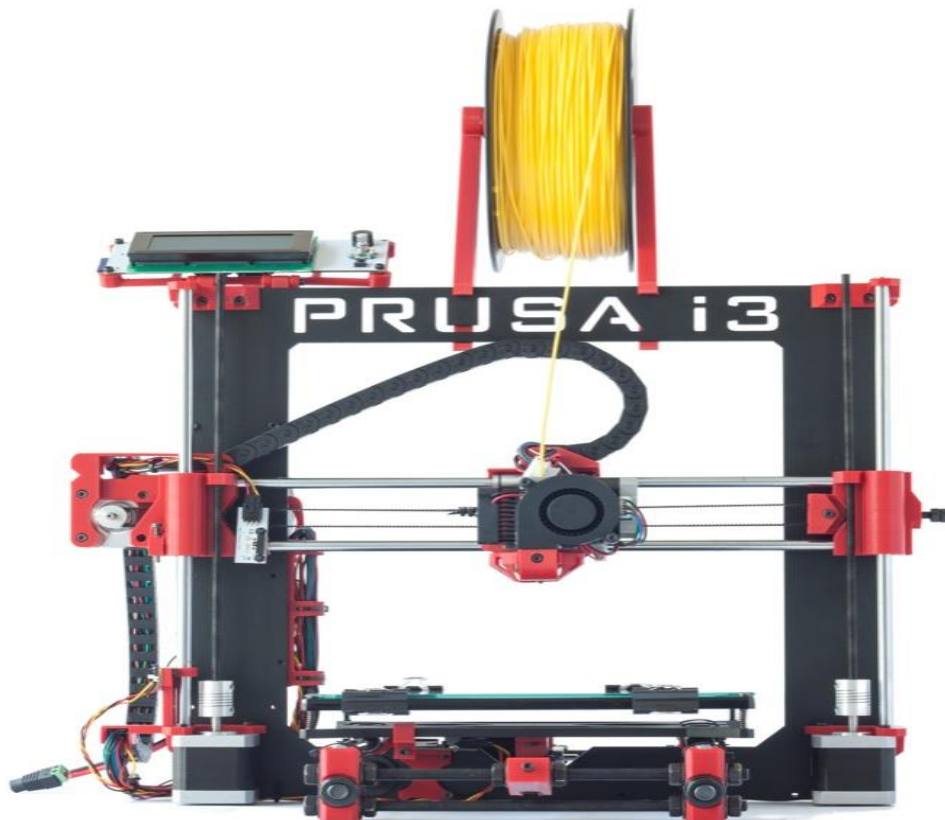


Figura N° 9 Impresora 3D tipo Cartesiana Prusa i3

Fuente: <http://imprimalia3d.com/recursosimpresion3d/dise-carcasa-impresora-3d-modelo-prusa-i3>.

C. Impresoras 3D Polares

La diferencia entre esta máquina con respecto a las cartesianas es que está utiliza las coordenadas polares para imprimir en 3D. Los conjuntos de coordenadas describen puntos en una cuadrícula circular en lugar de un cuadrado, no determinados por los ejes X, Y, Z, pero con ángulo y longitud. Esto significa que la cama de impresión

gira, y la cabeza de impresión puede moverse hacia arriba, abajo, izquierda y derecha; y el extrusor puede moverse de arriba a abajo.

Una ventaja que destacar de estos tipos de impresoras 3D es que pueden funcionar solo con dos motores, y una impresora cartesiana requiere un motor por cada eje, al menos tres, lo que supone un ahorro a largo plazo. Otro punto a favor es que la impresora puede tener un mayor volumen de construcción dentro de un espacio más pequeño.

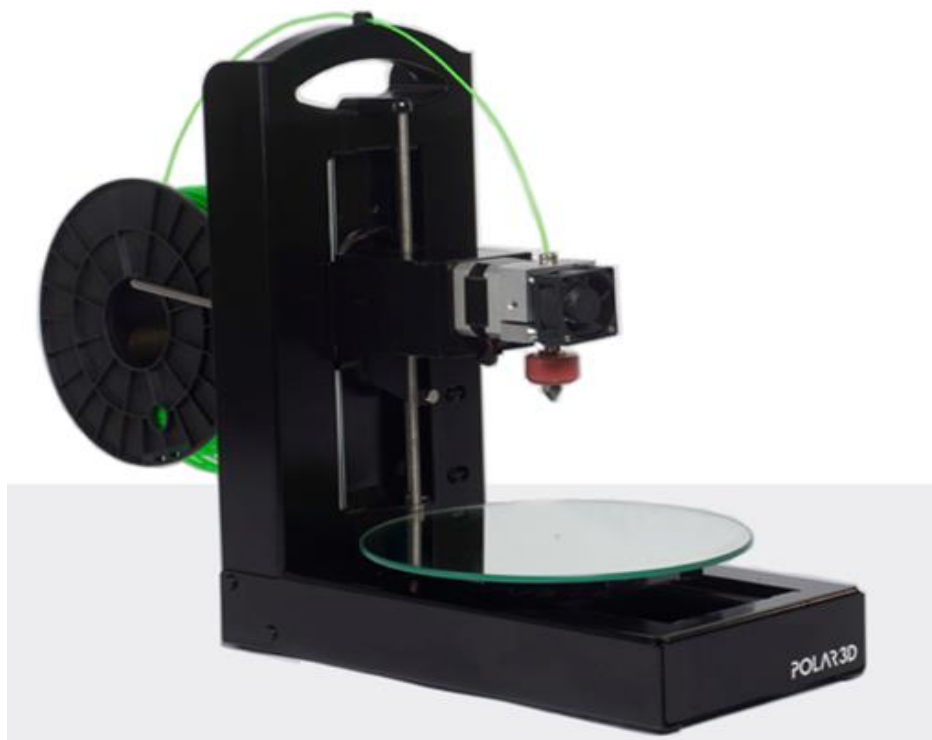


Figura N° 10 Impresora 3D tipo polar

Fuente: <http://3dprintingdatabase.org/es/3dprinter/polar-3d-printer>

D. Impresora 3D tipo Brazos robóticos

Actualmente hay muchos brazos robóticos utilizados para la operación industrial en una línea de montaje de automóviles, pero su función principal es el montaje de piezas de automóviles y no de filamentos de extrusión. La impresión con un brazo robótico

está todavía en desarrollo, en pocas compañías. Es principalmente el negocio de la construcción el que lo utiliza.

Sin embargo, este método de impresión FDM 3D está surgiendo, ya que no necesita una cama de impresión fija y tiene una mayor movilidad. El movimiento de la cabeza del extrusor es también extremadamente flexible, abriendo un montón de nuevas posibilidades de diseños complejos. Desafortunadamente, la calidad todavía no está tan cerca de una impresora cartesiana, muchas compañías están trabajando en su desarrollo.

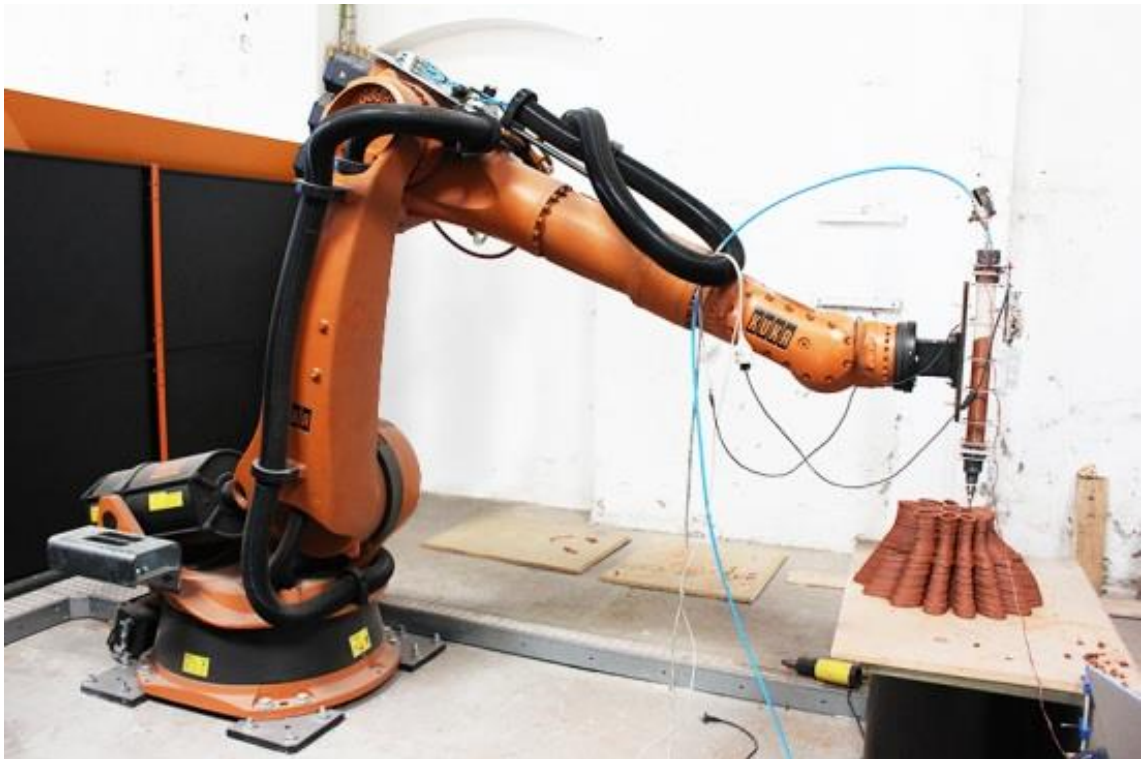


Figura N° 11 Impresora 3D Tipo Brazo Robótico

Fuente: <http://elblogdelplastico.blogs.upv.es/2013/10/>

1.3.7. Partes De Una Impresora 3D con Tecnología FDM

En una impresora 3D al ser un equipo mecatrónico intervienen componentes tanto mecánicos como electrónicos, por lo que en este proyecto se mencionará los subsistemas que lo conforman y los elementos que cada uno contiene:

Subsistema de Alimentación

Este subsistema contiene a una serie de elementos eléctricos y electrónicos que en conjunto conforma la fuente que se encarga de suministrar de energía a todos los componentes de la impresora que la requieran y que al mismo tiempo sirven de protección.



Figura N° 12 Fuente de alimentación conmutada para Impresora 3d

Fuente:http://www.dx.com/es/p/geeetech-350w-12v-29a-s-350-12-ac-dc-switching-power-supply-for-3d-printer-silver-378053#.WVbTqog1_IU

Subsistema de control

Está conformado por el software, firmware y tarjeta electrónica que van a dar las ordenes y controlar el funcionamiento de los sensores y actuadores de la impresora, valga decir que este viene siendo el soporte principal para el funcionamiento, ya que es el intermediario entre el usuario y la máquina.

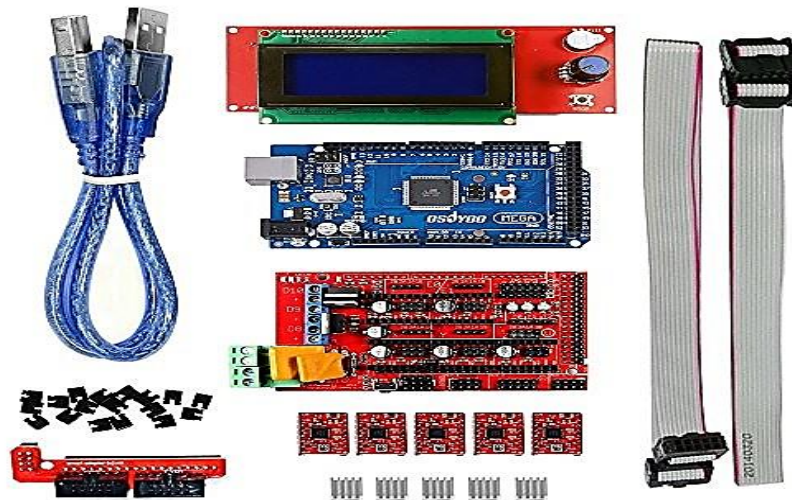


Figura N° 13 Kit Arduino RAMPS 1.4 con Arduino Mega para impresora 3D

Fuente: <http://www.amgkits.com/28-cnc-impresoras-3d>

Subsistema de estructura

Es el soporte físico de la máquina y la que mantiene en su lugar todos los componentes, dando estabilidad al sistema total y permitiendo el funcionamiento óptimo de los sistemas de movimiento.

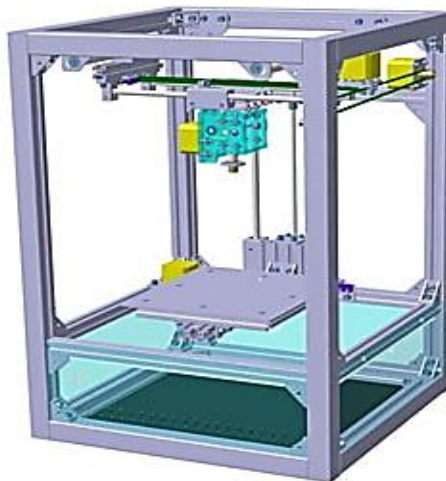


Figura N° 14 Ejemplo de un tipo de estructura de impresora 3D de movimiento cartesiano

Fuente: <http://blog.bricogeek.com/noticias/diy/impresora-3d-de-bothacker-hecha-con-t-slot/>

Subsistema de movilidad

Comprende los elementos que dan el movimiento al cabezal y la mesa de trabajo durante la impresión. Estos son los actuadores, y el sistema de transmisión de movimiento.

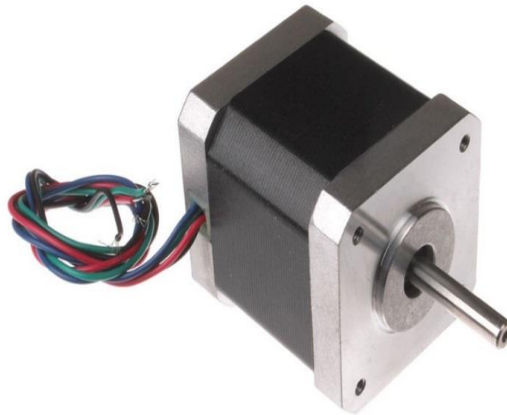


Figura N° 15 Motor NEMA 17

Fuente: <https://www.zonamaker.com/impresion-3d/crea-impresora/3-electronica-crea-imp>

Subsistema de extrusión

Es el conjunto de elementos que realiza el propósito principal de la impresora 3D que es el de extrudir y fundir el material para depositarlo siguiendo un patrón previamente establecido y materializarlo. Para ellos intervienen distintos elementos dentro del cabezal de impresión.



Figura N° 16 Cabezal de Extrusión

Fuente: <http://k-electronica.es/kit-completos/126-kit-de-extrusion-heatcore-unibody-impresoras-3d-witbox-prusa-filamento-en-canarias-tenerife-la-laguna-8436545518793.html>

Mesa de trabajo

Este es el punto final de la operación y tiene la finalidad de servir de soporte durante la impresión para que sea depositado el material manteniendo las condiciones de temperatura adecuadas. También llamado “cama caliente”, por la temperatura alta que debe mantener para la fijación del material gracias a elementos resistivos que proporcionan el calor.

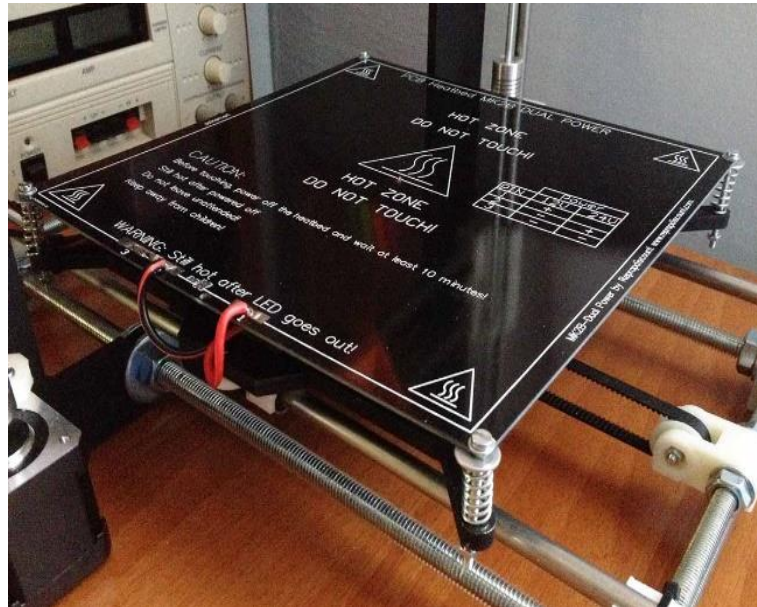


Figura N° 17 Cama Caliente Para Impresora 3D

Fuente: <https://www.zonamaker.com/impresion-3d/crea-impresora/11-cama-caliente-crea-imp>

1.3.8. Definición de términos

Impresora 3D. – Máquina de prototipado rápido capaz de crear sólidos, piezas, maquetas volumétricas mediante la deposición o compactación según el material y la tecnología que utiliza.

Prototipado Rápido. – Se dice del conjunto de tecnologías que permiten la obtención de prototipos, piezas, etc. Dando la posibilidad de efectuar en un tiempo corto diversas pruebas de distintas geometrías para una pieza.

FDM. - (Fused Deposition Modeling): Tecnología que basa su funcionamiento en un hilo de material calentado hasta alcanzar su temperatura de fundición, que se mueve en los planos X, Y, para ser depositado en capas con la ayuda de una tobera, este hilo solidifica rápidamente al ser depositado para formar el modelo de diseño (Avelino, Gómez, O- 2011).

Extrusor. - Es el elemento que se encarga de traccionar el filamento de material de impresión procedente de la bobina hacia el cabezal impresor. Es uno de los elementos operativos más importantes que constituyen la impresora, ya que un mal funcionamiento o mala calibración puede romper el filamento o, generar una mala alimentación de material y afectar la calidad final del producto.

Filamento. - Hilo delgado de polímeros que se vuelve deformable y flexible a altas temperaturas y se enfría rápidamente cuando baja la temperatura.

Tracción. - Esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de fuerzas que actúan sobre él, y tienden a estirarlo.

Motor Paso a Paso. - Es quien se encarga de transmitir el empuje y la fuerza necesaria a los engranajes que traccionan el material de impresión.

Engranaje de tracción. – Son engranes dentados que van montados sobre el eje del motor paso a paso, que se encargan de transmitir el movimiento que genera el motor a los sistemas de tracción.

Rodamientos lineales. – Se usan para realizar Desplazamientos en los ejes X, y Z, por varillas.

Rodamiento de presión. – Pieza que se encarga de presionar el filamento de impresión atrapándolo contra el engranaje (Collado, V- 2016).

Soporte de extrusor. – Es un elemento estructural que sirve como unión entre los elementos funcionales encargados de la tracción y el motor paso a paso.

Hot End. – Pieza que se encarga de recibir el material de impresión en estado sólido, y transmitir la temperatura adecuada para hacerlo pasar a estado semi-líquido.

Tobera. – Elemento tubular cónico encargado de depositar sobre la plataforma de impresión el material fundido dando forma al objeto de impresión.

Cama Caliente. – Superficie donde el filamento es depositado para formar el modelo de impresión.

Arduino. - Es una placa con un micro controlador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. Es el cerebro de la máquina.

1.4. Formulación del Problema

¿Qué arquitectura y especificaciones técnicas tendrá una impresora 3D para la impresión de piezas con un volumen máximo de 30 cm x 30 cm x 30 cm usando filamento de polímero?

1.5. Justificación e Importancia

1.5.1. Justificación Técnica

El presente proyecto asociado al tema producción por prototipado rápido es de mucha importancia para la universidad porque tiene un valor tecnológico, académico y didáctico puesto que sirve como un puente de interacción con la tecnología 3D lo cual permite e incentiva a los estudiantes ingresar al mundo de la investigación para ampliar sus conocimientos en áreas como diseño mecánico, electrónica, programación, etc.

1.5.2. Justificación económica

Actualmente en el mercado nacional encontramos impresoras 3D de tipo no industrial que oscilan entre los 600 a 1800 Dólares Americanos, tomando en cuenta que para el uso que se le pretende dar a la impresora podemos considerar un precio promedio de 700 dólares, pero nuestro proyecto presenta la ventaja de un ahorro, mano de obra para el ensamblado, y fabricación de la carcasa, lo que podría significar un ahorro de hasta el 30% del costo

total, sin perder la calidad del equipo. Además, permitirá ahorrar tiempo y dinero en la impresión de los objetos.

1.5.3. Justificación Ambiental

Entre los materiales más comunes usados en impresión tenemos el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), llamado también plástico de ingeniería por su alta resistencia al impacto, es elaborado a base de petróleo, muy usado por la empresa LEGO en la elaboración de sus juguetes. Uno de los principales desventajas es que despiden vapores que poseen cierto olor e incluso pueden ser considerados peligrosos para la salud, por lo cual se recomienda usar ventilación con extracción de olores al imprimir ABS por un tiempo prolongado, también existe filamento de plástico PLA (ácido poliláctico), polímero biodegradable y ambientalmente amigable. Es un material altamente versátil, que se hace a partir de recursos renovables al 100%, como son el maíz, la remolacha, el trigo y otros productos ricos en almidón. Este material no despiden vapores tóxicos al fundirlo.

1.5.4. Justificación social

Socialmente el proyecto tendrá un impacto positivo ya que, al contar con un equipo de prototipado, los estudiantes pueden optar por el desarrollo de proyectos con fines sociales de ayuda, como el desarrollo de prótesis para personas y animales con amputaciones, mejorar la calidad de enseñanza, incentiva a la investigación y creación de puestos de trabajo, etc.

1.6. Hipótesis

No aplica para esta investigación al ser una tesis de diseño mecánico.

1.7. Objetivos de la Investigación

1.7.1. Objetivo General

Diseñar una impresora 3D para la impresión de piezas de un volumen máximo de 30 cm x 30 cm x 30 cm, usando filamentos de polímero para la Universidad Señor de Sipán.

1.7.2. Objetivos específicos

- a) Identificar las necesidades en IME, definir variables de diseño.
- b) Realizar el diseño de configuración capaz de solucionar el problema.
- c) Determinar parámetros de impresión, definir dimensiones generales de la impresora.
- d) Seleccionar los componentes: subsistema de control, sub sistema de alimentación y accesorios de la impresora.
- e) Configurar el firmware para el software de control, realizar la configuración, conexión de la tarjeta Arduino y componentes.
- f) Realizar presupuesto del proyecto.

Capítulo II:
MATERIAL Y MÉTODOS

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Tipo y Diseño de la Investigación

Tipo de la investigación

Investigación descriptiva cuasi-experimental.

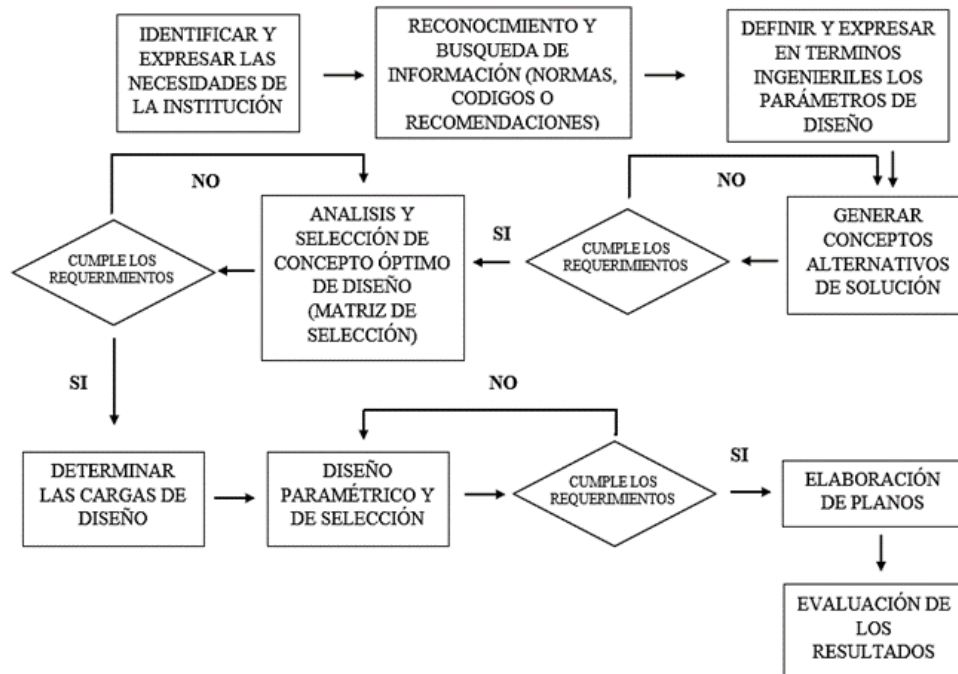


Figura N° 18 Diagrama de flujo de la metodología usada

Fuente: elaboración propia

2.2. Población y Muestra

No aplica para este tipo de investigación.

2.3. Variables y Operacionalización

2.3.1. Variables

El presente proyecto está basado en un diseño formal, para ello se hará uso de un esquema de variables adaptado a la literatura de diseño aceptada mundialmente, Rudolf Eggert, (Eggert,2010); y GeorgeDieter, (Dieter, 2013). Donde se proponen Variables de diseño y variables de solución, lo que se resume en variables independientes y variables dependientes.

Nuestro proyecto principalmente se basa en el diseño de sub sistemas de la impresora como: sub sistema de estructura y sub sistemas de movilidad, para lo cual también se realizó la simulación de los mismos.

VARIABLES INDEPENDIENTES DE DISEÑO

- A. Propiedades del material a fundir.
- B. Propiedades del material de fabricación.

VARIABLES DEPENDIENTES

- A. Diseño de la impresora.
- B. Parámetros de impresión
 - ✓ Volumen máximo de impresión.
 - ✓ Velocidad de impresión.
 - ✓ Tipo de impresión.

Caja Negra

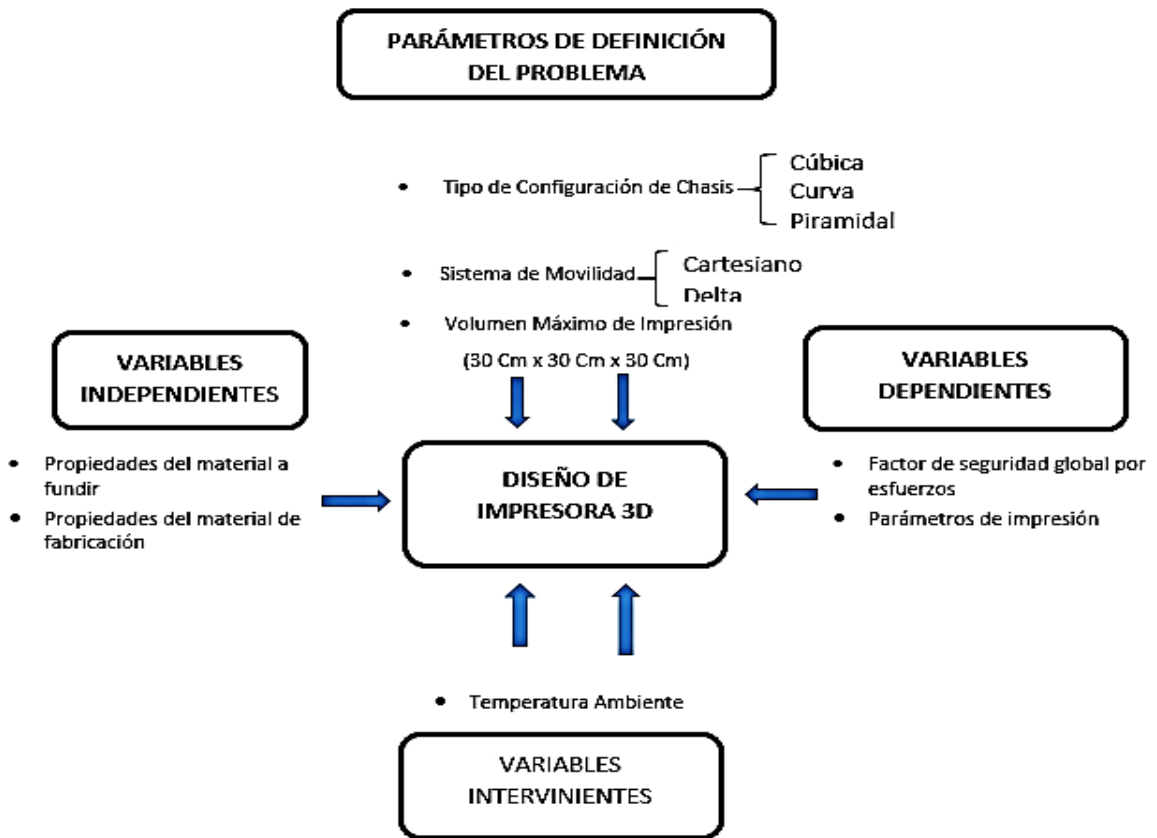


Figura N° 19 Caja negra aplicada al diseño de la estructura
Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Operacionalización.

Tabla 2 Operacionalización de variables.

	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTES	Propiedades del material a fundir(temperatura, densidad, viscosidad)	Propiedades mecánicas de un material que describen su comportamiento debido a procesos químicos o mecánicos .	Se utiliza estas propiedades para realizar el cálculo de tiempo, velocidad y tipo de impresión	(C°, μ, ρ,)	La razón
	Propiedades del material de fabricación (Fluencia y Modulo de elasticidad)	Propiedades mecánicas de un material que describen su capacidad para soportar esfuerzo y deformaciones.	Se utiliza estas propiedades para realizar el cálculo que determina el diámetro mínimo para los ejes.	(Pa)	La razón
DEPENDIENTES	Diseño de estructura de impresora (Factor de seguridad global por esfuerzos)	Es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real al que se verá sometido. indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos.	Es el resultado del análisis y estudio del diseño, la cual proporciona el nivel de seguridad y de confiabilidad del elemento sujeto a cargas y que garantiza su rigidez y estabilidad.	(adim)	La razón
	Parámetros de impresión (volumen, velocidad y tipo de impresión)	Son las características y cualidades con las cuales se configura la impresora para un óptimo trabajo.	Se calcula a partir de otros parámetros y establece la geometría así como también los sub sistemas.	(cm ³ , t.)	La razón

Fuente: Elaboración propia

2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos Validez y Confiabilidad

2.4.1. Técnicas de recolección de datos

Son las actividades o procedimientos que se llevaron a cabo a fin de recopilar información relevante para el cumplimiento de los objetivos planteados en esta investigación.

Se utilizará la siguiente técnica:

Entrevista (encuesta guía de observación)

Es el medio directo que se usará con el propósito de recabar información de primera mano. Por ello, dado que esta información será la que defina en gran medida las características del diseño en conjunto con la revisión bibliográfica, esta entrevista será aplicada a personas de acción directa en el área académica, como lo son el Decano de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, el director y docentes de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Revisión Bibliográfica.

Es la recopilación de características de los modelos comerciales y más destacados en la actualidad, a fin de servir de base para enfocar el diseño considerando lo que se puede encontrar en el mercado para su fácil fabricación y ensamblado.

2.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Tabla 3 Instrumentos de recolección de datos

TECNICAS	INSTRUMENTO	VALIDEZ
Entrevista	Encuesta guía de observación.	El especialista
Revisión bibliográfica	Análisis de datos y resultados	El especialista
Análisis mediante simulaciones	Software de diseño	El especialista

Fuente: Elaboración propia

2.4.3. Datos Validación y Confiabilidad de Instrumentos

Se validará las técnicas de recolección de datos por un profesional experto reconocido como investigador y con grado académico que lo respalda.

2.5. Procedimiento de Análisis de Datos

Análisis de la encuesta guía de observación.

Se elabora un banco de preguntas que serán realizadas a docentes y autoridades de la facultad de ingeniería mecánica eléctrica de la Universidad Señor de Sipán.

Se realiza un análisis de las respuestas obtenidas a través de una matriz de selección el cual nos permita determinar las necesidades, parámetros y variables de diseño.

Análisis de resultados de revisión bibliográfica.

Se realiza un estudio y análisis de los resultados obtenidos en trabajos previos de investigación por otros investigadores.

De los cuales se evalúa y se recogen resultados como: parámetros de impresión, estructura, dimensiones, materiales de fabricación, precios, etc.

Descripción de Etapas.

A. ETAPA 1: identificar y expresar las necesidades de la institución

Con el objetivo de identificar las necesidades de la Universidad Señor de Sipán respecto a los cursos de diseño y manufactura se realiza entrevistas a ingenieros docentes y autoridades de la carrera profesional Ingeniería Mecánica eléctrica, las que están orientadas a buscar información e identificar las necesidades de la institución con respecto al uso de la tecnología de impresión 3D.

B. ETAPA 2: definir dimensiones y los parámetros de diseño

De las entrevistas, normas y bibliografía encontrada se determina los parámetros de diseño, los cuales se resumen en una tabla de especificaciones de ingeniería.

C. ETAPA 3: generar conceptos alternativos de solución

Las posibles alternativas de solución se realizan en base a estudios para impresoras 3D con tecnología FDM teniendo en cuenta los parámetros antes mencionados, operatividad, volumen total del equipo, facilidad e inversión de fabricación.

D. ETAPA 4: análisis y selección del concepto óptimo de diseño

Se realiza la selección del concepto óptimo en una matriz de criterios ponderados, que plantea una calificación en función del nivel de satisfacción en relación con parámetros relevantes en el diseño.

E. ETAPA 5: determinar las cargas de diseño

Las cargas de diseño se determinan en base a todos los elementos que generan esfuerzos por su peso o por el tipo de trabajo que realizan.

F. ETAPA 6: diseño paramétrico y de selección

Se realiza el diseño paramétrico haciendo uso del software de diseño, se hace el análisis con método de elemento finito. Finalmente se realiza el diseño por selección de los componentes como motores, rodamientos, electrónica, etc.

G. ETAPA 7: Elaboración de planos

En esta etapa, luego de haber realizado el proceso de diseño se elaboran los planos generales y detalle de cada uno de los componentes diseñados, así como el plano del equipo ensamblado.

H. ETAPA 8: evaluación de los resultados

Se realiza una evaluación de los resultados tanto de los cálculos obtenidos como del análisis de elemento finito para determinar y concluir si el diseño fue satisfactorio.

2.6. Criterios éticos

El presente proyecto de investigación hace prevalecer los términos éticos de la universidad Señor de Sipán (USS-2018), así como el código de ética del colegio de ingenieros del Perú (CIP, abril 1999)

2.6.1. Código de ética de investigación de la USS

Cuyo objetivo principal es fijar los principios éticos que orientan a la investigación universitaria, con carácter de cumplimiento obligatorio a: autoridades, administrativos, docentes, estudiantes y egresados de la USS.

Art.1. Finalidad.

La finalidad del código de ética de la Universidad Señor de Sipán es proteger los derechos, la vida, salud, intimidad, dignidad y bienestar de las personas que participan en la actividad de investigación científica, tecnológica e innovación ciñéndose a los principios éticos acogidos por la normativa nacional e internacional y acuerdos suscritos por nuestro país en investigación.

Art.5. principios que rigen la actividad investigadora.

1. Protección de la persona y la diversidad socio cultural.
2. Cuidado del medio ambiente y la biodiversidad.
3. Consentimiento informado y expreso.
4. Responsabilidad en la elección de los temas de investigación y en la ejecución de la misma.
5. Respeto a las pautas deontológicas aceptadas y reconocidas por la comunidad científica.
6. Rigor científico en las investigaciones.
7. Divulgación de los resultados de las investigaciones de manera abierta, completa y oportuna a la comunidad científica.

2.6.2. Código de Ética del colegio de ingenieros del Perú

El código de ética del CIP, precisa que el profesional en ingeniería debe estar al servicio de la población, cooperar con el bienestar de la población, dando consideración primordial a la seguridad y adecuada utilización de los recursos en el ejercicio de la tarea profesional.

Título I: De la Relación con la seguridad:

Art. 5° los ingenieros cuidarán que los recursos humanos, económicos, naturales y materiales, sean adecuadamente utilizados, evitando su abuso, respetaran y harán respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.

Título II: De la Relación Con El Público.

Art.12° los ingenieros expresarán opciones en temas de ingeniería solamente cuando ellas se basen en un adecuado análisis y conocimiento de los hechos, en competencia técnica suficiente y convicción sincera.

2.7. Criterios de Rigor Científico.

El presente informe de investigación presenta un orden estructural con el que garantiza obtener resultados fiables los mismos que se presentan en todo el desarrollo del proyecto, la recolección de datos se basa en herramientas y pruebas de carácter científico, que validan esta investigación.

Fiabilidad.

Presentamos nuestra investigación como fiable por que se utilizaron métodos probados y comprobados para la obtención de datos y resultados. La metodología utilizada en este proyecto ha sido sustentada por otros investigadores lo por lo cual asegura fiabilidad.

Validez.

La validación de recolección de datos e interpretación correcta de los resultados obtenidos se realizaron desde distintos puntos de vista, analizados e interpretados teórica y experimentalmente, haciendo una triangulación y contrastado con otros investigadores.

Credibilidad.

Denominado como autenticidad, el cual permite evidenciar los fenómenos y las experiencias en el proceso investigativo, muestra que los resultados obtenidos son muy aproximados y cercanos a resultados obtenidos por otros investigadores, en tal caso se considera como reales y verdaderos los hallazgos obtenidos.

Capítulo III:

RESULTADOS

3. RESULTADOS

3.1. Identificación De Las Necesidades De La Institución Interesada:

Las necesidades de la Universidad Señor de Sipán en lo que se refiere a la implementación de laboratorios donde se imparta enseñanzas y realicen investigación con tecnología 3D, se determinó mediante la realización de una entrevista a docentes y autoridades de la facultad, además de la revisión bibliográfica de resultados obtenidos por otros investigadores en esta tecnología (ver formato anexo A),

los resultados de las entrevistas se muestran en la tabla N° 4.

Las características mencionadas en la tabla N° 4 fueron analizadas, para definir los parámetros de diseño se consideró las normas existentes y recomendaciones de trabajos previos.

Una vez determinada la necesidad de la empresa, se expresa de manera ingenieril los requerimientos de la Universidad con sus respectivas unidades y limitaciones, los cuales se obtienen de las entrevistas realizadas, normas, recomendaciones y revisión bibliográfica de trabajos previos consultados, además de criterio ingenieril y sentido común de acuerdo con las necesidades y características de trabajo, el resumen se muestra en la tabla N° 6.

Tabla 4 Resultados de la entrevista realizada.

ASPECTOS	PREGUNTAS	Entrevista 1 Ing. Carlos vives G. (Docente IME)	Entrevista 2 Ing. Marcela Serrepe (Docente tiempo completo IME)	Entrevista 3 Ing. Mejía Cabrera (Laboratorio de Ing. De sistemas)	Entrevista 4 Ing. Marcelo Rojas (Docente tiempo completo IME)	Entrevista 5 Ing. Rodríguez Lafitte Decano de FIAU
Aplicativos al Producto	Conoce 3D	Si	Si	Un poco	Un poco	algo
	Beneficios	Si	Si	si	si	si
	Utilidad	investigación	En enseñanza	Comprobaciones de dimensiones	Enseñanza	si
	Ventajas	En enseñanza	Enseñanza	Para hacer mediciones	Comprobación de modelos	Aplicadas a enseñanza-aprendizaje
Característicos al Producto	Dimensiones de impresión	Max. 1 m ³	(30*30*30) cm	(30*30*30) cm	(100*100*50) cm	No opina
	Conoce Material Imp.	No mucho	Si	no	si	No
	Tipo de filamento a usar	No tóxico	No toxico	No toxico	Resistente, no toxico	No toxico
	Otras Características	Interfaz fácil	Buena estabilidad	Dos o más colores	Altamente resistente	Área de impresión visible
Económicos del Producto	Costo de Impresora	5000 S/.	4000 S/	No conoce	No conoce	No conoce
	Inversión	2000 a 5000 S/	2000 S/	No opina	S/. 5000	3000 S/. a 6000 S/.
	Ahorro	50 %	30 %	30 %	30%	No opina

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Revisión bibliográfica

CARACTERISTICAS	ANET A8	Kossel-7.	BQ Hephestos 2
TIPO	Cartesiana abierta	Delta abierta	Cartesiana abierta
DIMENSIONES	220 mm x 220 mm x 240 mm	230 mm x 230 mm x 300 mm	210 mm x 297 mm x 220 mm
MATERIAL DE IMPRESIÓN	PLA, ABS o nylon	PLA,ABS	PLA, ABS, nylon, madera
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.4 mm	0.4 mm	0.4 mm
MOV. MESA DE TRABAJO	EJE "Y"	Estática	EJE "Y"
VELOC. MAX. DE IMPRESIÓN	30 y 150 mm/s	80 mm/s	200 mm/s
MÁXIMA RESOLUCIÓN	100-300 micrones	Hasta 100 micrones	50 -100 micrones
PRECIO EN EL MERCADO	200 Euros	300 Euros	800 Euros
OTROS	nivelación manual	Mesa autonivelable	Doble extrusor

Fuente: <http://impresorad3d.com/impresoras-3d-mas-vendidas-2018/>

Tabla 6 Tabla de Especificaciones de ingeniería.

CARACTERISTICAS DE DISEÑO DE IMPRESORA 3D			
FUNCIÓN	CARACTERISTICAS INGENIERILES	UNIDAD	RANGO
TAMAÑO DE LA MÁQUINA	Dimensiones	mm	Ancho 500 – 550 Largo 550 – 650 Alto 550 - 600
CHASIS	Material		AL - 6061 Acero ASTM A-36
EJES	Material		AISI 304 ACERO GAL. AL - 6061
PROTOTIPO	Volumen de impresión	mm	200 x 200 x 200 a 400 x 400 x 400
FILAMENTO DE IMPRESION	Tipo de Polímero		PLA ABS
TIPO DE CARCASA	Diseño		Abierta Semicerrada Cerrada
CONTROL	Software		Libre Pago De licencia
RESOLUCIÓN	Altura de Capa	µm	100 – 500

Fuente: Elaboración propia

3.2. Generación De Conceptos Alternativos:

Se generan posibles alternativas capaces de brindar una solución a la necesidad de la institución. El estudio de los conceptos alternativos de solución se realizó con base a un estudio previo realizado por (CHANCUSI TOAPANTA & NAVARRETE PARRA, 2014) teniendo en consideración costo de fabricación, seguridad, rigidez, montaje y otros.

3.2.1. Conceptos de solución para Sistema de movimiento

Concepto 1:

Este modelo es una versión del sistema usado en las impresoras Prusa i3.

Sistema de movimiento: En este sistema el cabezal de extrusión se desplaza sobre el eje X, el mismo que realiza movimiento sobre el eje Z, mientras que la base de impresión se mueve sobre el eje Y. En la figura N° 20 se muestra el esquema de movimiento.

Ventajas: bajo costo, diseño simple, autoreplicable, amplia área de impresión.

Desventajas: Poca estabilidad en el eje Z, ocupa mayor área de trabajo debido al movimiento de la base en el eje Y, además genera inestabilidad en la pieza por los movimientos bruscos de la base de impresión, es descubierta lo cual el enfriamiento de la pieza es muy rápido que puede deformarse dependiendo del material de impresión.

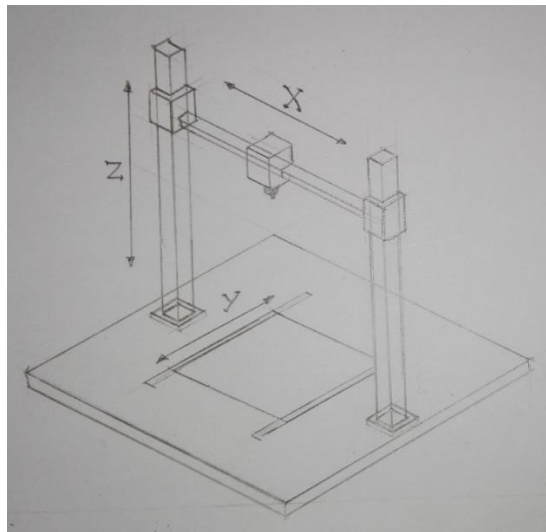


Figura N° 20 Sistema de movimiento cartesiano típico de impresora Prusa i3

Fuente: Elaboración propia

Concepto 2:

Este concepto está basado en el sistema de movimiento de la impresora Makerbot

Sistema de movimiento: Esta estructura formada por cuatro columnas en las cuales se encuentran apoyados los ejes X – Y, donde se desplaza el cabezal extrusor, mientras que la base de deposición se desplaza en el eje Z. En la figura N° 21 se muestra la estructura de movimiento.

Ventajas. - Este modelo tiene mayor estabilidad en el cabezal y la base de impresión, ocupa menos espacio gracias al desplazamiento en el eje Z de la base de impresión, posibilidad de una mayor área de impresión, carcasa cerrada implica conservación de la temperatura y mayor seguridad para el operador.

Desventajas. - Mayor costo fabricación, requiere ejes más resistentes en Z para soportar la carga de la base de deposición.

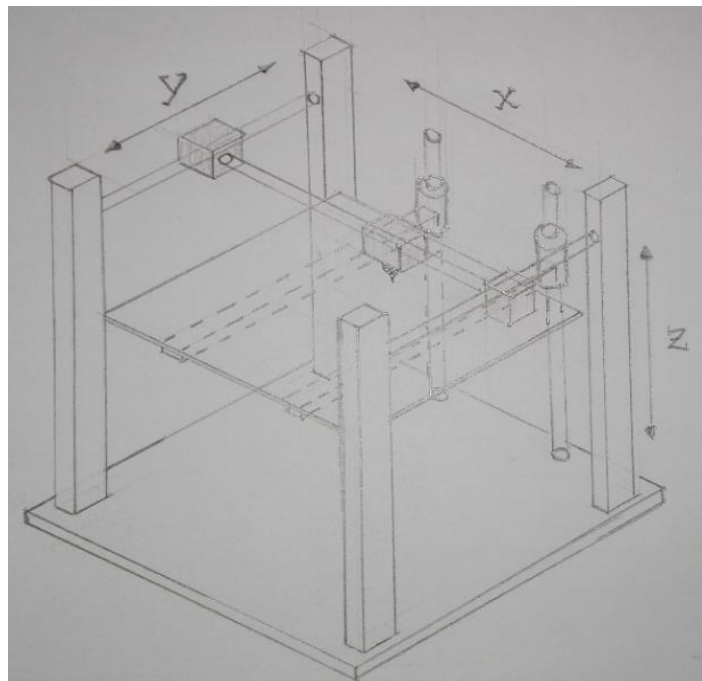


Figura N° 21 Sistema de movimiento típico de impresora Maker Bot

Fuente: Elaboración propia

Concepto 3:

Modelo basado en el tipo de sistema de la impresora Cube 3D

Sistema de movimiento: Esta estructura consta de dos columnas, las cuales soportan el eje X, en la cual se desplaza el cabezal extrusor. La base de deposición se traslada a lo largo del eje Y, al mismo tiempo esta sobre el eje Z, Por lo que una de las columnas tendrá que soportar la carga del eje Y. En la figura se puede apreciar la estructura y los ejes de movimiento.

Ventajas: Costo moderado, construcción sencilla, fácil operación.

Desventajas: Poca estabilidad de los ejes Y – Z, área de impresión muy pequeña, no se encuentra totalmente cerrada.

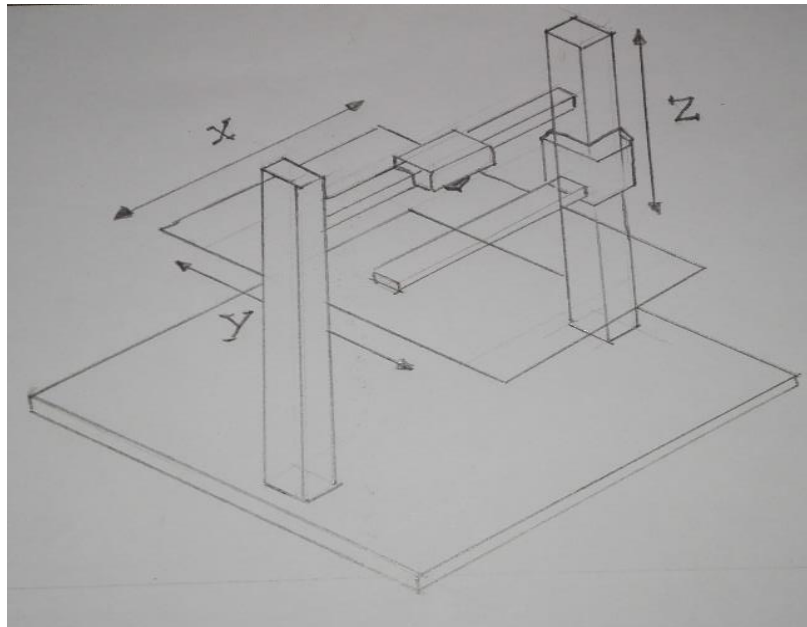


Figura N° 22 Sistema de movimiento típico de impresora Cube 3D Printer

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Concepto de Solución para Carcasa

Concepto 4:

Carcasa semi-cerrada con compartimiento para componentes electrónicos y rodete de filamento en la parte posterior

Este concepto de carcasa semi-cerrada consta de 2 placas laterales de material transparente con una combinación de metal para darle mayor rigidez y estabilidad a la estructura, permite visualización del proceso de impresión. En la parte frontal se encuentra una pantalla LCD para control directo del equipo sin necesidad de un computador, además existe un pulsador de emergencia, en la parte frontal no existe cubierta puesto que se quiere facilidad para retirar las piezas impresas y realizar limpieza a la base. En la parte posterior hay un compartimiento donde se instalará toda la electrónica y la fuente de alimentación. Por tanto, la tapa es de metal y cerrada. La parte superior por razones de evitar calentamiento excesivo de las partes del cabezal y facilitar la alimentación de filamento queda al descubierto, lo descrito se puede apreciar en la figura N° 23. Este modelo proporciona seguridad, rigidez y estabilidad a la estructura.

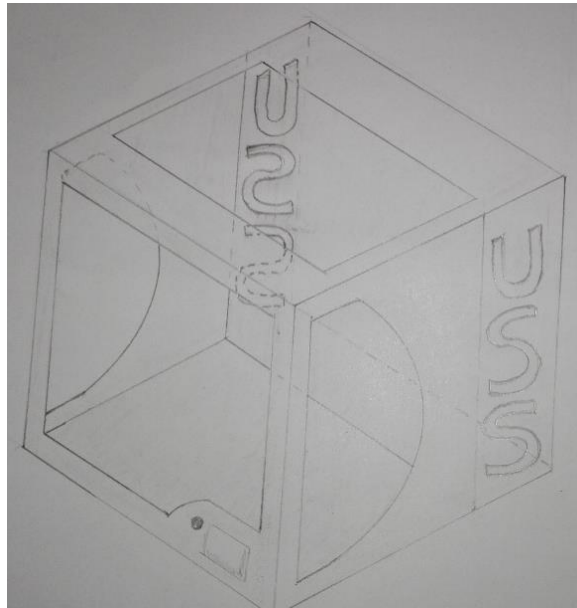


Figura N° 23 Concepto de carcasa con compartimiento con filamento en la parte posterior

Fuente: Elaboración Propia

Concepto 5:

Carcasa semi-cerrada solo en tapa laterales con rodillo de filamento lateral y compartimiento para electrónica externo.

Este modelo de solución que se muestra en la figura N° 24. Proporciona estabilidad ante las vibraciones de impresión, ya que cuenta con soportes de metal en las 4 esquinas y base sólida en la parte inferior lo que permite que la estructura sea solida y mazisa, es cerrada en los costados con material transparente , mientras que en la parte frontal y posterior hasta una determinada altura, la parte superior lleva un Angulo en todo el contorno, básicamente un modelo sencillo sin complicaciones y fácil de fabricar, ligeramente pesada, por la cantidad de material que se utiliza , su fabricación es sencilla y presenta un bajo costo.

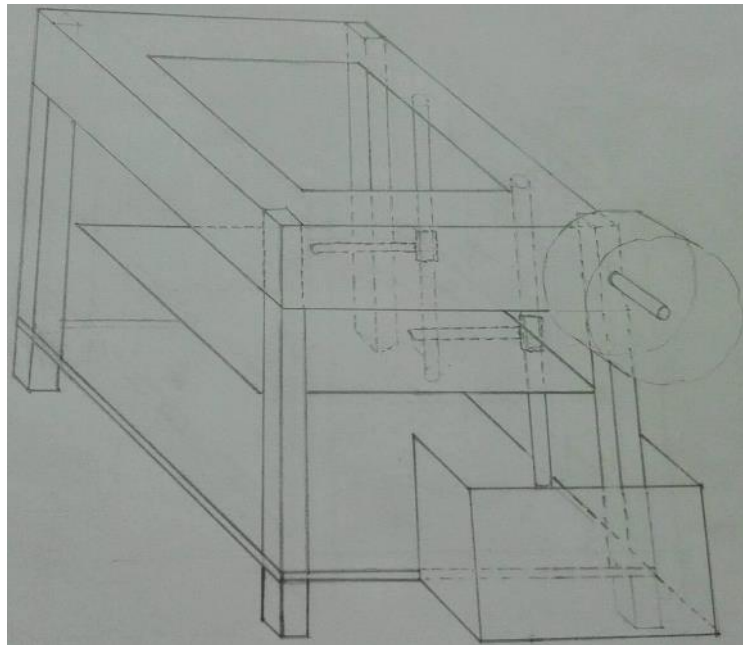


Figura N° 24 Carcasa semi-cerrada con tapas laterales, rodete y electrónica exterior.

Fuente: Elaboración propia

Concepto 6:

Carcasa semi-cerrada con electrónica interior en la parte superior y rollo de filamento externo sobre la tapa superior

Este concepto tiene como características que presenta mayor porcentaje cerrado lo que ofrece mayor seguridad y bajo costo de fabricación, por otro lado, presenta buena estabilidad y robustez. El inconveniente de este modelo es que no tiene buena estética y al presentar tapa en la parte superior podría dificultar la alimentación de filamento se muestra en la figura N° 25.

Este concepto tiene como características mayor porcentaje cerrado lo que ofrece mayor seguridad, su costo de fabricación es bajo, presenta buena estabilidad y robustez. El inconveniente de este modelo es que no tiene la mejor estética y al presentar tapa en la parte superior podría dificultar la alimentación de filamento.

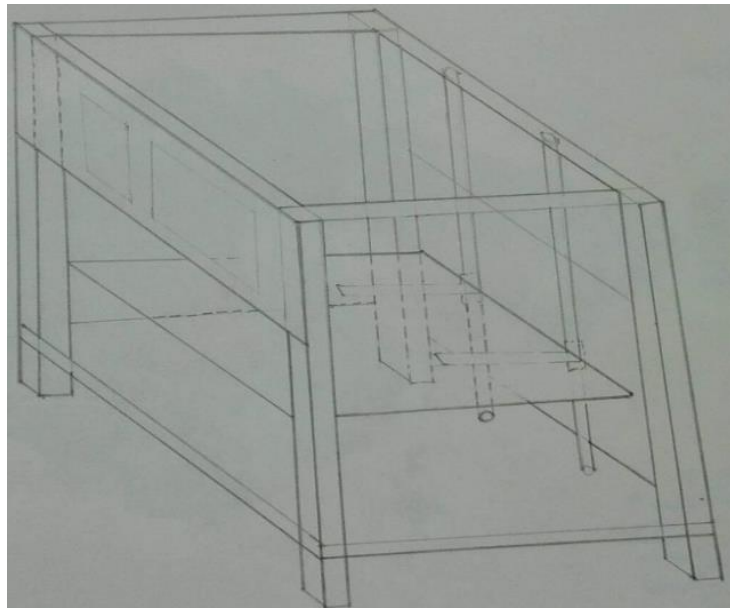


Figura N° 25 Carcasa semi-cerrada con electrónica interior y rollo de filamento externo

Fuente: Elaboración propia

3.3. Selección De Alternativa Óptima Mediante Matriz De Criterios Ponderados.

3.3.1. Análisis De Alternativas Para Sistema De Movimiento

Se ha considerado 3 alternativas para el sistema de movimiento usados también en trabajos similares de diseño. Los criterios para la selección de alternativas serán los siguientes:

1. Costo: ahorrar en cuanto al precio comercial de un equipo similar.
2. Montaje: Se requiere que el montaje sea sencillo pero que garantice seguridad.
3. Estabilidad de la base: La pieza a imprimir no debe sufrir vibración para asegurar una buena impresión.
4. Área de impresión: se debe obtener un área de impresión óptima manteniendo las dimensiones generales del equipo en proporción ajustada a esta.

Usando la calificación de puntuación descrita en la tabla N° 7, seleccionamos la mejor alternativa.

Tabla 7 Matriz de selección para Sistema de movimiento.

SISTEMA DE MOVIMINETO	CONCEPTO 1		CONCEPTO 2		CONCEPTO 3		
CRITERIO	PONDERADO (%)	PUNTUACIÓN	PUNTUACIÓN DE PONDERADO	PUNTUACIÓN	PUNTUACIÓN DE PONDERADO	PUNTUACIÓN	PUNTUACIÓN DE PONDERADO.
COSTO	30	5	1.5	3	0.9	4	1.2
MONTAGE	25	4	1	3	0.75	4	1
ESTABILIDAD DE LA BASE	20	2	0.4	4	0.8	2	0.4
ÁREA DE IMPRESIÓN	25	3	0.75	5	1.25	3	0.75
TOTAL	100	14		15		13	

Fuente: Elaboración propia

Los criterios a los cuales se les da un puntaje son:

- 5: Cumple en gran medida las expectativas del diseño,
- 4: Aceptable de forma moderada.
- 3: Poco aceptable
- 2: No cumple con los requerimientos mínimos.
- 1: Nada aceptable

De la tabla N° 7, se concluye que el concepto 2 reúne las características necesarias para tomarla como modelo de diseño por las siguientes razones. El costo es justificado por la seguridad que caracterizará al equipo en cuestión, la estabilidad que ofrece en la base de impresión, evitando vibraciones y el desprendimiento del objeto que se imprime, por otro lado la buena estabilidad de los componentes gracias a la posibilidad de una estructura rígida y robusta que garantiza el buen desempeño durante su operación, Con esta alternativa se puede conseguir mejor área de impresión sin comprometer un aumento considerable de las dimensiones totales del equipo, además se debe mencionar que su fabricación es relativamente sencilla y finalmente la estética no deja de ser un gran aporte ya que se opta por sistema que posibilita el diseño de una carcasa con estilo moderno y cómoda para un ambiente educativo.

3.3.2. Análisis De Alternativas Para La Carcasa

Se presentó 3 propuestas propias las cuales se analizaron usando una matriz de selección y la calificación propuesta, para el caso de la carcasa se considera los siguientes criterios:

- Costo
- Montaje
- Rigidez
- Seguridad

El resultado del análisis se muestra en la tabla N° 8.

Tabla 8 Matriz de selección para la carcasa de la impresora 3D.

CARCASA DE IMPRESORA	CONCEPTO 4			CONCEPTO 5		CONCEPTO 6	
CRITERIO	PONDERADO (%)	PUNTUACIÓN	PUNTUACIÓN DE PONDERADO	PUNTUACIÓN	PUNTUACIÓN DE PONDERADO	PUNTUACIÓN	PUNTUACIÓN DE PONDERADO.
COSTO	25	3	0.75	5	1.25	4	1
MONTAJE	20	4	0.8	5	1	4	0.8
RIGIDEZ	20	5	1	5	1	5	1
ESTETICA	20	5	1	2	0.4	3	0.6
SEGURIDAD	15	5	0.75	3	0.45	5	0.75
TOTAL	100	22		20		21	

Fuente: Elaboración propia

De la matriz de selección tabla N° 8 se determina que la mejor alternativa para el diseño de la carcasa es el concepto N° 4, que, a pesar de tener un costo relativamente mayor a las otras propuestas, se caracteriza por una mejor estética y diseño, así como la seguridad que ofrece al operador durante el uso del equipo. Por otro lado, es un diseño robusto que asegura estabilidad y rigidez del equipo.

3.4. Diseño De Configuración Morfológica Para La Carcasa.

A continuación, se muestra tres modelos que son una variación de los conceptos de carcasa seleccionada, de los cuales se tomará el modelo que sea más apropiado para su construcción.

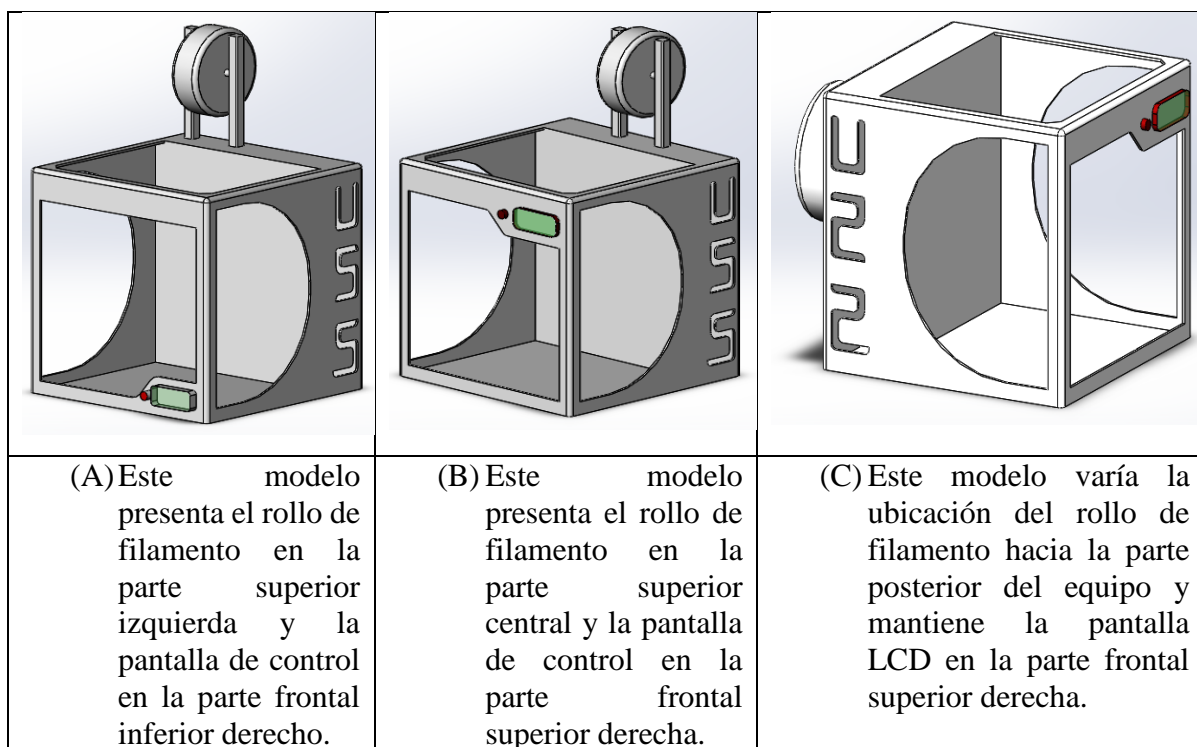


Figura N° 26 Diseño de configuración de carcasa

Fuente: Elaboración propia

Por las características y criterio ingenieril de ubicación del rollo de filamento para un adecuado abastecimiento de material de impresión, por la ubicación de la pantalla de operación y el pulsador de emergencia para una rápida y fácil operación, por ergonomía, visibilidad y comodidad se seleccionó la opción B de la figura N° 26

3.5. Dimensionamiento De La Impresora.

Después de elegir el diseño conceptual idóneo para la impresora, y la configuración de la misma se procedió a dimensionar la estructura en forma general, guiados en tesis y trabajos relacionados al tema, recomendaciones encontradas y criterio ingenieril se define las siguientes dimensiones. (Ver figura N° 27) dimensiones en (mm)

La impresora debe funcionar sobre una mesa por lo que no necesita tener soportes altos, la altura y ancho total debe estar en proporción al objeto a imprimir, y facilitar el retiro de las piezas al finalizar la operación.

La impresora debe mantener un aspecto agradable, estético, por sus fines de estudio e investigación no ser exageradamente robusta ya que puede ser trasportada de un lugar a otro sin riesgo ni peligro de dañar algún elemento.

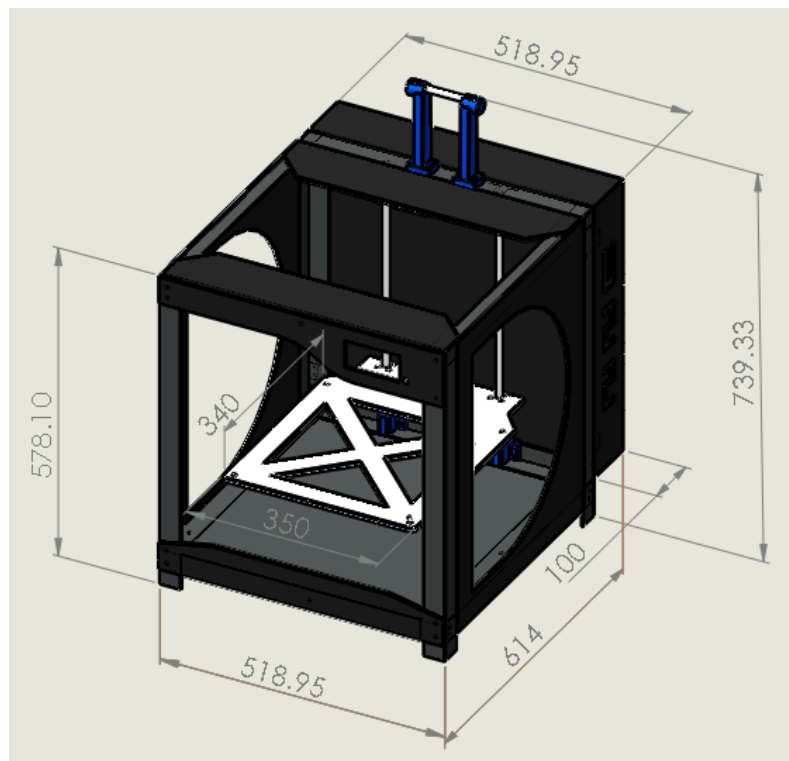


Figura N° 27 Dimensiones Generales de la Impresora

Fuente: Propia.

3.6. Diseño De Impresora 3d De Tecnología FDM

Para el diseño del equipo se utilizará las siguientes fórmulas y criterios:

3.6.1. Diseño Y Selección Para Subsistema De Movilidad

El sistema de movimiento en cada eje se realiza mediante la conexión directa de los ejes roscados al eje de los actuadores mediante uniones flexibles.

Para obtener los diámetros mínimos para los ejes guías para el movimiento se tendrá que determinar las fuerzas aplicadas y calcular la carga total y luego usarán las siguientes fórmulas y tablas tomadas del libro de Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley 8° Edición:

Determinación del diámetro de eje roscado de soporte.

$$d = \left(\frac{32nK_fM_a}{\pi S_e} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \dots (1)$$

Para asegurar la robustez del sistema vamos a considerar un factor de seguridad de 4.

Donde:

n : factor de seguridad (adim.)

K_f : factor de concentración de esfuerzos para flexión

M_a : momento flector en el punto crítico (N.mm)

S_e : límite de fatiga del eje en el punto crítico (MPa)

S_{ut} : esfuerzo último para el material de la varilla (MPa)

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e \quad \dots (2)$$

Donde:

K_a : factor de superficie

K_b : factor de tamaño

K_c y K_d : factores de temperatura

K_e : factor de confiabilidad

K_f : factor de efectos varios

$$K_a = aS_{ut}^b \quad \dots (3)$$

Los factores a y b se determinan de la tabla N° 25, ver anexo C

$$K_b = 1.24d^{-0.107} \quad \dots (4)$$

$K_c = 1$; Por estar sometida a flexión

$$K_c = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{array} \right\}$$

Fuente: Diseño de elementos de máquinas de shigley 8° edición

$$K_d = K_e = K_f = 1$$

3.6.2. Determinación Del Torque Requerido Para Los Motores

Las fórmulas para utilizar serán:

$$F = N \times \mu \quad \dots (5)$$

Donde:

F : carga aplicada al eje

μ : coeficiente de fricción del rodamiento

N : normal ejercida por los componentes que se desplazaran en el eje.

$$T = \frac{F \times r}{\phi \times \theta} \quad \dots (6)$$

Donde:

T : torque mínimo que debe entregar el motor

r : radio de trabajo del tornillo sin fin

ϕ : relación de movimiento del tornillo sin fin

ϵ : porcentaje de trabajo del motor

$$\phi = \frac{\pi \times d}{p} \quad \dots (7)$$

Donde:

d : diámetro de trabajo del tornillo sin fin

p : paso del tornillo sin fin

3.6.3. Determinación de la deflexión máxima de los ejes.

Para hallar la deflexión máxima se utiliza la siguiente fórmula:

$$Y_{max} = - \frac{f_y l_y^3}{192 E I_y} \quad \dots (8)$$

Donde:

y_{max} : deflexión máxima en el eje

F_y : fuerza ejercida en cada eje

l_y : longitud del eje

E : módulo de elasticidad del acero

I_x : momento de inercia de la sección circular del eje

Se utiliza la siguiente fórmula para el momento de inercia:

$$I_x = \frac{\pi \times d^4}{64} \quad \dots (9)$$

Donde:

d : diámetro de trabajo del tornillo sin fin

I_x : momento de inercia eje X

3.6.4. Determinación de diámetro de eje roscado de potencia.

El diseño del eje roscado se realiza con la siguiente fórmula.

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 \times P_{cr} \times L_e^2}{E \times \pi^3}} \quad \dots (10)$$

Donde:

P_{cr} : carga crítica

E : módulo de elasticidad del material

I : momento de Inercia

K : constante que depende del extremo

L_e : longitud efectiva

L : longitud real de la columna entre los soportes

La carga crítica se determina por:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad \dots (11)$$

3.6.5. Torque para mover la carga en el eje Z

$$T_u = \frac{FD_p}{2} \left[\frac{(\cos \phi \operatorname{tang} \lambda + f)}{(\cos \phi - f \operatorname{tang} \lambda)} \right] \quad \dots (12)$$

Donde:

d : diámetro del eje = 12.7 mm

n : roscas por pulgada = 13

P : paso = $1/n = 0,077$ pulgadas = 1,95 mm

- D_p : diámetro de paso = 11,7 mm
 F_z : fuerza para desplazamiento en Z = 346,24 N
 f : coeficiente de fricción = 0,19
 \emptyset : ángulo de rosca = $29^\circ \rightarrow \phi = 14,5^\circ$
 λ : ángulo de avance $3,03^\circ$
 L : avance = P

El diámetro de paso se calcula con:

$$D_p = d - \frac{p}{2} \quad \dots (13)$$

El ángulo de avance se determina por:

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{L}{\pi * D_p} \right) \quad \dots (14)$$

La potencia requerida

$$P = \frac{T * n}{63000} \quad \dots (15)$$

Donde:

- n : velocidad de giro
 T : torque
 ω : *velocidad angular requerida [rad/s]*
 v : *velocidad lineal [m/s]*
 r : *radio del eje del motor [m]*

Velocidad angular se halla con la ecuación:

$$\omega = \frac{v}{r} \quad \dots (16)$$

3.6.6. Determinación Del Torque Y Potencia De Motores

$$D_p = d - \frac{p}{2} \quad \dots (17)$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi * D_p} \right) \quad \dots (18)$$

$$T_u = \frac{FD_p}{2} \left[\frac{(\cos \emptyset \tan \lambda + f)}{(\cos \emptyset - f * \tan \lambda)} \right] \quad \dots (19)$$

$$T_d = \frac{FD_p}{2} \left[\frac{(f - \cos \emptyset \tan \lambda)}{(\cos \emptyset + f * \tan \lambda)} \right] \quad \dots (20)$$

$$P = T * \omega \quad \dots (21)$$

$$\omega = \frac{v}{r} \quad \dots (22)$$

Donde:

- d : diámetro del eje
- n : hilos por pulgada
- P : paso de la rosca
- D_p : diámetro de paso
- F_z : fuerza para desplazamiento en el eje
- f : coeficiente de fricción de rodamientos
- ∅ : ángulo de rosca
- λ : ángulo de avance

3.6.7. Flujo De Filamento Fundido

$$Q = v * A \quad \dots (23)$$

Donde:

- v : velocidad
- A : área

3.6.8. Tasa De Deposición

$$T = \frac{\text{volumen del objeto}*(\%)}{\text{flujo de material}} \quad \dots (24)$$

3.7. Diseño De La Estructura

La función principal de la estructura y la carcasa es proporcionar soporte a los componentes móviles y estáticos, así como mantenerlos correctamente alineados.

Las fórmulas a utilizar corresponden al estudio para resistencia de materiales.

3.7.1. Criterios Para La Selección De Componentes

Para seleccionar los componentes de la impresora como rodamientos, sistema de movilidad, tipo de motores, extrusor y otros, se opta por la aplicación de matriz de selección de criterios ponderados.

En la tabla 9 se muestra la escala de calificación y su respectiva interpretación para la ponderación de los criterios que se propongan para cada elemento a seleccionar.

Tabla 9 Escala de calificación, ponderación e interpretación.

CALIFICACIÓN	% OPTIMO	SIGNIFICADO
1	< 25	Muy insatisfactorio
2	25 – 40	insatisfactorio
3	41 – 60	Bueno
4	61 – 80	Muy bueno
5	81 - 100	Óptimo

Fuente: Elaboración propia

3.8. Selección De Material Para Los Ejes.

Para seleccionar el material de los ejes se elaboró una matriz de selección teniendo en cuenta materiales como AISI 304, Acero Galvanizado, Aleación de aluminio – 6061, Las alternativas fueron evaluadas bajo criterios de: Propiedades Mecánicas (Limite de Fluencia), Aplicaciones, Disponibilidad, Costos. La matriz de selección se muestra en la tabla N° 10

Tabla 10 Matriz de selección para material de ejes

CRITERIO	Importancia (%)	MATERIAL					
		ASTM A-36		AISI 304		ALEACION ALUMINIO 6061	
		Rango	Ponderado	Rango	Ponderado	Rango	Ponderado
PROPIEDADES MECÁNICAS	25	5	1.25	5	1.25	4	1
APLICACIÓN	25	4	1	5	1.25	5	1.25
DISPONIBILIDAD	25	5	1.25	5	1.25	5	1.25
COSTO	25	3	0.75	4	0.75	4	0.75
Total	100	17		19		18	

Fuente: propia

De la tabla N° 10. Se puede ver que es complicado seleccionar directamente el material por el cual se determinara paramétricamente más adelante.

3.9. Cálculo De Las Cargas De Diseño.

Las cargas de diseño para la impresora 3D están distribuidas en los tres ejes de acción (X, Y, Z) las cuales se determinan por los elementos que se mueven a través de los mismos.

En las tablas N° 11, 12 y 13 se muestran los valores de las cargas de diseño.

Tabla 11 determinación de las cargas para el eje X.

Elemento	Masa (Kg)	Peso(N)
fundidor	0.74	7,19
motor	0,365	3,58
Rodamientos	0,004	0,04
ventilador	0,013	0,13
Piezas plásticas	0,096	0.94
Rueda dentada	0,007	0.07
tornillería	0,005	0.05
total	1.23	12

Fuente: Propia

Tabla 12 *determinación de las cargas del eje Y.*

Elemento	Masa (Kg)	Peso (N)
Peso Total del eje X	1.23	3,14
Rodamientos	0,008	0,07
Soportes plásticos	0,096	0,94
Varillas eje Y	0.226	2.22
total	1.56	16,15

Fuente: Propia.

Tabla 13 *determinación de las cargas para el eje Z.*

Elemento	Masa (Kg)	Peso (N)
kit Mesa de impresión	1,5	14,7
Objeto impreso	27 *	264.87
Soporte plástico	0,096	0,94
Total	28.596	280.51

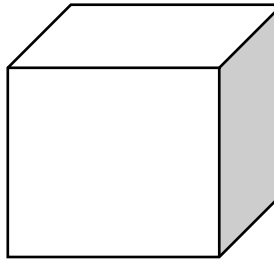
Fuente: Propia

* La masa del objeto a un volumen máximo es 33 Kg, se considera un relleno de 80% por factores prácticos y económicos, por lo cual el peso sería de 27 Kg.

Volumen máximo del modelo impreso

De acuerdo con los parámetros de solución del problema (2.3.1), se establece que el área máxima de impresión es: 300mm x 300mm. Y una altura de 300mm. El volumen se expresa:

$$V = A \times h$$



$$V = 0,027 \text{ m}^3$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 33,75 \text{ kg}$$

Considerando que un objeto impreso nunca podrá ser concretado con un 100 % de material de relleno, puesto que esto es impráctico y antieconómico, por lo general los rellenos van desde 15 % hasta un 80% para el cálculo tomaremos el máximo valor de relleno. Por lo que la masa quedaría en 27 Kg.

3.10. Diseño Paramétrico

Luego de determinar las cargas y examinar la influencia de las variables de diseño en relación con las Variables de Solución se realiza el análisis paramétrico de los materiales para determinar de diámetro de los ejes según la caja negra se tiene como variables de diseño la longitud y material de los ejes.

3.11. Diseño Paramétrico Según GUI Matlab® Para Diseño De Ejes.

En la tabla N° 14 se muestran los valores asignados a cada variable de diseño paramétrico. A través de las ecuaciones (N° 1 y N° 8) se generó la ecuación N° 25 usado para la parametrización.

A continuación, se desarrolló un programa de cálculo y una interfaz gráfica de usuario (GUI) en el software comercial Matlab®, en el cual se puede realizar cálculos iterativos cambiando los parámetros o variables de entrada.

Se realizó el procedimiento de cálculo para determinar el diámetro de los ejes X, Y, Z. El programa permite ingresar parámetros iniciales como longitud de la barra, propiedades del material y luego entrega los valores de las variables de salida.

$$d \geq \left(\frac{32 * n_s * M_x}{\pi * S_y} \right)^{1/3} \quad \dots\dots (1)$$

$$Y_{max} = - \frac{f_x l_x^3}{192 E I_x} \quad \dots\dots (8)$$

$$n_s = \frac{d^3 * \pi * S_y}{32 * M_x} \quad \dots\dots\dots (25)$$

Tabla 14 Valores asignados para el diseño paramétrico.

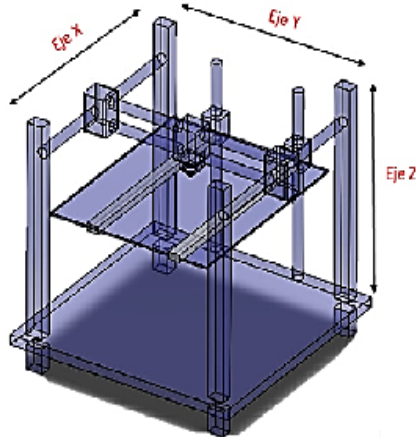
	Variables	Unidades	Valores/Rango
Factores Determinantes	Cargas	N	Eje X: 12/2 = 6
			Eje Y : 16.1 /2 = 8
			Eje Z: 280.5/2 = 140.25
Variables Independientes	Longitud de ejes	mm.	50
	Material de Ejes	Adim	Acero AISI – 304
	Material de fabricación	Adim	ASTM A – 36 Aleación AL - 6061
	Material a fundir	Adim	PLA, ABS
Variables Dependientes	Factor de Seguridad	n	A determinar
	Deflexión máxima	Fx	A determinar
	Díámetro	D	A determinar

Fuente: Elaboración propia

La pantalla de presentación de esta GUI puede observar en la Figura 28. En esta se presenta el programa, denominado “Cálculo de ejes de guía para sistema de movimiento de impresora 3D”.

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN

CALCULO DE EJES DE GUIA PARA SISTEMA DE MOVIMIENTO DE IMPRESORA 3D



El programa está diseñado para realizar el cálculo de los diámetros mínimos para los ejes, así como determinar su factor de seguridad y la deformación máxima que presenta.

EMPEZAR

Figura N° 28 Pantalla de Inicio Interfaz Gráfica de Usuario para determinar diámetro de ejes.

Fuente: Propia.

Con el propósito de ratificar los resultados arrojados por la GUI se realizó un cálculo de escritorio detallado para hallar el diámetro, deflexión máxima y factor de seguridad (ver Anexo E). Los resultados de este cálculo se muestran en la tabla N° 15. Se puede observar que los resultados obtenidos coinciden con los resultados de la GUI correspondiente (ver Figura 29, 30 y 31). Solo se realizaron para el material AISI 304.

Tabla 15 Cálculo manual de los parámetros de salida.

Elemento	Eje X	Eje Y	Eje Z
Diámetro Calculado (mm)	3.81	4.33	8.86
Deflexión Máxima	0.1	0.15	0.97
Factor de Seguridad (n)	18.5	13.8	2.8
Diámetro Comercial Para Utilizar (mm)	8	8	10

Fuente: "Propia

CÁLCULOS PARA LOS EJES

Diagrama de un eje simplemente apoyado en los puntos A y B. Una carga F actúa a una distancia L(A) del punto A. Las reacciones en los apoyos son RA y RB. La longitud total del eje es L.

VARIABLES DE ENTRADA

MATERIAL

Resistencia a la fluencia Sy: 276 MPa

Modulo de Elasticidad E: 190 GPa

INFORMACIÓN DE DISEÑO

Longitud del eje L: 0.5 m

Carga sobre el eje F: 6 N

Distancia hacia el punto "A" L(A): 0.25 m

DATOS INICIALES ASUMIDOS

Diámetro comercial de eje Dc: 0.008 m

Factor de seguridad asumido Fs(a): 2

CALCULAR

VARIABLES DE SALIDA

FUERZAS RESULTANTES

Reacción en "A" Ra: 3 N

Reacción en "B" Rb: 3 N

Momento máximo Mmax: 0.75 N.m

Momento de inercia Ix: 2.01062e-10 m⁴

VARIABLES DE SOLUCIÓN

Diámetro del eje D: 3.81119 mm

Factor de seguridad Fs: 18.4977

Deflexión máxima Ymax: 0.102253 m

Figura N° 29 cálculos para hallar diámetro del eje X

Fuente: Propia.

CÁLCULOS PARA LOS EJES

VARIABLES DE ENTRADA

MATERIAL	
Resistencia a la fluencia	Sy = 276 MPa
Modulo de Elasticidad	E = 190 GPa

INFORMACIÓN DE DISEÑO	
Longitud del eje	L = 0.5 m
Carga sobre el eje	F = 8 N
Distancia hacia el punto "A"	L(A) = 0.25 m

DATOS INICIALES ASUMIDOS

Diametro comercial de eje	Dc = 0.008 m	Factor de seguridad asumido	Fs(a) = 2
---------------------------	--------------	-----------------------------	-----------

VARIABLES DE SALIDA

FUERZAS RESULTANTES	
Reacción en "A"	Ra = 4 N
Reacción en "B"	Rb = 4 N
Momento máximo	Mmax = 1 N.m
Momento de inercia	Ix = 2.01062e-10 m4

VARIABLES DE SOLUCIÓN	
Diámetro del eje	D = 4.19476 mm
Factor de seguridad	Fs = 13.8733
Deflexión máxima	Ymax = 0.136337 m

CALCULAR

Figura N° 30 cálculos para hallar diámetro del eje Y
Fuente: Propia.

CÁLCULOS PARA LOS EJES

VARIABLES DE ENTRADA

MATERIAL	
Resistencia a la fluencia	Sy = 276 MPa
Modulo de Elasticidad	E = 190 GPa

INFORMACIÓN DE DISEÑO	
Longitud del eje	L = 0.5 m
Carga sobre el eje	F = 140.6 N
Distancia hacia el punto "A"	L(A) = 0.08 m

DATOS INICIALES ASUMIDOS

Diametro comercial de eje	Dc = 0.01 m	Factor de seguridad asumido	Fs(a) = 2
---------------------------	-------------	-----------------------------	-----------

VARIABLES DE SALIDA

FUERZAS RESULTANTES	
Reacción en "A"	Ra = 118.104 N
Reacción en "B"	Rb = 22.496 N
Momento máximo	Mmax = 9.44832 N.m
Momento de inercia	Ix = 4.90874e-10 m4

VARIABLES DE SOLUCIÓN	
Diámetro del eje	D = 8.86799 mm
Factor de seguridad	Fs = 2.86784
Deflexión máxima	Ymax = 0.981455 m

CALCULAR

Figura N° 31 cálculos para hallar diámetro del eje Z
Fuente: Propia

A continuación, se procede a graficar la parametrización de los tres materiales para decidir el material a utilizar. Para los tres ejes de acción X, Y, Z se muestran en las figuras (32)

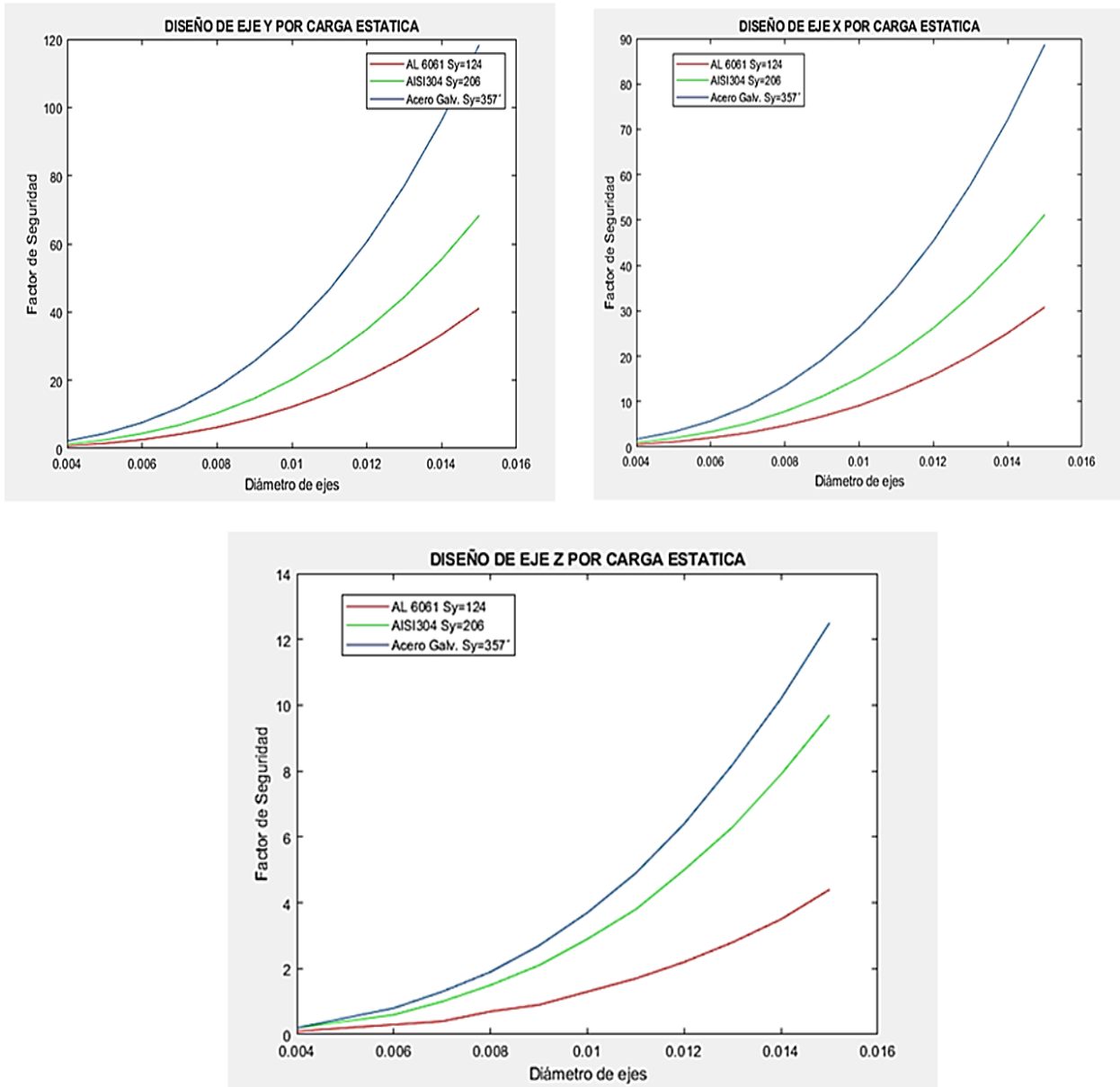


Figura N° 32 Gráfica Paramétrica (GUI) de selección de Material, Factor de seguridad Estático.

Fuente: Propia

De los tres materiales analizados y los resultados que se muestran en la figura N° 32 se determinó que el acero inoxidable AISI 304 satisfacen los requerimientos de diseño por sus propiedades mecánicas superiores a las del aluminio, pero, luego de estos dos materiales sobresalientes se consideró otros aspectos importantes como son el acabado superficial, sus dimensiones comerciales y sus ventajas de resistencia frente a la corrosión. Por las razones mencionadas se creyó conveniente seleccionar el acero AISI 304, el cual se vende comercialmente en los diámetros seleccionados y longitudes convenientes al diseño, por otro lados presenta un acabado superficial muy liso que permite minimizar la fricción que se efectuará en el contacto con los rodamientos lineales y finalmente la composición del acero AISI 304 por ser un material del tipo inoxidable garantiza su resistencia a la corrosión, lo cual es sumamente importante porque en presencia de oxidación los elementos de desplazamiento se deteriorarán fácilmente y se impedirá su normal movilidad.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTÁTICO EN SOLIDWORKS®

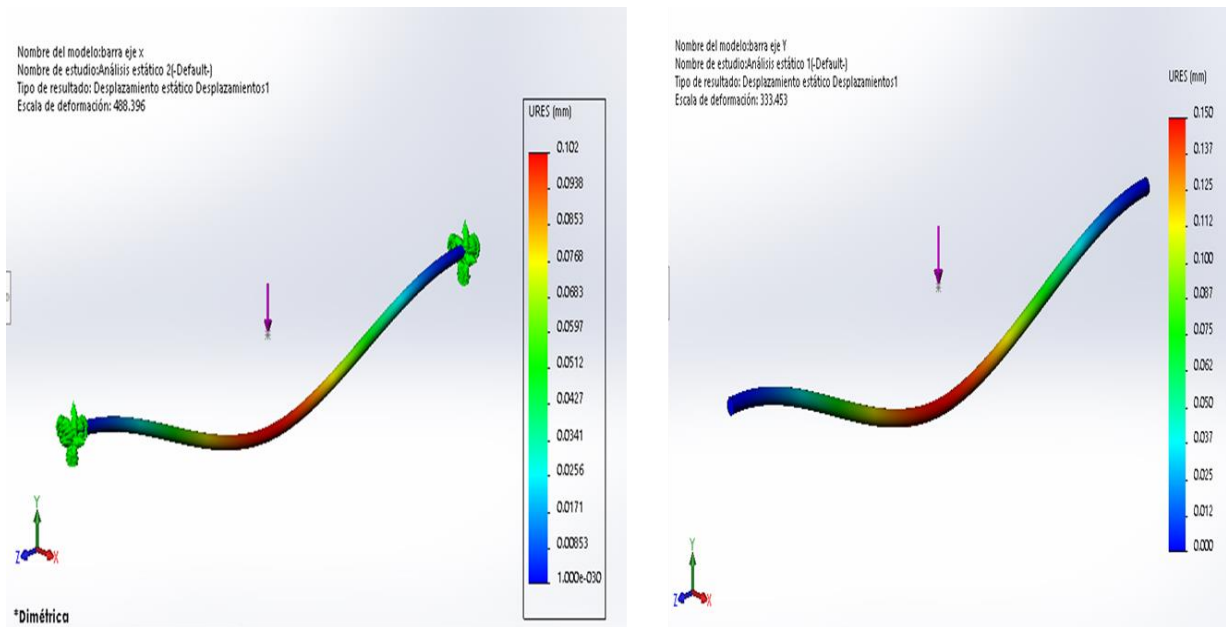


Figura N° 33 análisis estático para los ejes X, Y

Fuente: Propia

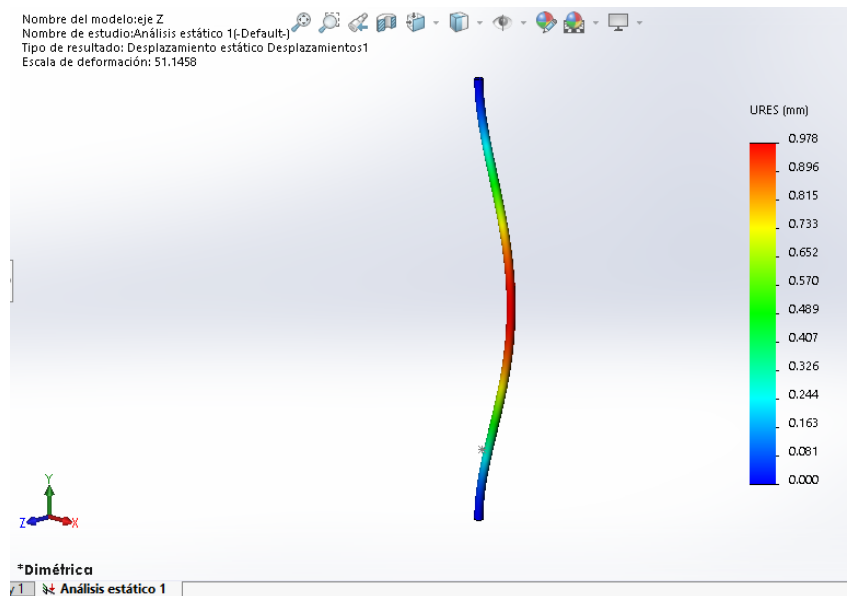


Figura N° 34 Análisis estático del eje Z

Fuente: Propia

De los resultados mostrados en las figuras N°33 y 34 se concluye que los desplazamientos máximos para los ejes X, Y, Z son 0,102 mm, 0,150 mm y 0.98 mm respectivamente, estos valores confirman que los ejes calculados y los diámetros seleccionados son aptos para la aplicación y que los desplazamientos que se presentan son insignificantes para una óptima operación, sin perjudicar en forma considerable la calidad de la impresión.

3.12. Selección De Material Para La Estructura.

Los materiales para la construcción de la estructura del chasis se seleccionaron por criterios comerciales y económicos de los existentes en el mercado local teniendo en cuenta diversos tipos de materiales, Aleación de Aluminio 6061, Acero ASTM A-36. Las alternativas fueron evaluadas bajo criterios de: Propiedades Mecánicas (Limite de Fluencia y Resistencia a la Tracción), Aplicaciones, Disponibilidad, Costos.

A los criterios se le fue asignando una ponderación según la importancia de cada uno. La puntuación que se asignó a cada alternativa de diseño según la Matriz de la Selección se muestra en la tabla N° 16.

Tabla 16 Matriz de Selección de Material para el Chasis.

CRITERIO	Importancia (%)	MATERIAL			
		ASTM A-36		ALEACION ALUMINIO 6061	
		Rango	Ponderado	Rango	Ponderado
PROPIEDADES MECÁNICAS	25	5	1.25	4	1
APLICACIÓN	15	3	0.45	5	0.75
DISPONIBILIDAD	15	5	0.75	5	0.75
COSTO	20	4	0.8	2	0.4
PESO	25	3	0.75	5	1.25
Total	100	20		21	

Fuente: Elaboración propia

Se selecciona el material Aleación de Aluminio 6061, por factores descritos en la matriz de selección, principalmente por su densidad que es favorable para disminuir en peso de la impresora.

3.13. Diseño Paramétrico De La Estructura.

Se realizó el diseño paramétrico de estructura y ejes, el material seleccionado se muestra en la sección 3.12, así como para los ejes de movimiento se muestran en la sección 3.8, El dimensionamiento total de la impresora está basado en función del área de impresión y del tamaño de prototipo a imprimir se muestra en la tabla N° 06, De especificaciones de ingeniería sección 3.1

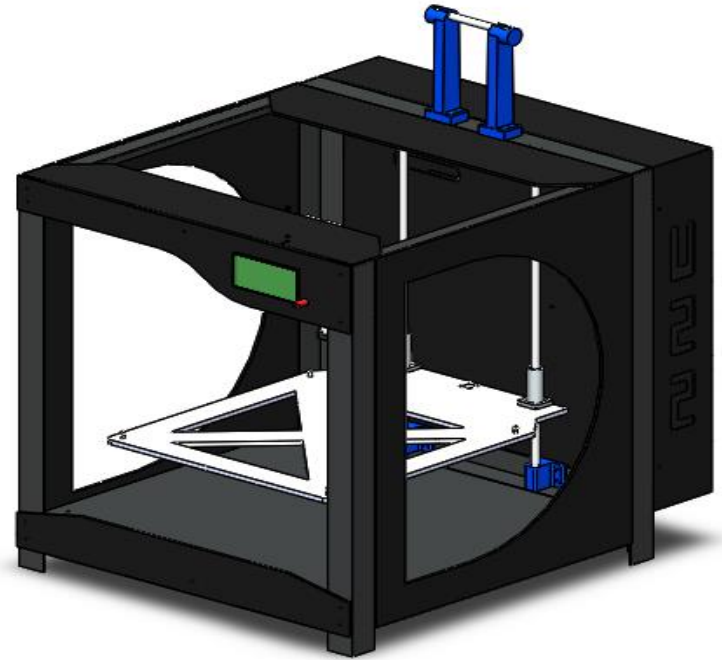


Figura N° 35 Estructura General Del Chasis

Fuente: Propia

3.13.1. Análisis De Elemento Finito De La Estructura.

El material seleccionado para los perfiles angulares cuya dimensión es de 38.1 x 38.1 x 2 mm, es aleación de Aluminio 6061 – T6 que posee una resistencia a la tensión de 270 MPa, por tanto, en relación con el resultado obtenido en la simulación para el esfuerzo Von Mises de 22,43 MPa, comprueba que la estructura tiene una buena resistencia usando un espesor de 2 mm para el perfil angular.

FACTOR DE SEGURIDAD

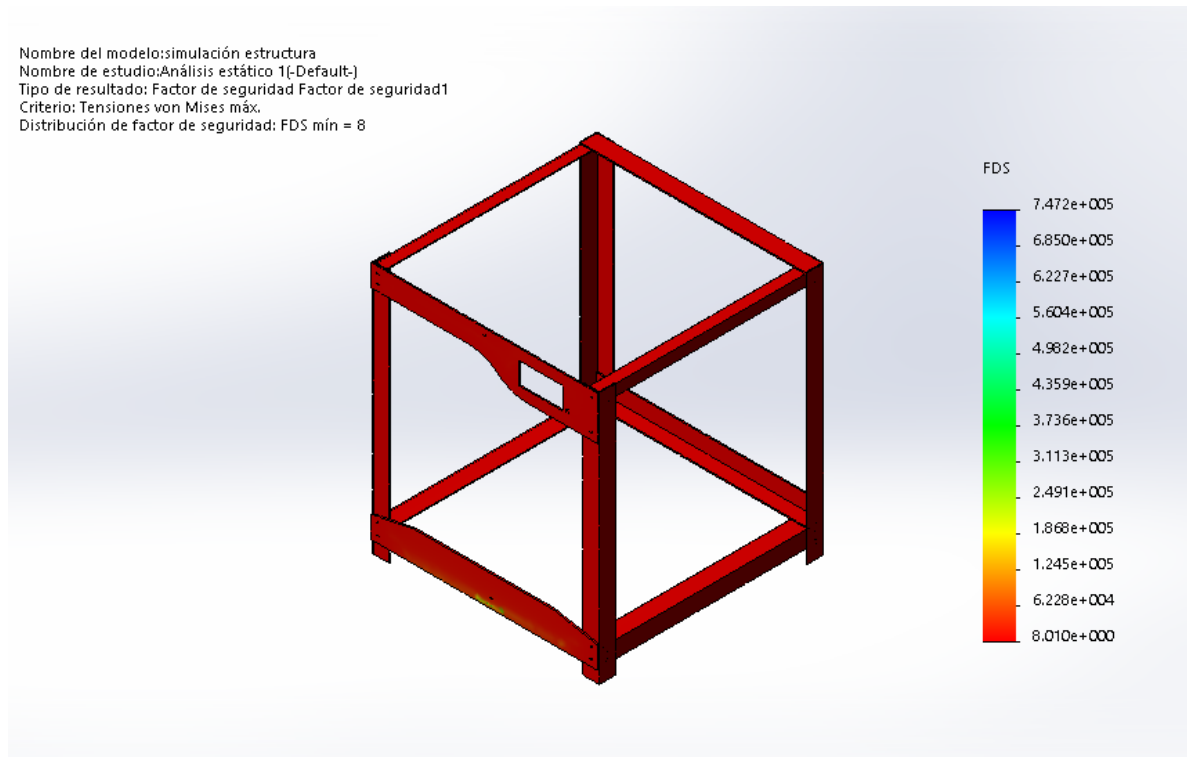


Figura N° 36 Factor de Seguridad de la estructura

Fuente: elaboración propia

El análisis estático del chasis en Solidworks® mostrado en la figura N° 36 indica un factor de seguridad mínimo de 8, que para una máquina herramienta de baja potencia es aceptable, considerando que se utilizó un volumen máximo de impresión, lo cual no es práctico, pero se utilizó para someter a la estructura a las condiciones más críticas

DEFORMACIÓN O DESPLAZAMIENTO

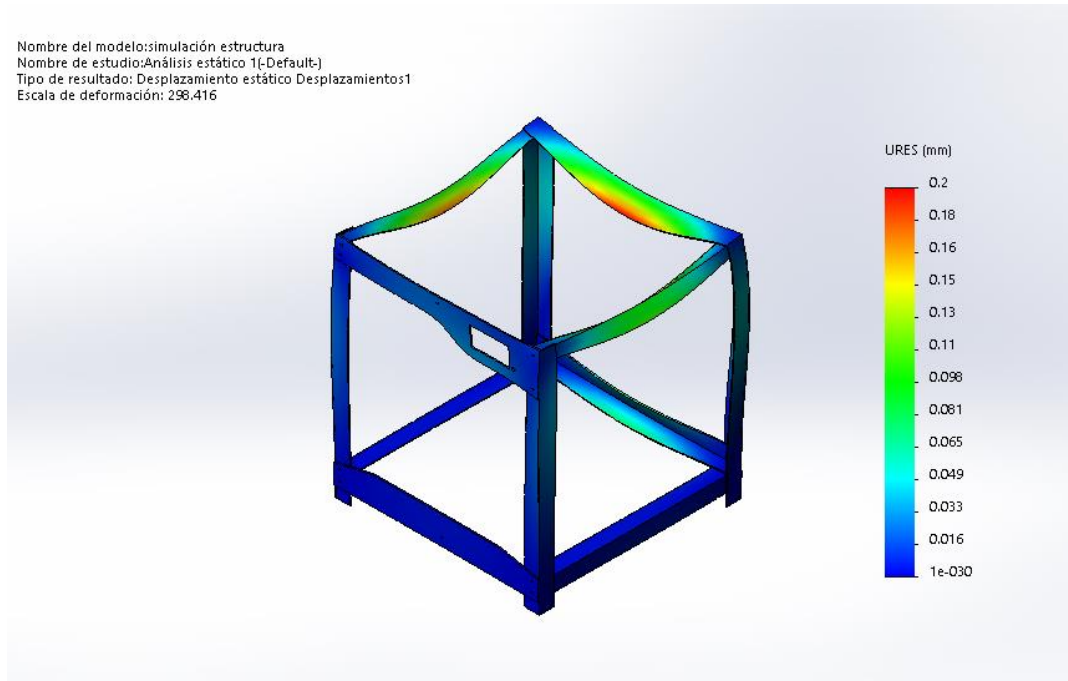


Figura N° 37 deformación unitaria

Fuente: elaboración propia.

El ensayo estático para determinar la deflexión máxima de la estructura del chasis se muestra en la figura N° 37, indica un desplazamiento máximo de 0.2 mm, este valor indica que el material es capaz de soportar las cargas que se estimaron si deformarse considerablemente.

ESFUERZOS DE VON MISES

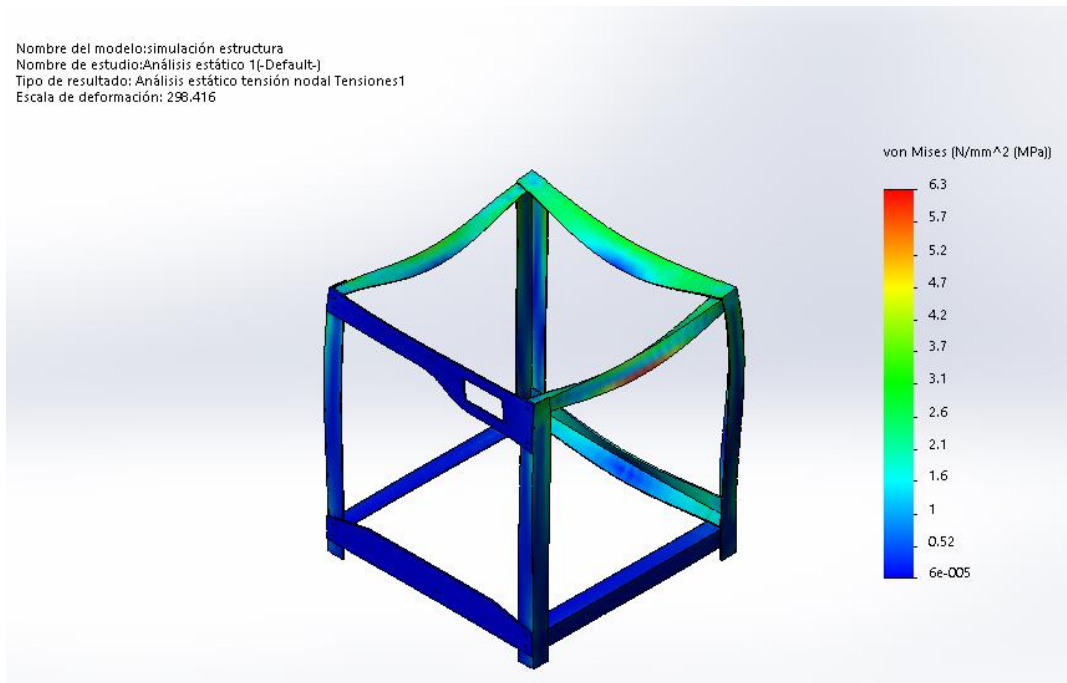


Figura N° 38 Esfuerzos Von Mises

Fuente: Elaboración propia

Con relación al límite de esfuerzo fluencia del material (124 MPa), se aprecia que el máximo esfuerzo de Von Mises (6,3 MPa) es mucho menor lo que hace segura la estructura mostrado en la figura N° 38.

3.13.2. Análisis De Elemento Finito Para Mesa De Trabajo

Esfuerzo De Von Mises

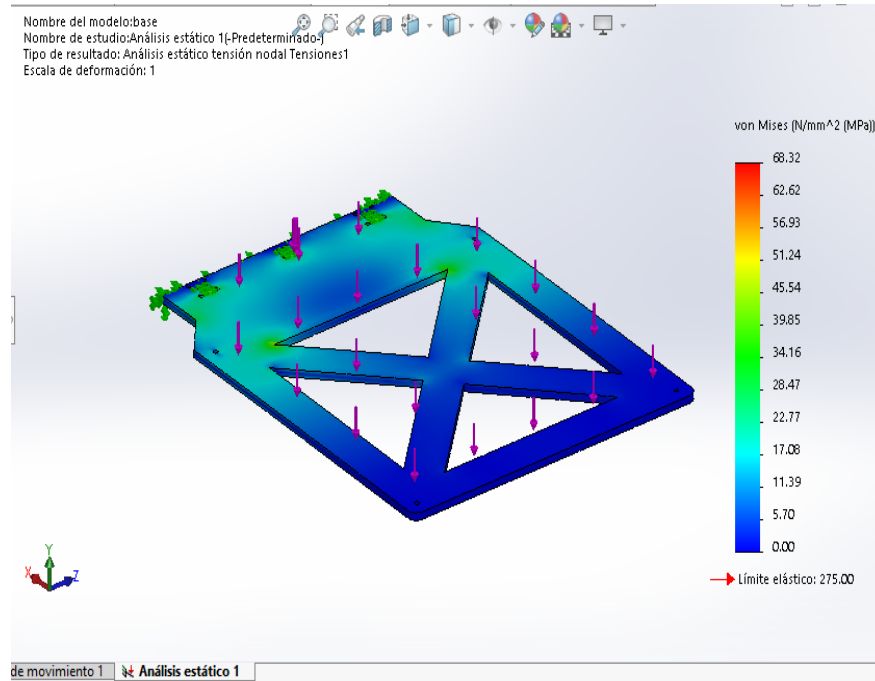


Figura N° 39 resultados de análisis Von Mises

Fuente: Elaboración propia

Este elemento es el encargado de soportar directamente la carga del objeto impreso, pero asumiendo un 80% del volumen total, del análisis se obtuvo que el esfuerzo máximo presente es 68,32 MPa la cual es inferior al límite elástico del material aleación de aluminio 6061 T6 que es de 124 MPa. Las dimensiones de este elemento son: 350 mm x 444,49 mm x 7 mm.

DESPLAZAMIENTO O DEFORMACIÓN

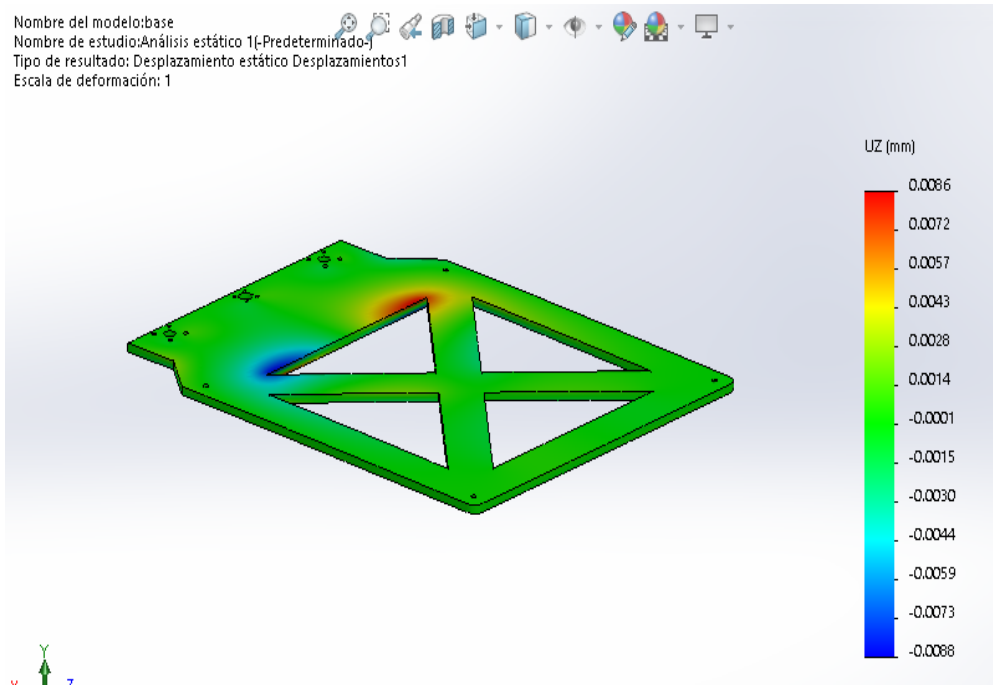


Figura N° 40 Deformación o desplazamiento en el eje Z de la mesa de trabajo

Fuente: Elaboración propia

En este análisis se determinó el desplazamiento que sufre el elemento en los puntos extremos opuestos al punto fijo, es decir su deformación en el eje Z, de los resultados se concluye que la máxima deformación es de 0,0088 mm que no es un valor que pueda afectar a la calidad de impresión, en consecuencia, el material y espesor seleccionado para el elemento es favorable.

FACTOR DE SEGURIDAD

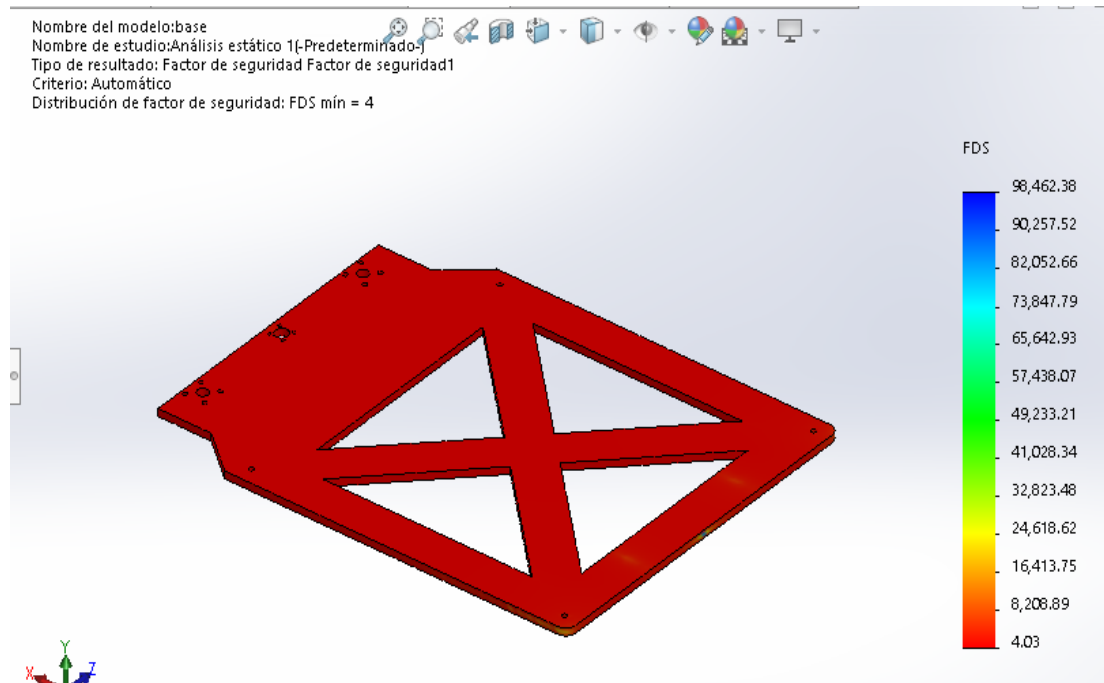


Figura N° 41 Determinación de factor de seguridad para mesa de trabajo

Fuente: Elaboración propia

En la figura se muestra el resultado del análisis para factor de seguridad, de los resultados se obtuvo que el FS mínimo para el elemento es de 4, este valor indica que la pieza tiene suficiente capacidad para soportar la carga calculada

3.13.3. Diseño de tornillo de potencia y movimiento eje Z

Las cargas que se mueven en el eje Z (cama caliente y objeto impreso), se desplazan a través de dos ejes lisos con rodamientos, pero estas son impulsadas por un motor que hace girar un eje roscado el cual se encarga del movimiento de traslación de las cargas, en forma vertical, el diámetro mínimo del tornillo se determina a través de la fórmula de Euler.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

Donde:

P_{cr} : carga crítica = 280,51 N

E : módulo de elasticidad del acero aleado = 206 GPa

I : momento de Inercia

K : constante que depende del extremo =1 (articulada-articulada)

L_e : longitud efectiva = KL

L : longitud real de la columna entre los soportes = (0,45 x 1) m

El diámetro mínimo se halla con la siguiente ecuación:

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 \times P_{cr} \times L_e^2}{E \times \pi^3}}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 \times 280,51 \times (0,45 \times 1)^2}{2,06 \times 10^{11} \times \pi^3}}$$

$$d = 4.88 \text{ mm}$$

Por criterio de diseño, estética y comercial se elige un diámetro mayor a este y se opta por una varilla roscada métrica M8 con paso de 1.25 mm.

3.14. Determinación De La Velocidad Y Tiempo De Impresión.

La velocidad de impresión no solo depende del tiempo de impresión si no de la calidad o resolución del objeto impreso, es por ello que para determinar la calidad de impresión se ha tomado en cuenta tablas de especificaciones técnicas de los filamentos de impresión más comerciales, que se muestran en las figuras N°42 y N°43, para definir la velocidad de impresión en función de la temperatura.

Un punto muy importante es que la velocidad y la resolución son inversamente proporcionales, ajustados por la temperatura de impresión. Es decir si la temperatura de extrusión es muy alta se tendrá que imprimir a mayor velocidad y lo que ocasiona es una baja calidad, por otro lado si la temperatura es muy baja, la impresión será mas lenta y podremos aumentar la calidad de impresión, pero la variable de salida de estos parametros será el tiempo que tardará la impresión.

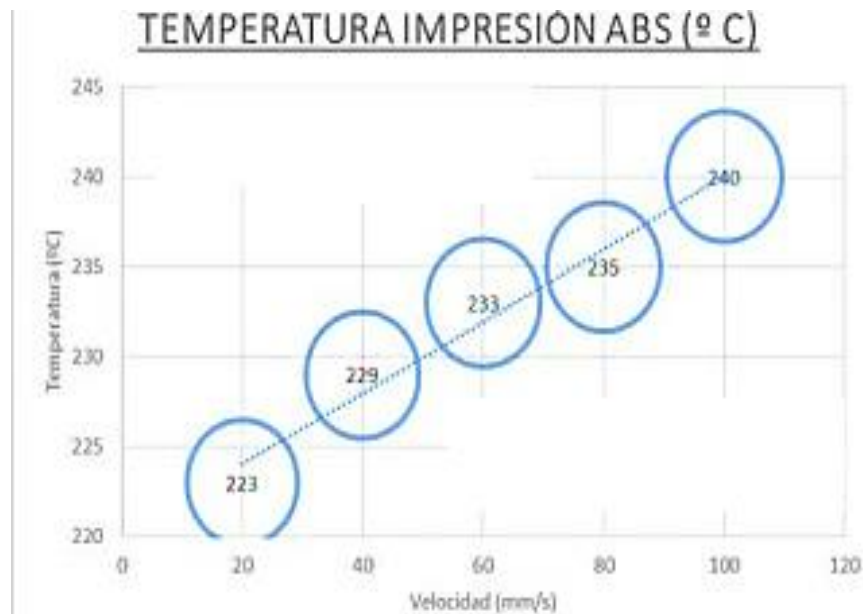


Figura N° 42 Relación de velocidad y temperatura de impresión para el filamento ABS

Fuente: https://filament2print.com/es/blog/9_Dudas-habituales-sobre-la-temperatura-y-la-ve.html

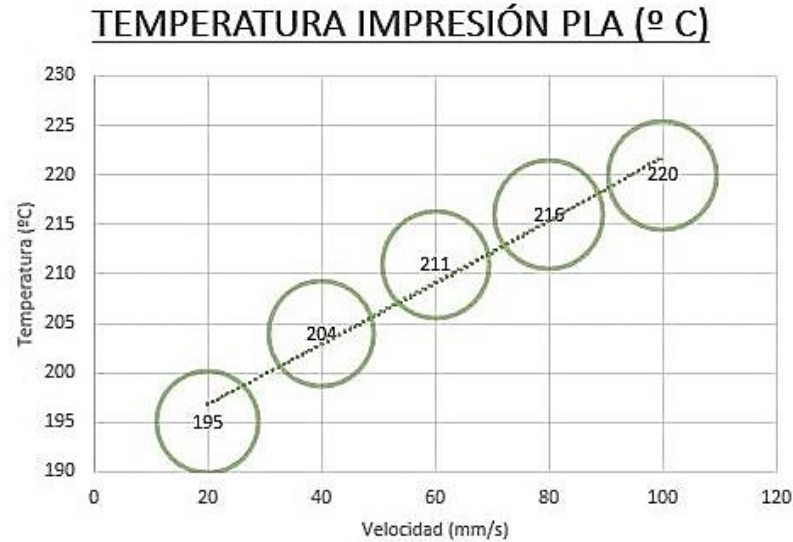


Figura N° 43 Relación de velocidad y temperatura de impresión para el filamento PLA

Fuente: [https://filament2print.com/es/blog/9 Dudas-habituales-sobre-la-temperatura-y-la-ve.html](https://filament2print.com/es/blog/9-Dudas-habituales-sobre-la-temperatura-y-la-ve.html)

Según lo mencionado anteriormente y luego de haber revisado trabajos previos que guardan relación con este proyecto se determinó que la temperatura óptima de impresión para el filamento de ABS es de 235 °C, y para el filamento PLA debe ser de 210 °C, con estos valores podemos deducir de las figuras N° 42 y N° 43 que la velocidad adecuada es de 80 mm/s si se imprime con filamento de ABS y de 60 mm/s, para impresiones con filamento de PLA. Estos valores son un referente para obtener una buena resolución de la impresión, pero es posible que el tiempo sea muy alto, esto puede variar con la calidad de impresión, aumentar la velocidad y tener mayor caudal de filamento extruido lo cual nos reducirá considerablemente el tiempo de impresión.

3.14.1. Tiempo De Impresión

Por otro lado, es difícil realizar un modelo matemático para su determinación ya que esto depende básicamente de los siguientes parámetros:

- Velocidad de impresión (determinado en función de la temperatura).
- Complejidad de la pieza.

- Existencia de soporte de material en el modelo.
- Volumen total de la pieza a imprimir.

Actualmente los softwares existentes muestran información acerca de la operación de impresión, como el tiempo de impresión, masa del objeto y otros, siendo posible ajustar los parámetros de impresión a fin de reducir el tiempo como se mencionó en la sección anterior.

En impresión 3D, se conoce que es poco frecuente y práctico imprimir a un 100% de material, esto es un parámetro que se configura en el software de control y se conoce como “fill amount” que es el porcentaje de relleno que se aplicará al objeto, así como la altura de capa que comúnmente puede ser de 0.2 mm (recomendado). Normalmente las impresiones no son macizas, si no que ahuecan cierta cantidad de material formando una especie de estructura de panal. Los porcentajes de densidad del relleno es recomendable valores desde 10% en aumento según las aplicaciones del objeto o las cargas a los que sean sometidos, para el cálculo del tiempo de impresión podemos usar un valor de 20 % el cual es un parámetro aceptable para una pieza de media resistencia y un ahorro de material. En la figura N°44, se puede ver los tipos de relleno para impresión 3D.

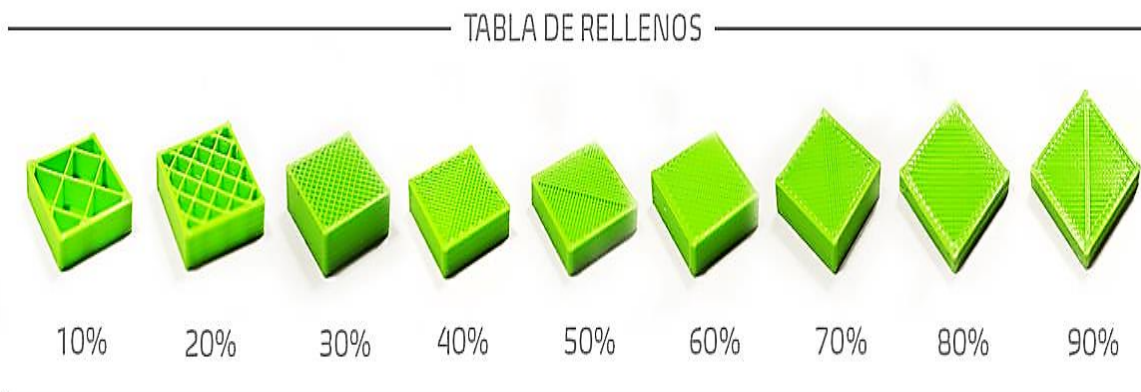


Figura N° 44 Tabla de tipo de relleno para impresión 3D

Fuente: http://wiki.ikaslab.org/index.php/Impresi%C3%B3n_3D_paso_a_paso

Cálculo de caudal o flujo de material

Con los datos de velocidad, asumiendo un prototipo estándar y el relleno recomendado se calcula el caudal de impresión.

$$Q = v * A$$

$$Q = 60 \frac{mm}{s} * \pi * (0,2 mm)^2$$

$$Q = 7,5 mm^3/s$$

Asumiendo esto podemos deducir que para una pieza con forma de cubo de un volumen de 5 cm * 5 cm * 5 cm tendría un tiempo promedio de impresión conforme al siguiente cálculo:

$$T = \frac{\text{volumen del objeto} * (\%)}{\text{flujo de material}}$$

Tabla 17 Estimación de tiempo de impresión según porcentaje de relleno.

PORCENTAJE DE RELLENO (%)	VELOCIDAD mm/s	VOLUMEN PRUEBA mm³	FLUJO (mm³/s)	TIEMPO (h)	
10	0.1	60	125000	7.54	0.461
20	0.2	60	125000	7.54	0.921
30	0.3	60	125000	7.54	1.382
40	0.4	60	125000	7.54	1.842
50	0.5	60	125000	7.54	2.303
60	0.6	60	125000	7.54	2.763
70	0.7	60	125000	7.54	3.224
80	0.8	60	125000	7.54	3.684
90	0.9	60	125000	7.54	4.145
100	1	60	125000	7.54	4.605

Fuente: Elaboración propia

3.15. Determinación De La Potencia De Los Motores Y Selección

Los cálculos fueron realizados, siguiendo las ecuaciones propuestas en el trabajo de (CHANCUSI TOAPANTA & NAVARRETE PARRA, 2014), para lo que corresponde a determinar el torque requerido por los motores y la potencia, la cual es como sigue.

Tabla 18 Coeficiente de rozamiento para distintas superficies en contacto.

Superficies en contacto	μ_k
Acero sobre acero	0.18
Acero sobre hielo (patines)	0.02 - 0.03
Acero sobre hierro	0.19
Hielo sobre hielo	0.028
Patines de madera sobre hielo y nieve	0.035
Goma (neumático) sobre terreno firme	0.4 – 0.6
Correa de cuero (seca) sobre metal	0.56
Bronce sobre bronce	0.2
Bronce sobre acero	0.18
Roble sobre roble en la dirección de la fibra	0.48

Fuente: recuperado de: [http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/general/rozamiento .htm](http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/general/rozamiento.htm)

3.15.1. Motor para el eje X

La potencia de los actuadores se determinó a partir de la carga que debe mover, que para el caso del eje X corresponde a cabezal de extrusión, este valor ya fue calculado en la sección 3.9

$$F_x = N_x * \left(\frac{V^2}{2 * d_x * g} + f_r \right)$$

Donde:

F_x : fuerza necesaria para mover el eje X (N).

N_x : carga aplicada en el eje X (12 N).

V^2 : velocidad de impresión (0.06 m/s).

d_x : distancia entre poleas (0.4 m).

g : aceleración de la gravedad.

f_r : coeficiente de rozamiento acero sobre acero entre el cojinete y eje (0,18)

$$F_x = 12 * \left(\frac{0.06^2}{2 * 0.4 * 9.81} + 0.18 \right)$$

$$F_x = 2,16 \text{ N}$$

Determinación del torque de motor.

Luego para determinar el torque necesario, se determinó el tipo de polea y correa que será usada. En la figura se muestra la configuración dispuesta para estos dos elementos.

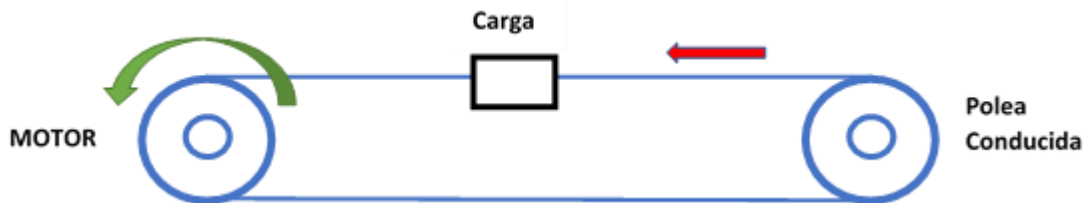


Figura N° 45 DCL del motor y poleas

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 46 Polea GT2

Fuente: <https://www.artemecatronica.com/product/polea-dentada-pinion-gt2/>

Las impresoras 3D comúnmente usan un tipo de polea dentada que ofrece muy buenas características, estas son las poleas GT2 usadas en mecatrónica y se muestra en la figura N° 46.

Entonces el torque se calcula según la formula siguiente:

$$T = F_x * r$$

Donde $r = 0.008$ m, es el radio de la polea, entonces tenemos que el torque es:

$$T = 2.16 * 0.008$$

$$T = 0.0173 \text{ N. mm}$$

La potencia viene dada por:

$$P = T * \omega$$

$$\omega = \frac{V}{r}$$

Donde:

V: velocidad lineal 60 mm/s

r: radio de la polea 8 mm

$$\omega = 7.5 \text{ rad/s}$$

$$\omega = 71.6 \text{ rpm}$$

$$P = 0.13 \text{ W}$$

3.15.2. Motor para el eje Y

$$F_y = N_y * \left(\frac{V^2}{2 * d_y * g} + f_r \right)$$

Donde:

F_y : fuerza necesaria para mover el eje Y (N).

N_y : carga aplicada en el eje Y (16 N).

V^2 : velocidad de impresión (0.06 m/s).

- d_x : distancia entre poleas (0.4 m).
 g : aceleración de la gravedad.
 f_r : coeficiente de rozamiento acero sobre acero para los rodamientos. (0,18)

$$F_y = 16 * \left(\frac{0.06^2}{2 * 0.4 * 9.81} + 0.18 \right)$$

$$F_y = 2,88 \text{ N}$$

Luego el torque requerido para el Eje Y es:

$$T = F_y * r$$

$$T = 0.023 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

La potencia viene dada por:

$$P = T * \omega$$

$$\omega = \frac{V}{r}$$

Donde:

V: velocidad lineal 60 mm/s

r : radio de la polea 8 mm

$$\omega = 7.5 \text{ rad/S} \quad 71.6 \text{ rpm}$$

$$P = 0.17 \text{ W}$$

3.15.3. Motor para el eje Z

Una vez obtenido el diámetro del tornillo roscado en la sección 3.11, se considera lo siguiente:

d : diámetro del eje = 8 mm

n : hilos por pulgada = 19

- P : paso = 1,25 mm
- D_p : diámetro de paso
- Fz : fuerza para desplazamiento en Z = 280.51 N
- f : coeficiente de fricción = 0,19
- \emptyset : ángulo de rosca = $2 \emptyset = 60^\circ \rightarrow \emptyset = 30^\circ$
- λ : ángulo de avance

El diámetro de paso se calcula con la siguiente fórmula:

$$D_p = d - \frac{p}{2}$$

$$D_p = 8 - \frac{1.25}{2} = 7,375 \text{ mm}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi * D_p} \right)$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{1,25}{\pi * 7,375} \right) = 3,09^\circ$$

Entonces el torque de ascenso se desarrolla con la fórmula:

$$T_u = \frac{FD_p}{2} \left[\frac{(\cos \emptyset \tan \lambda + f)}{(\cos \emptyset - f * \tan \lambda)} \right]$$

$$T_u = \frac{280.51 * 7,375}{2} \left[\frac{(\cos(30) * \tan(3,09) + 0,19)}{(\cos(30) - 0,19 * \tan(3,09))} \right]$$

$$T_u = 0.29 \text{ Nm}$$

Torque de descenso:

$$T_d = \frac{FD_p}{2} \left[\frac{(f - \cos \emptyset \tan \lambda)}{(\cos \emptyset + f * \tan \lambda)} \right]$$

$$T_d = \frac{280,51 * 7,375}{2} \left[\frac{(0.19 - \cos(30) * \tan(3,09))}{(\cos(30) + 0,19 * \tan(3,09))} \right]$$

$$T_d = 0,17 \text{ Nm}$$

Cálculo de la potencia necesaria para mover la carga en el eje Z

$$T_u = 0.29 \text{ Nm}$$

$$P = T * \omega$$

Donde:

T_u : torque de ascenso

w : velocidad de giro

La velocidad angular se calcula con la siguiente fórmula:

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega = \frac{60 \text{ mm/s}}{2.5 \text{ mm}} = 24 \text{ rad/s} \quad 229.1 \text{ rpm}$$

ω : *velocidad angular requerida* [rad/s]

v : *velocidad lineal* [m/s]

r : *radio del eje del motor* [m]

Calculando la potencia mínima necesaria con el torque de ascenso tenemos:

$$P = 0.29 * 24$$

$$P = 9.96 \text{ W}$$

3.15.4. Selección de motores

Luego de realizar los cálculos correspondientes para los tres ejes se determinó que el mayor torque se da en el eje Z para el ascenso de la mesa de trabajo, donde el torque máximo es 0,3 N.m y la potencia es 4,64 W. Por tanto, se seleccionó el motor NEMA 17 doble que tiene un torque de 0,63 N.m, velocidad angular máxima de 1000 rpm, lo

cual satisface para los tres ejes, el tipo de motor se puede ver en la figura N° 47 y sus especificaciones técnicas en el anexo D.



Figura N° 47 Motor Nema 17

Fuente: <http://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/546-motor-paso-a-paso-nema-17-32kg-cm.html>

3.16. Determinación De La Potencia De La Máquina.

La carga eléctrica acumulada por todos los componentes del equipo es la que determina la potencia que requiere la máquina para su funcionamiento, es por ello por lo que primero se calculó dichas cargas. La Potencia de cada equipo se calculó como sigue:

A. Motores a pasos NEMA 17

El equipo cuenta para su funcionamiento con 4 motores paso a paso NEMA 17, de manera que la potencia total consumida por los motores es:

$$P_m = V * I$$

Dónde:

$$V = \text{voltaje} \quad V = 3,6 \text{ Vdc}$$

$$I = \text{corriente} \quad I = 2\text{A/fase} = 4 \text{ A}$$

$$P_m = 3,6 \text{ V} * 4 \text{ A} * 4 \text{ motores}$$

$$P_m = 57.6 W$$

B. Cama caliente MK3

Potencia que consumirá la Plataforma caliente:

$$P_{cc} = 12 * 8$$

Dónde:

V = voltaje V = 12 Vdc

I = corriente I = 8 A

$$P_{cc} = 96 W$$

C. Hot-end

Para el hot-end lo que se utiliza es una resistencia cerámica tipo cartucho la cual son vendidas comercialmente en $P_H = 40 W$.

D. Ventilador:

Parámetros del ventilador 4010:

Tipo	: Ventilador de ventilador (se puede utilizar para impresora 3D)
Dimensión	: 40x40x10mm
Tipo de rodamiento	: doble bola
Voltaje	: DC 12V
Conector	: XH2.54-2Pin
Corriente clasificada	: 0.06Amp \pm 10%
Velocidad del ventilador:	6100 \pm 10% RPM
Nivel de ruido	: 25 \pm 10% dBA
Longitud del cable	: 20cm
Vida	: 40000 h
Salida de aire	: 28x10 mm
Flujo de aire	: 2.12CFM \pm 10%
Peso	: 12 g / pcs

El paquete incluye : ventilador 1 x 4010

Potencia que consumirá el Ventilador:

$$P_V = V * I$$

Dónde:

$$V = \text{voltaje} \quad V = 12 \text{ v}$$

$$I = \text{corriente} \quad I = 0.06 \text{ A}$$

$$P_V = 12 * 0.06$$

$$P_V = 0.72 \text{ W}$$

Finalmente, el consumo total de energía queda de la siguiente manera:

$$P_{total} = P_m + P_{cc} + P_H + P_V$$

$$P_{total} = 57.6 + 96 + 40 + 0.72$$

$$P_{total} = 194.32$$

Teniendo en cuenta en futuro adicionar un extrusor más y considerando la carga, aunque pequeña de la placa Arduino Mega 2560 y los drivers, se considera un incremento de la carga en un 30%, lo que nos daría en total una potencia de **252.62 W**

3.16.1. Selección de Fuente de Alimentación:

Luego de realizar los cálculos necesarios se consultó en diversos catálogos una fuente de alimentación con las siguientes características:

Potencia : 360 W

Voltaje de entrada : 110 V – 220 V

Voltaje de salida : 12 Vdc

Finalmente se seleccionó una fuente de alimentación de 360 W que es la potencia inmediata superior a la que se solicita y es la que se encuentra comercialmente.



Figura N° 48 Fuente de Alimentación 360 W

Fuente: <https://www.iniciativas3d.com/iniciativas3d/fuente-de-alimentaci%C3%B3n-conmutada>

3.17. Determinación De La Resolución De Impresión.

Las variables que se van a considerar son las siguientes:

R : resolución

ppu : pasos por unidad del tornillo

p : paso del tornillo = 1,25 mm

N_s y N_m : número de dientes del engranaje

N_s y N_m : no existen valores porque es acople directo

$$R = \frac{p}{ppu}$$

$ppu = \text{pasos por revolución del motor} * \text{Revolución del motor por unidad de giro del tornillo}$

Dado que la varilla roscada es accionada directamente por el motor, es decir sin uso de engranajes o poleas que transmitan el movimiento indirectamente, la revolución del tornillo por unidad de giro será:

$$\text{Revolución tornillo por unidad} = \frac{1}{1.25}$$

$$\text{Revolución tornillo por unidad} = 0.8 \text{ mm}$$

Entonces:

Revolución tornillo por unidad = Revolución del motor por unidad de giro del tornillo

$$ppu = (3600 * 0,8)$$

$$ppu = 2880 \text{ micro paso por unidad de giro del tornillo}$$

$$R = \frac{1,25}{2880}$$

$$R = 0.4 \text{ mm}$$

3.17.1. Modelamiento 3d De La Estructura Y Partes

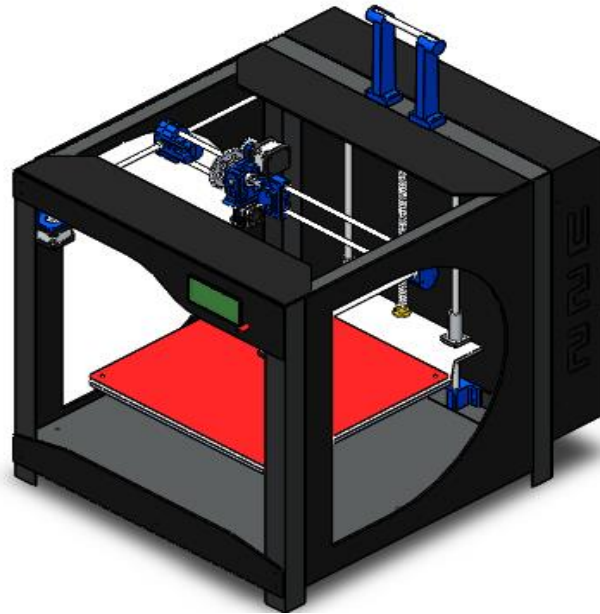


Figura N° 49 modelo 3D de la estructura

Fuente elaboración propia

En la figura N°49 se muestra el diseño 3D generado del equipo completo, en la cual se visualiza de forma general las partes de la estructura compuesta por perfiles angulares de aluminio de 38.1 mm x 38.1 mm x 2 mm, placa de metacrilato de 4 mm color negro y placa de acero ASTM A-56 de 2mm para la tapa posterior.

3.18. Selección Del Sistema De Control

El sistema de control que gobierna los componentes del sistema mecánico se basa en un sistema computacional que a través de un software maestro dirige información a un segundo sistema (electrónico) correspondiente a una tarjeta de control, un driver para el control de los actuadores; los sensores hacen la retroalimentación.

Para que el usuario tenga control sobre la máquina, se necesita el uso de una interfaz gráfica de software libre, en la cual podrá configurar todos los parámetros para realizar la impresión de la pieza, así como también observar mediante un gráfico tridimensional el proceso de prototipado capa por capa. El proceso de control a grandes rasgos se resume en el esquema de la figura N° 50.

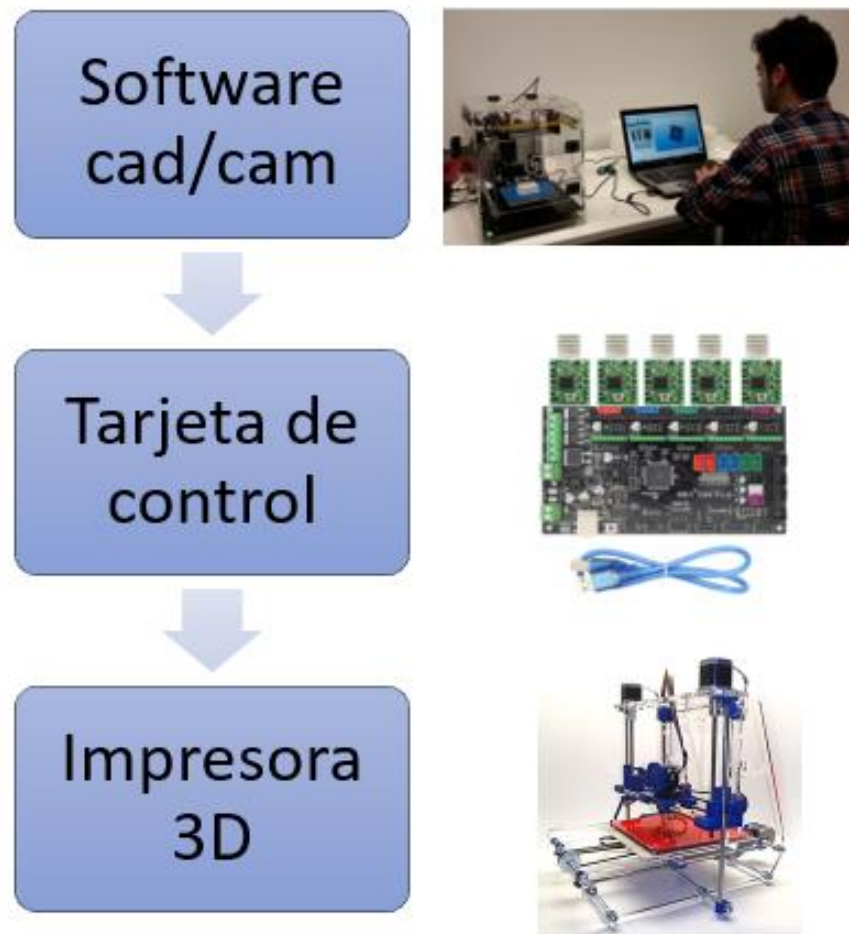


Figura N° 50 Esquema general de control de la impresora

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de flujo para el modo de impresión automático

En la figura N°51, se puede ver el proceso que se suscita cuando se realiza el proceso de impresión de manera automática, es decir cuando el operador realiza la impresión directamente desde la pantalla de control de la impresora ingresando el archivo. stl con el objeto a ser impreso por medio de una tarjeta de memoria SD.

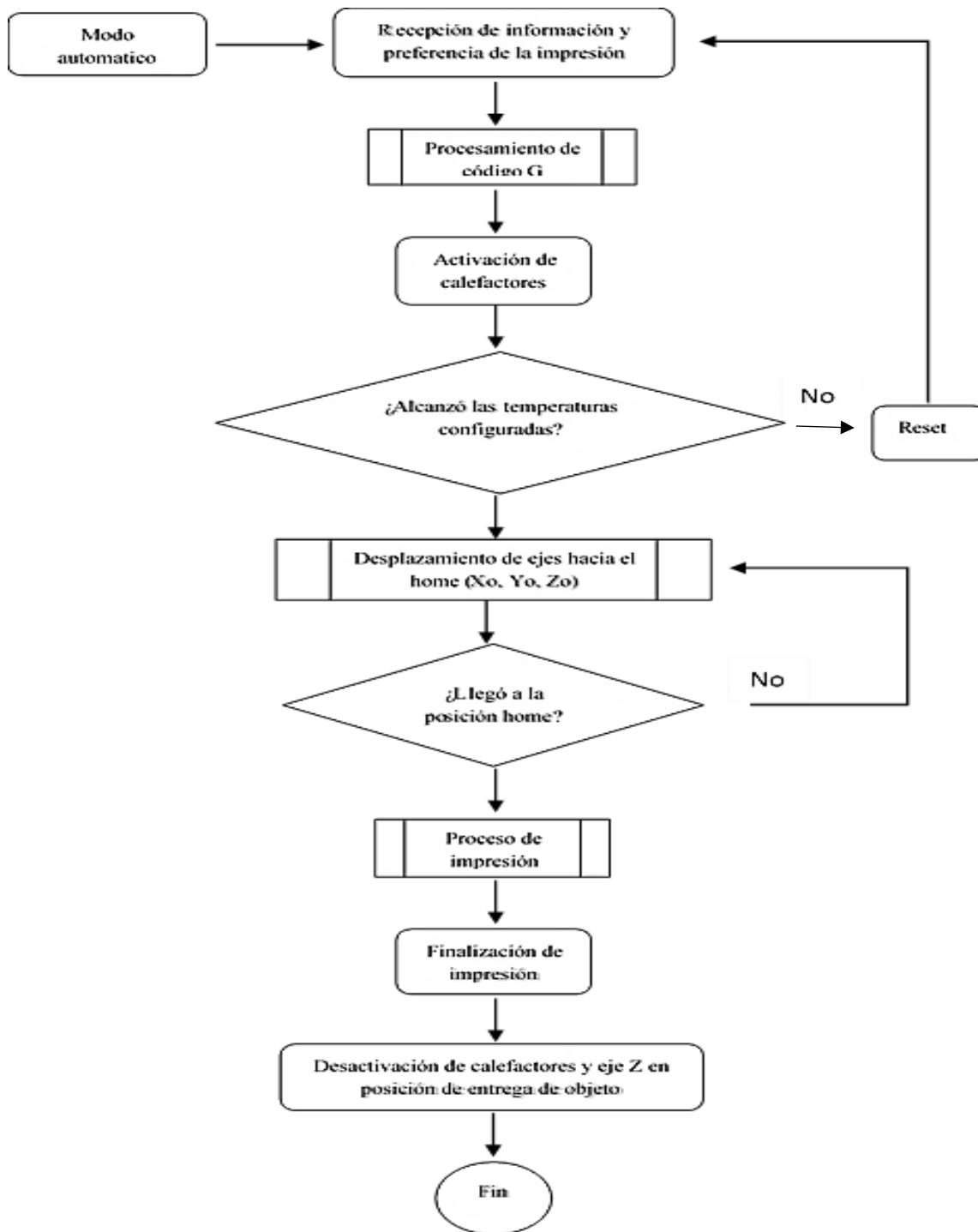


Figura N° 51 Diagrama de flujo para el modo de impresión automático..

Fuente: propia.

3.18.1. Selección de software:

Se eligió el software Repetier Host, esta plataforma presenta características que nos permiten adecuarlo a las exigencias de trabajo que este proyecto necesita, porque presenta un amplio menú de opciones para el control de la impresión, permitiendo cuidar los parámetros en tiempo real durante el proceso, además es un software libre lo cual es bueno y por ende no tiene restricciones en cuanto a su completo uso y por último presenta gran facilidad para su aplicación y manejo. Se utiliza en muchos tipos de impresoras 3D con sistema FDM, permite generar hasta 3 configuraciones diferentes para los soportes, también se puede imprimir múltiples piezas simultáneamente. Una ventaja de este software es que permite una conexión en red de múltiples impresoras y al mismo tiempo control inalámbrico vía internet desde cualquier dispositivo PC, Mac, Smartphone o Tablet. Lo cual Permite el control desde cualquier dispositivo.

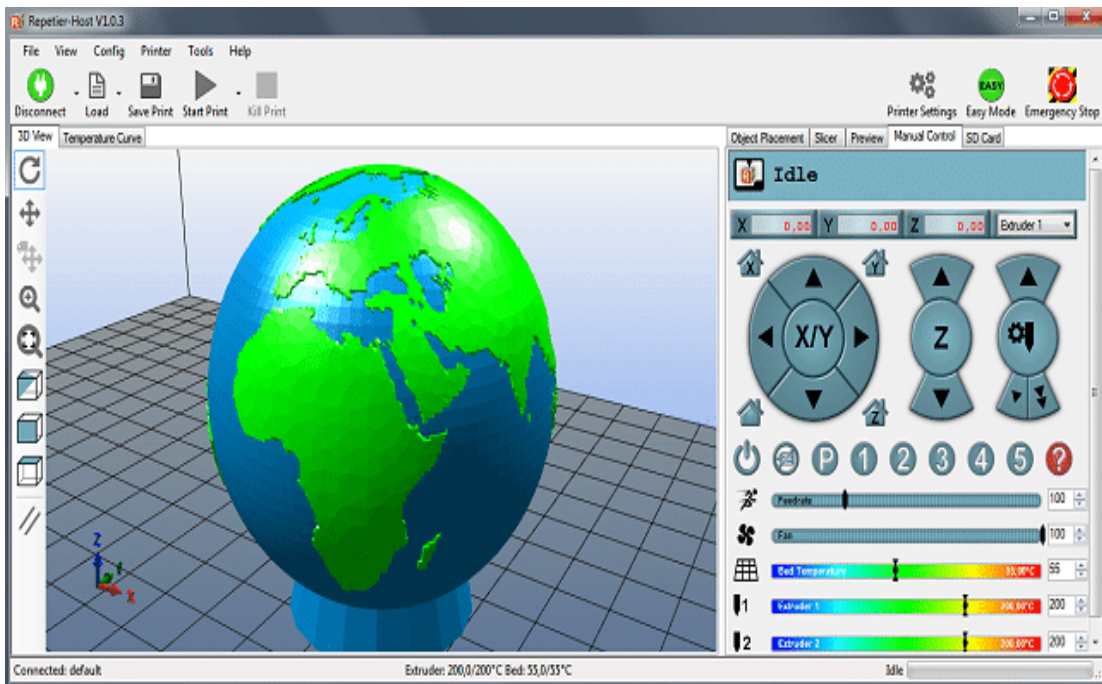


Figura N° 52 Interfaz del software Repetier Host

Fuente: <https://www.repetier.com/documentation/repetier-host/>

3.19. Configuración Del Firmware Para Control Del Arduino

3.19.1. Marlin

Este es un firmware para configuraciones de un procesador único en la electrónica Reprap. Soporta impresión de carpetas de tarjeta SD y planificación de una trayectoria futura (ROMERO BARRENO & MORALES VACA, 2015)

Marlín en la actualidad es un Firmware robusto, completo e ideal para la impresión 3D, tiene una interfaz gráfica sencilla como se muestra en la figura N° 53, además nos ofrece las siguientes características:

- Interrupción basada en el movimiento de aceleración lineal.
- Mantiene una velocidad alta cuando es necesario. Alta velocidad en curvas.
- Interrupción por protección de temperatura.
- Tarjeta SD.
- Soporte para endstop.
- Carpetas en tarjeta SD (para pronterface).
- Almacenamiento en EEPROM de máxima velocidad, aceleración y variables similares.
- Selección de temperatura dinámica o auto temperatura.
- Control para finales de carrera.
- CoreXY.
- Puerto serie configurable para soportar adaptadores inalámbricos.

El primer paso para la configuración del firmware es instalarse el programa de Arduino el cual puede descargarse libremente de internet. Luego se debe descargar el Marlin y se debe abrir desde la carpeta el archivo que tiene el nombre Marlin.ino, luego en la pestaña tools se debe escoger el tipo de placa que es la Mega 2560 y en la pestaña configuración.h se debe configurar según como se muestra en el anexo G, finalmente se debe conectar la placa con el conector USB y cargar el firmware.


```
Marlin | Arduino 1.0.6
File Edit Sketch Tools Help
Marlin BlinkM.cpp BlinkM.h Configuration.h$ ConfigurationStore.cpp ConfigurationStore.h Configuration_adv.h DOGM03

// 1k ohm pullup tables - This is not normal, you would have to have changed out your 4.7k for 1k
// (but gives greater accuracy and more stable PID)
// 51 is 100k thermistor - EPCOS (1k pullup)
// 52 is 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (1k pullup)
// 55 is 100k thermistor - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan & J-Head) (1k pullup)

#define TEMP_SENSOR_0 0 // Disabled temperature sensors for syringe extruder
#define TEMP_SENSOR_1 0 // Disabled temperature sensors for second syringe extruder
#define TEMP_SENSOR_2 60
#define TEMP_SENSOR_BED 60

// This makes temp sensor 1 a redundant sensor for sensor 0. If the temperatures difference between these sensors is t
//#define TEMP_SENSOR_1_AS_REDUNDANT
#define MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF 10

// Actual temperature must be close to target for this long before M109 returns success
#define TEMP_RESIDENCY_TIME 5 // (seconds)
#define TEMP_HYSTERESIS 3 // (degC) range of +/- temperatures considered "close" to the target one
#define TEMP_WINDOW 1 // (degC) Window around target to start the residency timer x degC early.

// The minimal temperature defines the temperature below which the heater will not be enabled It is used
// to check that the wiring to the thermistor is not broken.
// Otherwise this would lead to the heater being powered on all the time.

124 - 125 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on COM3
```

Figura N° 53 Interfaz gráfica de firmware Marlin.

Fuente: <https://3dprinterchat.com/2016/01/marlin-a-beginners-guide/>

Toda la programación y configuración del Firmware Marlin se muestra en el anexo G.

3.20. Descripción De La Configuración Y Conexiones De Arduino Y Componentes

El montaje de los componentes electrónicos no requiere de un conocimiento amplio en electrónica, pues se trata únicamente de realizar conexiones de pines en la posición adecuada y la conexión de la fuente en una bornera. A continuación, se muestran la forma como deben ser conectados cada componente.

Conexión de RAMPS 1.4 en placa Mega 2560

La RAMPS 1.4 es una placa adicional para Arduino Mega 2560 que traduce las órdenes digitales de nuestro ordenador en órdenes por pasos, a través de los drivers para los motores paso a paso. ES muy usado para control de pequeños equipos CNC. El montaje de estos se muestra en la figura N° 54 donde solo se tiene que hacer coincidir los pines como se muestra, es decir la conexión es por presión o engrape.

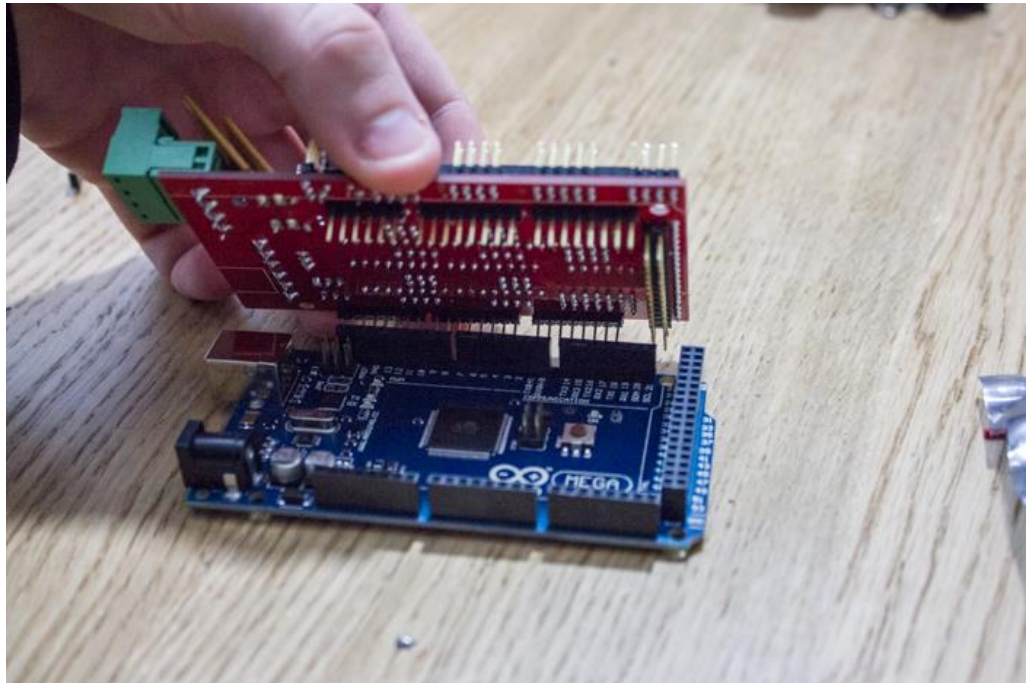


Figura N° 54 Montaje de Ramps 1.4 en placa Mega 2560

Fuente: <https://www.geeknetic.es/Guia/987/Como-montar-una-impresora-3D-casera.html>

Conexión de componentes en RAMPS 1.4

Como ya se mencionó anteriormente esta placa auxiliar usada para equipos CNC tiene la función de servir de puente entre el Microcontrolador y los componentes que operan en la impresora, a continuación, se muestra una imagen que grafica claramente la posición que ocupa cada conexión dentro de la placa.

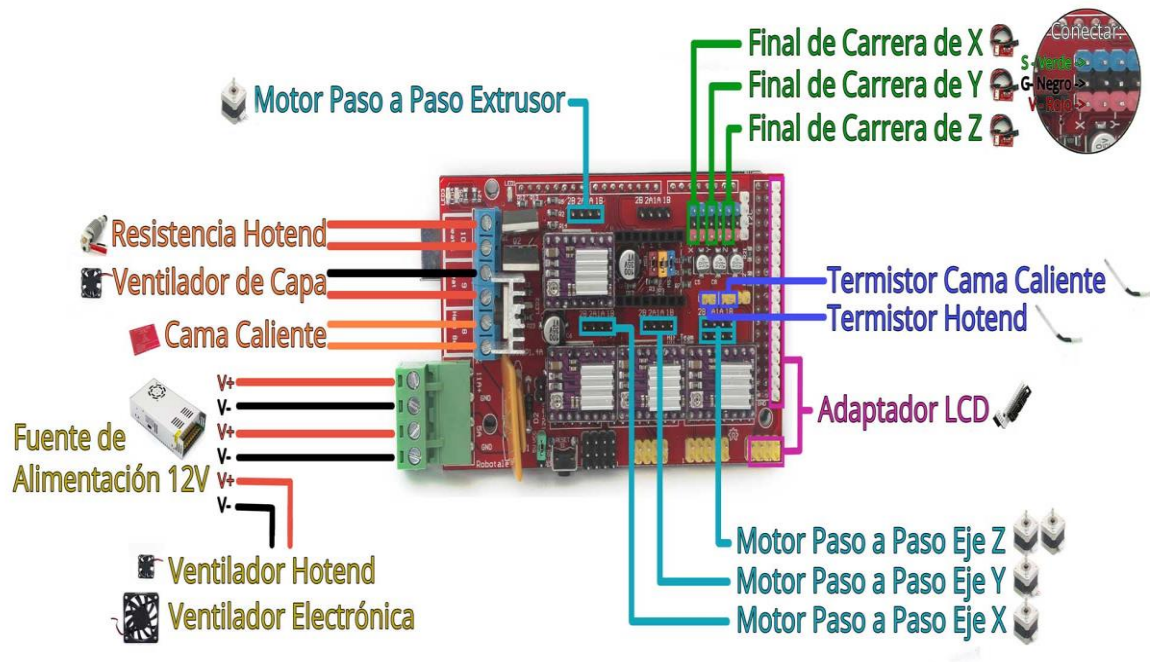


Figura N° 55 Conexión de componentes para el sistema electrónico de impresora 3D

Fuente: <https://www.hta3d.com/Blog/Como-Conectar-RAMPS1.4>

3.21. Diseño De Selección Para Subsistemas

3.21.1. Selección de componentes para el subsistema de control

Por tratarse de un proyecto que involucra software libre, se tuvo en cuenta el uso de Arduino para la electrónica, por lo que este trabajo contempla el uso de un kit CNC de Arduino que es comercial y económicamente viable. En la siguiente tabla se describen los componentes del kit completo

Tabla 19 Componentes KIT ARDUINO.

	CC	CANTIDAD
RAMPS shield	1.4	1
Arduino Mega	2560	1
Módulo con disipador de aluminio	A4988	5
Pantalla LCD con entrada tarjeta SD		1
Endstops con fuente de 12 V	V 1.2	6
Ventilador		1
Cable USB		1
Termistor 100 K	NTC 3950	2
Resistencia de cartucho 12 V		1

Fuente: elaboración propia

3.21.2. Selección de Subsistema de extrusión:

Es el elemento donde se funde el material de impresión que recibe del extrusor, para luego ser depositado en la cama caliente a través de una tobera, esta pequeña pieza mecánica es de mucha importancia ya que de ello depende la calidad de impresión. Para este proyecto, por sus características se seleccionó el modelo de Hotend E3DV6, a continuación, se mencionan algunas características técnicas de este elemento.

Diámetro de boquilla : 0.3 – 0.5 mm

Diámetro para filamento de impresión: 1.75 – 3 mm

Temperatura : 260 °C

Termistor : 100 K NTC

Materia prima de trabajo : ABS, PLA, Nylon, Policarbonatos, FilaFlex.



Figura N° 56 Hotend E3DV6

Fuente: <https://www.thingiverse.com/thing:681911>

El kit consta de un cabezal de extrusión directa desde donde el motor de arrastre y los engranes de tracción empujan el filamento hasta la boquilla pasando por el hotend previamente para ser depositado en la cama caliente y un ventilador para enfriamiento de capa impresa.

3.21.3. Selección De Base De Deposición (Cama Caliente).

Cama caliente es la superficie que se incorpora a la mesa de trabajo y es donde se deposita el material fundido manteniendo un ambiente adecuado. Está hecha de vidrio, cerámica o metal (aluminio) y su principal característica es que puede ser calentada. Su objetivo es lograr mayor adherencia del filamento y evitar deformaciones debido a la diferencia de temperatura entre el material que sale por la boquilla y el material ya depositado por las características que se ajustan a nuestro proyecto de elige la cama caliente modelo **MK3** cuyas características se describen:

Superficie caliente	: 300mm x 300 mm
Voltaje de operación	: 12 y 24 V
Temperatura	: 120 °C

Resistencia : 1.2 a 12 V; 4.8 a 24 (ohm)
Termistor : 100 K
Material : Aluminio
Potencia : 120 W

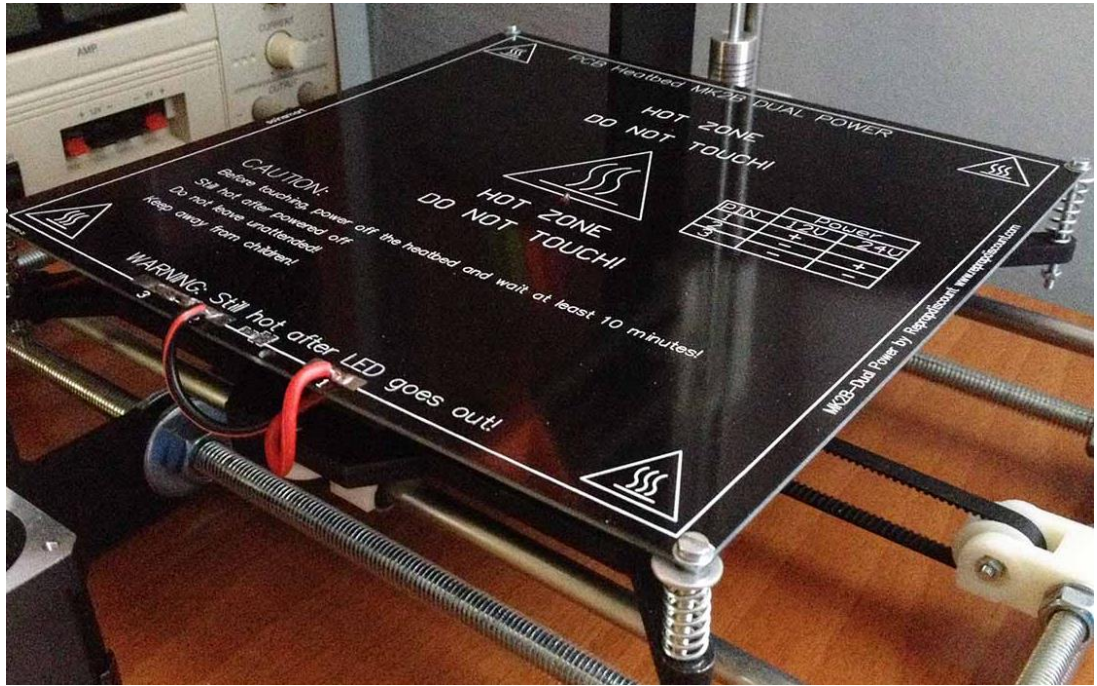


Figura N° 57 Cama Caliente MK3

Fuente: <https://www.zonamaker.com/impresion-3d/crea-impresora/11-cama-caliente-crea-imp>

La cama caliente seleccionada se monta sobre una base de aluminio soportada con pequeños pernos y muelles de resorte para amortiguar las vibraciones que se genera al imprimir.



Figura N° 58 Accesorios Complementarios Para La Cama Caliente

Fuente: <http://ultimaker.tr3sdl.com/producto/kit-de-mejora-de-la-cama-caliente/>

3.21.4. Otros componentes

Además de los componentes seleccionados se necesitan otros componentes que son de fácil adquisición en comercios dedicados a la venta de insumos para tecnología 3D, estos también pueden ser adquiridos a través de venta por internet, los componentes necesarios para montaje del sistema de movimiento y ajuste de piezas se muestran en la tabla N°20

Tabla 20 Otros componentes para la impresora 3D.

COMPONENTES	MODELO
Rodamientos	608zz
Rodamientos	623zz
Correa dentada 6mm	GT2
Polea dentada 16 dientes 6mm	GT2
Tornillos M3 x 12	
Tornillos M3 x 16	
Tornillo M3 x 25	

Fuente: Elaboración propia

3.22. Elaboración De Planos De Fabricación Y Montaje.

Todos los elementos constructivos para la estructura, así como la mesa de trabajo y ejes modelados en 3D, se presentan con sus planos correspondientes en los anexos, en la tabla N°21 se especifica los planos realizados y su ubicación en los anexos. Las piezas imprimibles no fue necesario realizar planos ya que al ser hardware libre se puede descargar del siguiente enlace <https://www.thingiverse.com/luighi/designs>, donde las hemos puesto a libre disposición.

Tabla 21 Descripción y anexo de planos.

ANEXO	DESCRIPCIÓN DE PLANO
G	Conjunto General
H	Tapa frontal superior
I	Tapa frontal inferior
J	Tapa superior
K	Tapa inferior
L	Tapa lateral
M	Tapa posterior
N	Cubierta posterior
Ñ	Perfil angular 38,1 mm x 38,1 mm
O	Perfil angular 25,4 mm x 25,4 mm
P	Eje X
Q	Eje Y
R	Eje Z
S	Mesa de trabajo

Fuente: Elaboración propia

3.23. Presupuesto.

Los costos de inversión para la fabricación de la impresora 3D con capacidad para imprimir un volumen máximo de 30 cm x 30 cm x 30 cm con polímero PLA, con potencia de 360 w, están basados en precios reales obtenidos de cotización de páginas web, empresas dedicadas a la comercialización de productos relacionados a la impresión 3D. Los datos se muestran en la tabla N°22.

Tabla 22 Costos de inversión.

INVERSION TOTAL IMPRESORA 3D				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P. UNIT (\$)	SUB TOTAL
1	Angulo de Aluminio (38,1 mm x 38,1 mm x 3 mm)	1	15	15
	Angulo de Aluminio (25,4 mm x 25,4 mm x 3 mm)	1	10	10
2	Tornillo de Potencia 12.7 mm	1	8.6	8.6
3	Eje lizo de acero 8mm x 450 mm	4	11.38	45.52
4	Eje lizo de acero 10 mm	2	13.4	26.8
5	Piezas de Acrílico 5 mm	5	5.1	25.5
6	Motor Nema 17	4	21.6	86.4
8	Poleas Dentadas	6	2.17	13.02
9	Kit de Cama Caliente	1	15.47	15.47
10	Kit de Hot End	1	16.63	16.63
11	Final de Carrera	3	1.54	4.62
12	Kit Mega 2560 R3 Arduino ramps 1.4 , LCD 12864	1	61.91	61.91
13	Fuente de Poder	1	20.18	20.18
14	Rodamiento de Bolas 608 zz	2	1.24	2.48
15	Rodamiento de bolas 623 zz	1	1.15	1.15
16	Acople flexible para motor	1	4.33	4.33
17	Ventilador	1	2.05	2.05
	Rodamiento línea LM8uu	8	1.49	11.92
18	Rodamiento lineal LMF LM8uu	2	3.85	7.7
19	Kit de Piezas Plásticas (Replicables) ABS	1	350	350
20	Tornillería	1	5.4	5.4
			TOTAL (\$)	734.68

Fuente: Elaboración propia

Además de los costos por compra de insumos se considera un costo por mano de obra, considerando que el equipo puede ser fabricado en 3 días como máximo, incluyendo el tiempo de preparación de los materiales, los costos de fabricación se muestran en la tabla N° 23:

Tabla 23 Costo de mano de obra.

INVERSION EN MANO DE OBRA				
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P. UNIT (\$)	SUB TOTAL
23	mano de obra técnico/día	1	75	75
			TOTAL	75

Fuente: Elaboración propia

El costo total de la inversión del proyecto se estimó en \$ **809,68 dólares**.

Al ser una herramienta de uso particular e interno de la universidad, para imprimir piezas, prototipos y diseños destinados a diversos usos, se hace complicado medir la valoración de los aplicativos en términos económicos, por lo tanto, no se puede estimar las ganancias y ahorros económicos que se obtendría al utilizar la impresora 3D, lo cual el análisis económico solo se limita a determinar los gastos de inversión, ensamblaje y pruebas de la impresora.

Se encontró un equipo de similares características con uso de software propio, lo que la hace más costosa. La Zortrax M300 tiene un precio actual en el mercado de \$4500, este valor comparado con el costo de inversión estimado para nuestro proyecto presenta una diferencia en 75%.

Capitulo IV:
DISCUCIÓN

4. DISCUSIÓN.

4.1. Necesidades de la universidad:

De la tabla N° 4, donde se muestra el resumen de la entrevista realizada a autoridades y docentes de la institución, del análisis y revisión bibliográfica cuyo resumen se muestra en la tabla N° 5, se definen características como; volumen máximo de impresión en 300 x 300 x 300 mm³, utilizar PLA como material de impresión, en un solo color, y un diseño de estructura semicerrada por factores de seguridad y operación, las partes abiertas para facilitar la visibilidad hacia el área de trabajo, se aplicaron criterios basados en la revisión proyectos similares, superando el margen de impresión que proponen otros autores como Avelino Hernández, Hugo A. el cual su diseño solo tiene un volumen de impresión de 15 cm x 15 cm x 15 cm. Y pese a que el proyecto propone usar PLA como material de impresión la maquina tiene capacidad para imprimir con otros filamentos de polímero.

4.2. Alternativa de solución:

De los conceptos generados el sistema que se adecua a las necesidades encontradas y especificaciones es el tipo de sistema de movimiento, una variante de la impresora Makerbot Replicator que se muestra en la figura N° 21, en este sistema el cabezal de extrusión se desplaza en los ejes X, Y, mientras que la base de deposición se desplaza en el eje Z. los resultados del análisis de selección se muestran en la tabla N° 7. La carcasa que se seleccionó para este sistema es la que se muestra en la tabla N° 8 y figura N° 27, un diseño que cumple con las características deseadas. Las dimensiones de la misma se establecen por el tamaño de objeto a imprimir y los accesorios, uniones y demás. Los resultados de selección se muestran en la tabla N° 20.

4.3. Selección de material y Cálculo de diámetro de ejes

Los cálculos para el diseño de ejes se desarrollaron según normas ASTM/ANSI para el diseño de elementos de máquinas. El material seleccionado es Acero AISI 304, cuyo límite de fluencia es de 688,8 MN/m², Las cargas que se calcularon se muestran en las tablas N° 11, 12, 13 respectivamente para los ejes correspondientes.

Los resultados son para el eje X diámetro del eje = 3,81 mm, para el eje Y diámetro = 4,33 mm, para el eje Z diámetro = 8,86 mm, según se resume en la tabla N° 15.

Por factores de estética y comerciales se determinó que el diámetro a utilizar sea de 8mm. Para los ejes X, Y, el diámetro para el eje Z es de 10 mm, el material seleccionado se basó en trabajos similares como el de Avelino Hernández, Hugo A.

4.4. Factores de seguridad para los ejes y soportes:

Los factores de seguridad calculados y comprobados a través de la GUI de Matlab son. (18.5, 13.87, 2.3) Para los ejes X, Y, Z respectivamente, estos valores permiten realizar el diseño con seguridad, la cual garantiza estabilidad sin falla por deformación de esfuerzos, el procedimiento y cálculos están realizados según normativa vigente.

4.5. Potencia y selección de motores.

El resultado de los cálculos para determinar la potencia total de la máquina es de 252.62 W para ello se realizó la sumatoria de todos los componentes electrónicos, pero se seleccionó una fuente de poder de 360 W como se muestra en la sección 3.16.1, los motores se calcularon por la potencia requerida para mover las cargas en los respectivos ejes de forma específica en el eje Z, el resultado es 4.64 W. se va a utilizar motor Nema 17 que se muestra en la figura N° 47. La selección de estos componentes coincide con los seleccionados en otros informes de investigación.

4.6. Velocidad y tiempo de impresión.

La velocidad de impresión se calcula en base a la temperatura del extrusor ya que este es el que permite el paso del filamento según el tiempo de función. En las figuras N° 42, 43 se muestra la relación de velocidad y temperatura para el filamento PLA y ABS. Lo cual está entre 210 – 235 °C, y velocidad de 60 mm/s. El tiempo de impresión es un parámetro que no solo depende de lo descrito anteriormente, sino del tipo y porcentaje de relleno que se le dé al objeto a imprimir, la tabla N° 17 muestra los resultados del tiempo de impresión para un volumen de prueba respecto al porcentaje de relleno. resultado del cálculo para la tasa de deposición es de 7,5 mm³/s.

4.7. Resolución de impresión.

La resolución de impresión de determino por el número de pasos por revolución del motor y el paso por unidad del tornillo roscado del eje Z, el resultado de estos cálculos es de 0.4 mm de resolución, este resultado es coincidente con otras investigaciones como

de Romero Sánchez, Martin que obtiene el mismo valor con una boquilla de 0.35 mm, Romero Calderón, Miguel Torres, Edgar A. León, Jersson, que en sus trabajos obtiene resultados similares.

4.8. Diseño paramétrico

Todos los resultados como diámetros mínimos y deflexión de las barras de guía fueron calculados manualmente en la sección 3.8 ver anexo E, pero para optimizar los procesos y mejorar los resultados fue conveniente recurrir a la elaboración de un programa de cálculo y los resultados de la GUI como se muestra en las figuras N° 29,30,31, para repetir el proceso, Los elementos estructurales fueron analizados usando elementos finitos por medio del Software solidworks®, corroborando los resultados con lo calculado, lo cual concuerda y garantiza nuestro trabajo. El equipo completo fue realizado en su totalidad en el mismo software, del cual además se obtuvo los planos necesarios.

4.9. Selección de sistema de control.

Este sistema se selecciona según requerimientos, aplicaciones, usos y accesibilidad, se eligió el software Repetier Host, características que se describen en la sección 3.18.1 selección de software. Esta tecnología de software y hardware libre coincide con las usadas en otras investigaciones estudiadas como de Romero, M (2014), Illescas, E (2012). Quienes optan por este sistema de control.

4.10. Selección de sub sistemas.

Los siguientes sub sistemas se seleccionaron teniendo en cuenta aspectos funcionales, y económicos en la tabla N° 19 se muestran las características y cantidad de cada uno de los componentes del sub sistema de control, Kit Arduino. Además se selecciona la fuente de alimentación de 12 V, 30 W, 30 A, el sistema de extrusión y deposición del modelo Hotend E3DV6, la cama caliente MK3. La selección de estos accesorios se realizó teniendo como base trabajos previos como guía como el de Chancusi. S (2014), Illescas, E (2012). Los cuales aducen su buen funcionamiento en las pruebas realizadas.

Capítulo V:

CONCLUSIÓN

5. CONCLUSIONES.

Se identificó las necesidades en la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica de la Universidad Señor De Sipán, a través de la realización de una encuesta guía y revisión bibliográfica, las variables independientes son: propiedades del material de fabricación de la impresora y del material a fundir y las variables dependientes: factor de seguridad, parámetros de impresión. Además de configuración de chasis y carcasa, sistema de movilidad, volumen máximo de impresión.

Se concluye que el diseño de configuración de estructura, chasis y carcasa es óptimo porque garantiza estabilidad, rigidez y visibilidad al momento de imprimir, así mismo que el sistema de movilidad es adecuado, mesa de deposición se desplaza en el eje Z, cabezal de extrusión en los ejes X, Y, lo cual evita que el prototipo se desubique por vibración.

Que los parámetros de impresión: resolución y velocidad coinciden con otros trabajos por lo tanto es aceptable en esta investigación, dependen del relleno que se le da al objeto, el tamaño máximo a imprimir es 300 mm x 300 mm x 300 mm, con PLA como material de impresión, en tanto las dimensiones total de la máquina se determina con el ensamblaje de piezas y accesorios quedando estas en 518.95 mm x 614 mm x 578.1 mm.

De la selección de componentes de la impresora se concluye que son los adecuados por ser compatibles entre sí y de fácil ensamblaje como son: la fuente principal de alimentación 360 W, motores paso a paso Nema 17, cama caliente MK3, extrusor Hotend E3DV6, y demás accesorios (rodamientos, fajas dentadas, tornillería, etc.) todos ellos garantizan el adecuado funcionamiento y prestaciones de la impresora.

El control de la máquina se basa en dos tarjetas principales, el Arduino Mega 2560 como tarjeta de control y la Shield Ramps 1.4, debido a su bajo costo, uso libre y prestaciones para satisfacer las necesidades del diseño de la impresora 3D.

El presupuesto realizado para la impresora tanto en materiales de fabricación, y mano de obra es beneficioso porque representa grandes ahorros hasta de un 75 % comparado con el precio del mercado para equipos de similares características.

Capítulo VI:
RECOMENDACIONES

6. RECOMENDACIONES.

Para el diseño de impresora 3D es recomendable identificar y reconocer los usos, condiciones de trabajo para la cual se va a destinar con el fin de definir la característica general de diseño.

Para la construcción de la impresora se recomienda utilizar las piezas de uniones y soportes auto replicables impresas en plástico (PLA, ABS) para minimizar el peso y los esfuerzos a los que serán sometido los ejes.

De las dimensiones para los ejes obtenidos por los cálculos es aconsejable utilizar el diámetro inmediato superior verificando que sea comercial y económicamente asequible en el mercado para evitar complicaciones.

Para el desplazamiento del eje Z es recomendable utilizar tornillo de potencia (tornillo de bolas) con el cual se obtiene mayor precisión y resolución de impresión porque elimina el pequeño juego entre la tuerca y el eje roscado que tiene el eje común.

Para la selección de componentes de los sub sistemas es recomendable tener en cuenta la compatibilidad de los mismos en voltaje, conectividad, de trabajo, etc y evitar complicaciones al momento de ensamblar y realizar las pruebas correspondientes.

Capítulo VII:
REFERENCIAS

7. REFERENCIAS

- Malaeb, Z., Hachem, H., Tourbah, A., Maalouf, T., El Zarwi, N., & Hamzeh, F. (2015). 3D Concrete Printing: Machine and Mix Design. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 6(April), 14-22. Recuperado a partir de http://www.researchgate.net/profile/Farook_Hamzeh/publication/280488795_3D_Concrete_Printing_Machine_and_Mix_Design/links/55b608c308aec0e5f436d4a1.pdf
- Romero Sánchez, M. (2014). *Diseño y construcción de una Impresora 3D FDM*. UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS DE MADRID.
- Diego, I. N. G., & Zamora, A. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BIO IMPRESORA 3D*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.
- Ministerio de ciencia, tecnología e innovación productiva A. (2015). *IMPRESION 3D EN ARGENTINA*. Argentina.
- Ballena, A. T. (2016). PUCP: «Impresión 3D es una alternativa para los emprendedores». Recuperado a partir de <http://elcomercio.pe/economia/peru/pucp-impresion-3d-alternativa-emprendedores-218671>
- Lipponen, M. (2015). *Designing extrusion die for 3D filament manufacturing*.
- NOGUERA, J. (2014). 3D P RINTERS, 1-28.
- Escorsa, E., & Tecnología, C. E. O. D. I. (2017). *Manufactura aditiva e impresión 3D en 2017 Un vistazo a los desarrollos patentados*.
- CALDERÓN, M. Á. R. (2016). *Diseño y Construcción de una Impresora 3D de Plástico* Miguel Ángel Romero Calderón Miguel Ángel Romero Calderón. UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO.

ALEJANDRO, L. L. J. (2012). *Tesis de maestría en ciencias*. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO.

ALCÁNTARA, C. (2016). Ranking de universidades Perú 2016. Recuperado a partir de <http://rankings.americaeconomia.com/2016/universidades-peru/>

República, L. (2013). LA REPÚBLICA. Recuperado 1 de enero de 2013, a partir de <http://larepublica.pe/28-08-2013/primera-impresora-3d-en-el-peru-es-de-la-u-catolica>

Torres, E. A., León, J., & Torres, E. (2017). Impresora 3D Aplicando La Técnica De Deposición Fundida, (February).

Ponce, R. V. (s. f.). IMPRESORAS 3D: Marco teórico, modelos de desarrollo y campos de aplicación.

Fin/GDT/dmh/AC. (2014). Impresoras 3D impulsan aprendizaje académico - UNIMEDIOS_ Universidad Nacional de Colombia. Recuperado a partir de <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/impresoras-3d-impulsan-aprendizaje-academico.html>

Carina, A., & Arévalo, G. (2008). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA TESIS DE GRADO Previa a la obtención del título de: INGENIERO EN SISTEMAS INFORMÁTICOS Presentado por: Riobamba – Ecuador, 1-247.

Chancusi, T. S., Navarrete, P. P., (2014). Diseño y construcción de una impresora 3d auto-replicable controlada inalámbricamente para el prototipado de piezas plásticas de bajo costo, mediante software libre.

ANEXOS

ANEXO A: FORMATO DE ENTREVISTA APLICADA

ASPECTOS APLICATIVOS DEL PRODUCTO

- 1.- ¿conoce usted la tecnología de impresión 3D?
- 2.- ¿cree usted que sería beneficioso para la escuela contar con un equipo de impresión 3D?
- 3.- ¿Cuál sería la utilidad que se le daría a la impresora 3D dentro de la escuela de ingeniería mecánica eléctrica?
- 4.- ¿Qué ventajas piensa usted tendría el uso de la impresión 3d para la enseñanza en los cursos diseño en la escuela?

ASPECTOS CARACTERISTICOS DEL PRODUCTO

- 1.- ¿Cuáles serían las dimensiones ideales convenientes para los objetos que se desearían imprimir?
- 2.- ¿Tiene usted conocimiento de los tipos de filamentos que actualmente se usan para impresión 3D?
- 3.- ¿Qué le parece usar filamentos no tóxicos y menos contaminantes?
- 4.- ¿Qué características considera importantes, con las que debe contar la impresora?

ASPECTOS ECONOMICOS DEL PRODUCTO

- 1.- ¿sabe usted cuanto es el costo de una impresora 3D actualmente en Perú?
- 2.- ¿Qué precio estaría dispuesto a pagar por una impresora 3d de características apropiadas para la aplicación que se pretende dar?
- 3.- ¿Estaría de acuerdo con comprar una impresora de características similares a la del mercado, pero con un ahorro de hasta un 30%?

ANEXO B: NORMATIVA RELACIONADA A LAS IMPRESORAS 3D



ASTM F42/ISO TC 261 Develops Additive Manufacturing Standards



ANEXO C: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO AISI 304/ FACTORES MARIN

Tabla 24 propiedades mecánicas del acero AISI 304.

Resistencia (a la tensión)								
Número	material	condición	Fluencia Sy MPa (kpsi)	Última Su MPa (Kpsi)	A la fractura σ MPa (Kpsi)	Coeficiente σ MPa (Kpsi)	Resistencia a la deformación exponente m	Resistencia a la fractura ϵf
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1)	620 (90)	0.25	1.05
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130)	992 (144)	0.14	0.49
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106)	758 (110)	0.24	0.85
1045	Acero	T y R 600 °F	1520 (220)	1580 (230)	2380 (345)	1880 (273)	0.041	0.81
4142	Acero	T y R 600 °F	1720 (250)	1930 (210)	2340 (340)	1760 (255)	0.048	0.43
303	Acero inoxidable	recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1520 (221)	1410 (205)	0.51	1.16
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1600 (233)	1270 (185)	0.45	1.67
2011	Aleación aluminio	de T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2)	620 (90)	0.28	0.10
2024	Aleación aluminio	de T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3)	689 (100)	0.15	0.18
7075	Aleación aluminio	de T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102)	882 (128)	0.13	0.18

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley 8° edición

Tabla 25 Parámetros de factor superficial de Marín.

Acabado superficial	Factor (a)		Exponente (b)
	Sut/ kpsi	Sut/ Mpa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.40	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.90	272.0	-0.995

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley 8° edición

ANEXO D: ESPECIFICACIONES TECNICAS MOTOR NEMA 17



Stepper Motor NEMA 17

This document describes mechanical and electrical specifications for PBC Linear stepper motors; including standard, hollow, and extended shaft variations.



Standard shaft motor shown.

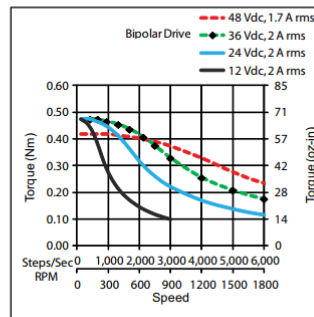
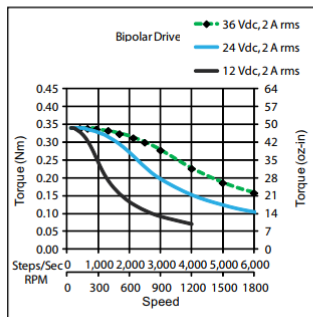
Phases	2
Steps/Revolution	200
Step Accuracy	±5%
Shaft Load	20,000 Hours at 1000 RPM
Axial	25 N (5.6 lbs.) Push 65 N (15 lbs.) Pull
Radial	29 N (6.5 lbs.) At Flat Center
IP Rating	40
Approvals	RoHS
Operating Temp	-20° C to +40° C
Insulation Class	B, 130° C
Insulation Resistance	100 MegOhms

Description	Length	Mounted Rated Current	Mounted Holding Torque		Winding Ohms mH		Detent Torque		Rotor Inertia		Motor Weight	
			Nm Typ.	oz-in Typ.	±10% @ 20°C Typ.	mNm Typ.	mNm oz-in	g cm2 oz-in2	kg	lbs		
(Stack)	*L* Max	Amps										
Single	39.8 mm (1.57 in)	2	0.48	68	1.04	2.2	15	2.1	57	0.31	0.28	0.62
Double	48.3 mm (1.90 in)	2	0.63	89	1.3	2.9	25	3.5	82	0.45	0.36	0.79
Triple	62.8 mm (2.47 in)	2	0.83	120	1.49	3.8	30	4.2	123	0.67	0.6	1.3

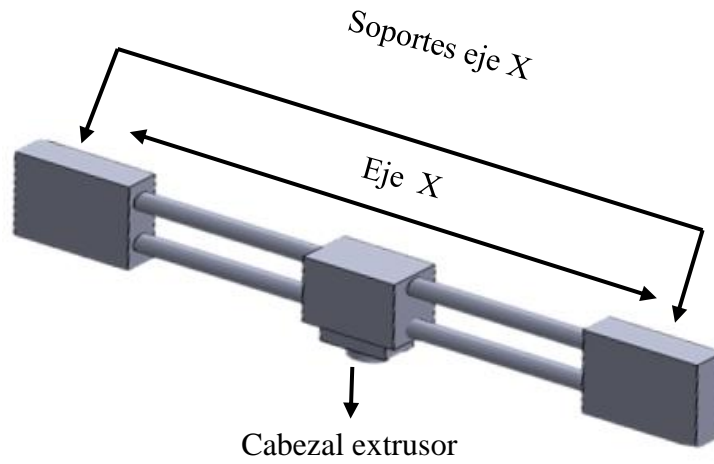
*All standard motors have plug connector. Consult factory for other options.

NEMA 17 Stepper Motor

*Performance curves apply to continuous duty cycles.
Consult factory for intermittent cycles or other voltages.

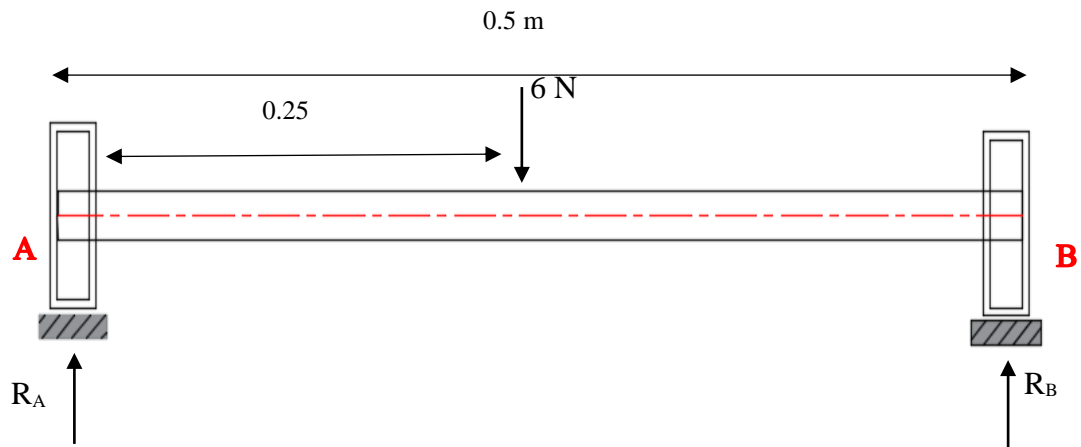


ANEXO E CÁLCULOS DE LOS DIAMETROS PARA EJES X, Y, Z.



Fuente: Elaboración propia

Diagrama de cuerpo libre eje X:



Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de reacciones:

$$\sum F_x = 0$$

$$R_A + R_B = 6N$$

$$\sum M_A = 0$$

$$(-6) * 0.25 + R_B * 0.5 = 0$$

$$R_B = 3 \text{ N}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$(-6) * 0.25 + R_A * 0.5 = 0$$

$$R_A = 3 \text{ N}$$

El momento máximo ocurre en el punto medio de la viga circular AB y viene dado por:

$$M_X = \frac{F_x * L_x}{4}$$

Donde:

M_x : Momento máximo en el eje X

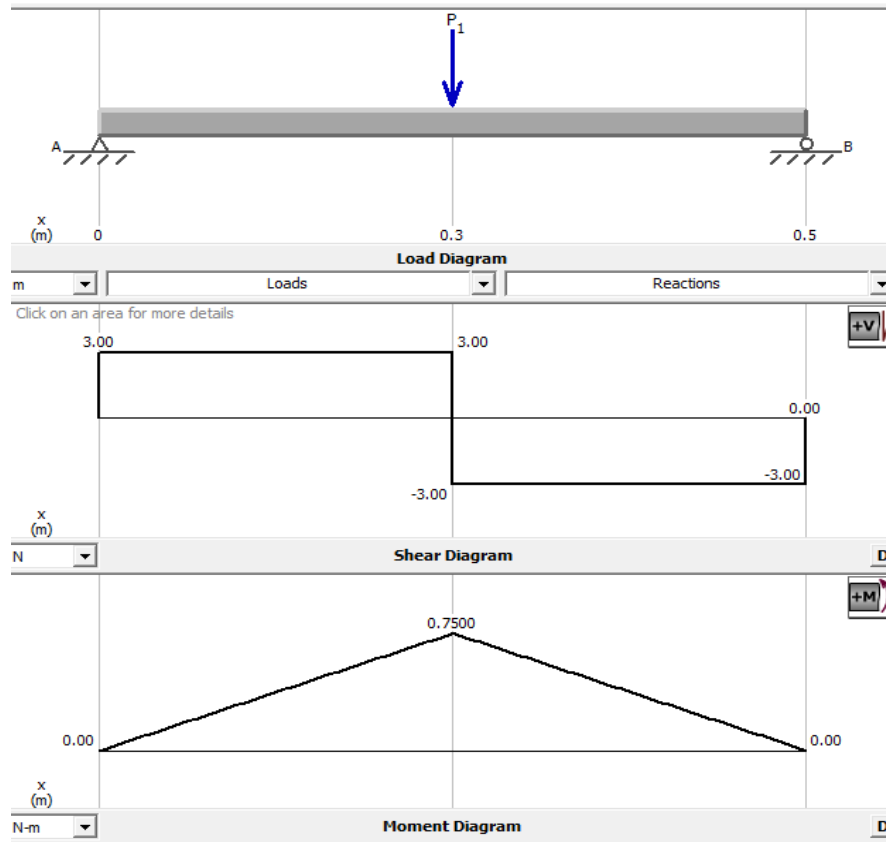
F_x : Fuerza aplicada

L_x : Longitud del eje

$$M_x = \frac{6 * 0.5}{4}$$

$$M_x = 0.75 \text{ N.m}$$

Con la ayuda del software MDSolid se comprueba las fuerzas cortantes y momentos flectores, y se muestra sus respectivas gráficas.



Fuente: Elaboración propia

Conociendo el valor máximo del momento flector en la barra circular analizada, se procede a determinar el diámetro mínimo para el eje, usando la fórmula para diseño de ejes, compatible con la norma ANSI B106.IM-1985 (Mott, 2006).

$$d \geq \left(\frac{32 * n_s * M_x}{\pi * S_y} \right)^{1/3}$$

Asumiendo un factor de seguridad = 2

Donde:

N_s : Factor de seguridad = 2

M_x : 0.75 N.m

S_y : Esfuerzo de fluencia = 276 MPa

d : Diámetro

$$d \geq \left(\frac{32 * 2 * 0.75}{\pi * 276 * 10^6} \right)^{1/3}$$

$$d \geq 3.81 \text{ mm}$$

Calculo de deformación máxima para el eje X para este cálculo consideramos la barra como una viga, con soportes en los extremos, la cual soporta una carga ubicada en el centro, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Y_{max} = - \frac{f_x l_x^3}{192 E I_x}$$

Donde:

y_{max} : Deflexión máxima en el eje

F_x : Fuerza ejercida en el eje X = 6 N

l_x : Longitud del eje X = 0,5 m

E : Módulo de elasticidad del acero AISI 304 = 190 GPa

I_x : Momento de inercia de la sección circular del eje

El momento de inercia se determina por:

$$I_x = \frac{\pi x d^4}{64}$$

$$I_x = \frac{\pi x (0.008 \text{ m})^4}{64} \quad I_x = 2,01 x 10^{-10} m^4$$

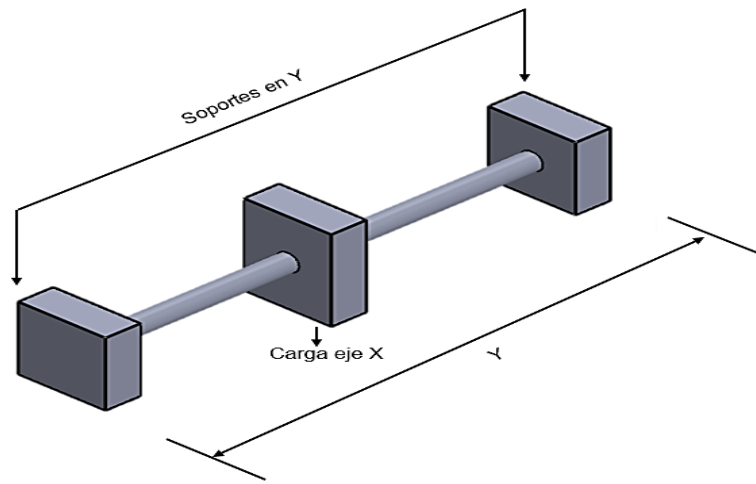
Entonces:

$$Y_{max} = - \frac{(6 \text{ N}) x (0.5 \text{ m})^3}{192 x (190 \text{ GPa}) x (2,01 x 10^{-10} m^4)}$$

$$Y_{max} = 0.102 \text{ mm}$$

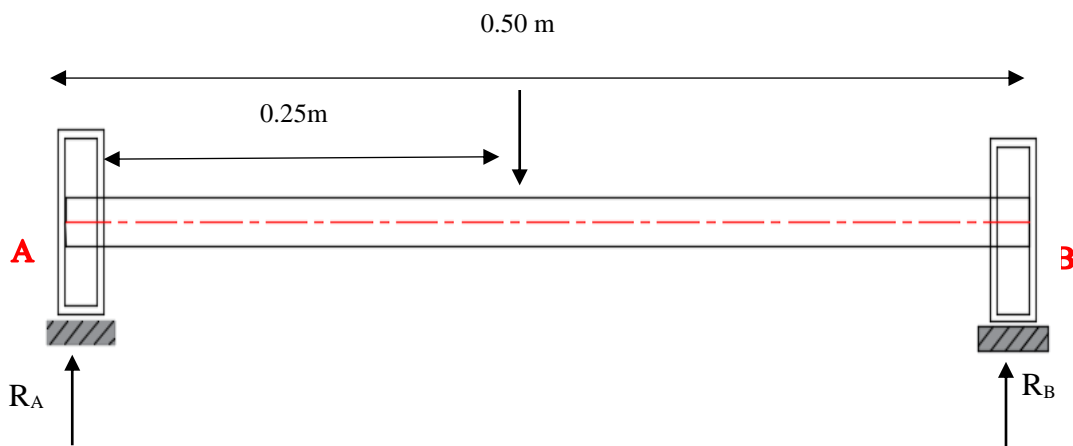
CALCULO DEL DIÁMETRO DEL EJE Y

En el eje Y hay dos ejes lisos uno en cada extremo, los que soportan la barra que lleva el cabezal de extrusión. Y permiten el desplazamiento del mismo. El material utilizado es acero AISI 304.



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de cuerpo libre para eje Y:



Fuente: elaboración propia

Cálculo de reacciones de dan por la formula siguiente: la carga está dividida para dos barras, 8.8 N cada una.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B = 8.8 \text{ N}$$

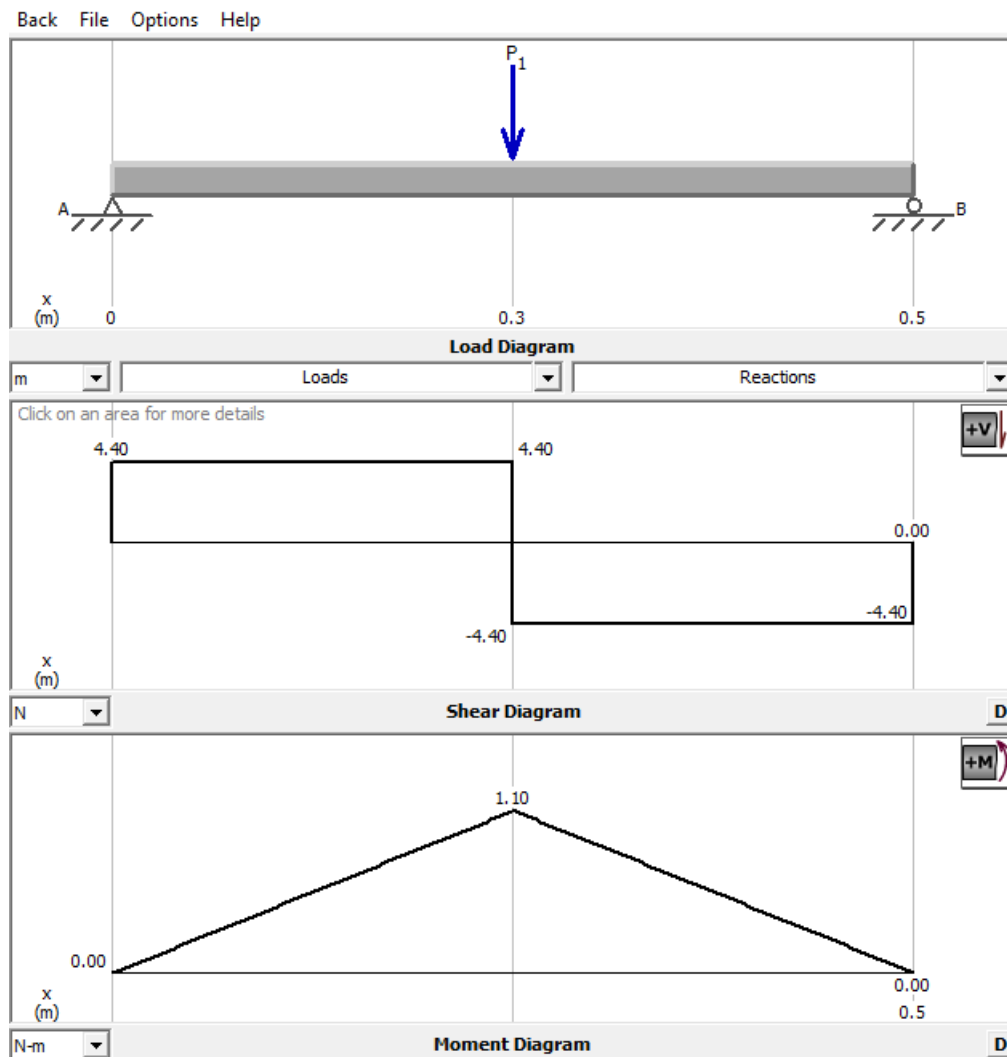
$$\sum M_A = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

$$R_B = 4,4 \text{ N}$$

$$R_A = 4,4 \text{ N}$$

Diagrama de esfuerzos cortantes y momento flector para Y



Fuente elaboración propia

El momento máximo ocurre en el punto medio de la viga circular AB y viene dado por:

$$M_y = \frac{F_y * L_y}{4}$$

$$M_y = 1,1 \text{ Nm}$$

DIÁMETRO DEL EJE Y:

Con el valor máximo del momento flector en la barra circular analizada, se procede a determinar el diámetro mínimo para el eje, usando la fórmula para diseño de ejes, compatible con la norma ANSI B106.IM-1985 (Mott, 2006).

$$d \geq \left(\frac{32 * n_s * M_y}{\pi * S_y} \right)^{1/3}$$

$$d \geq \left(\frac{32 * 2 * 1,1}{\pi * 276 * 10^6} \right)^{1/3}$$

$$d \geq 4,33 \text{ mm}$$

Dado que el valor de diámetro comercial es de 8 mm, le cálculos de deflexión se calculan con este valor.

Calculo de deformación máxima para el eje Y

Para este cálculo consideramos la barra como una viga, con soportes en los extremos, la cual soporta una carga ubicada en el centro, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Y_{max} = - \frac{f_y l_y^3}{192 E I_y}$$

El momento de inercia se determina por:

$$I_y = \frac{\pi * d^4}{64}$$

$$I_y = \frac{\pi \times (0.008 \text{ m})^4}{64} \quad I_y = 2,01 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

Entonces:

$$Y_{max} = - \frac{(8.8 \text{ N}) \times (0.5 \text{ m})^3}{192 \times (190 \text{ GPa}) \times (2,01 \times 10^{-10} \text{ m}^4)}$$

$$Y_{max} = 0.15 \text{ mm}$$

ANÁLISIS DE CARGAS EN EL EJE Z:

En el eje Z se ubican dos barras de acero AISI 304, antes indicado, de 500 mm de longitud. Estas barras son los soportes y guías por donde se desplaza la cama caliente de impresión.

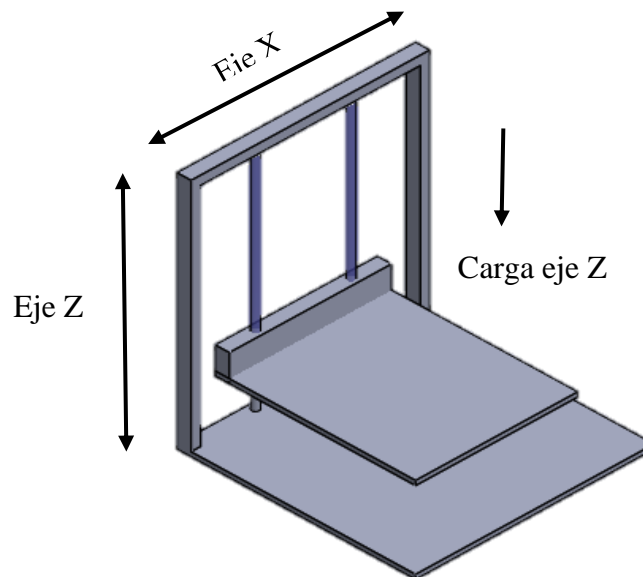


Figura N° 1 Soporte en el eje Z

Fuente: Elaboración propia

Las cargas que soportan en el eje Z están determinadas por los pesos de todos los elementos que están sujetas a estas.

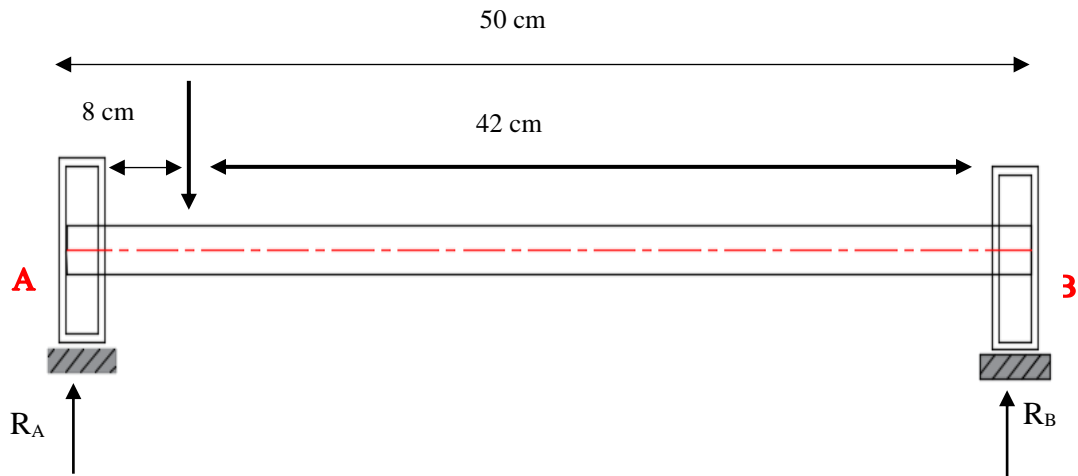
Nota: si se tiene un volumen máximo de impresión entonces la carga que se aplica a los ejes es a 8 cm del punto A.

Esta carga se distribuye para los ejes que lleva:

$$P = \frac{280.51}{2} = 140.26 \text{ N}$$

La carga se consideró ubicarla en el punto más bajo considerando que se encuentra en esta posición la mesa de trabajo debido a la altura de impresión máxima, lo que permite analizar la carga con su volumen máximo de impresión.

Diagrama de cuerpo libre para el eje Z:



Fuente: Elaboración propia

Cálculo de reacciones de dan por la formula siguiente: la carga está dividida para dos barras, que es 140,26 N cada una.

$$\sum F_z = 0$$

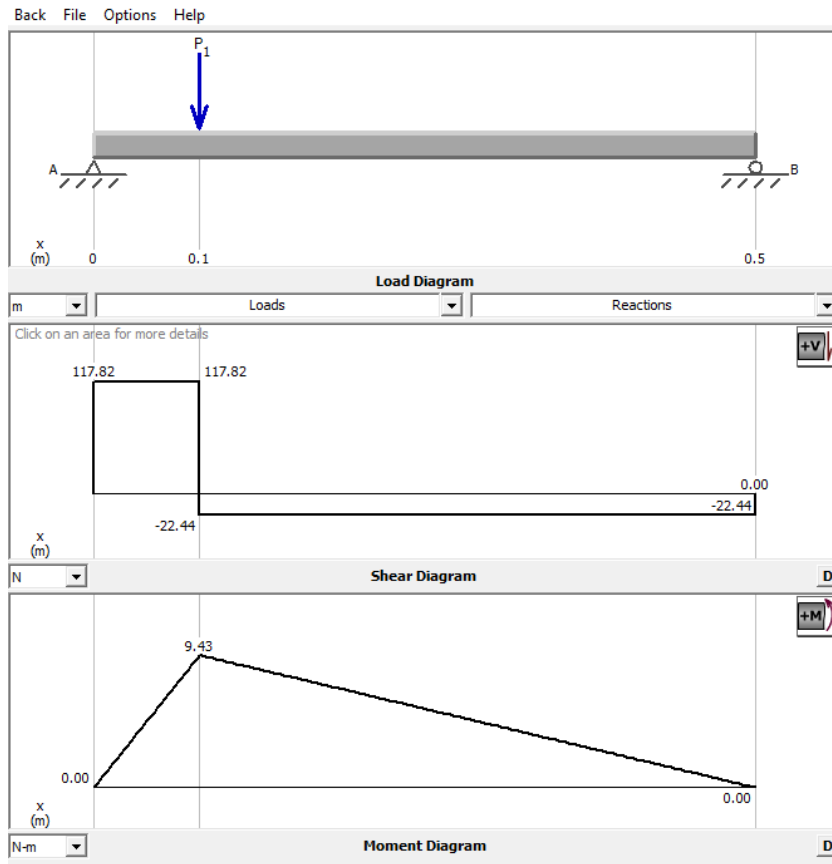
$$R_A + R_B = 140,26 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

$$R_B = 22,44 \text{ N}$$

$$R_A = 117,82 \text{ N}$$



Fuente elaboración propia

El momento máximo ocurre en el a 8 cm del punto A en la viga circular AB y viene dado por:

$$M_z = 9.43 \text{ Nm}$$

Cálculo de diámetro del eje:

Con el valor máximo del momento flector en la barra circular analizada, se procede a determinar el diámetro mínimo para el eje, usando la fórmula para diseño de ejes, compatible con la norma ANSI B106.IM-1985 (Mott, 2006).

$$d \geq \left(\frac{32 \cdot 2 \cdot 9,43}{\pi \cdot 276 \cdot 10^6} \right)^{1/3} \quad d \geq 8.86 \text{ mm}$$

Dado que ese diámetro obtenido no es comercial se opta por elegir un diámetro mayor que será de 10 mm.

Calculo de deformación unitaria:

$$Y_{max} = - \frac{f_z L_z^3}{192 E I_z}$$

Donde:

y_{max} : Deflexión máxima en el eje

F_z : Fuerza ejercida en cada eje = 140,26 N

L_z : Longitud del eje $Z = 0.5 \text{ m}$

E : Módulo de elasticidad del acero AISI 304 = 190 GPa

I_z : Momento de inercia de la sección circular del eje

El momento de inercia se determina por:

$$I_z = \frac{\pi \times d^4}{64}$$

$$I_z = \frac{\pi \times (0.01 \text{ m})^4}{64} \quad I_x = 4,91 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

Entonces:

$$Y_{max} = - \frac{(140,26 \text{ N}) \times (0.5 \text{ m})^3}{192 \times (190 \text{ GPa}) \times (4,91 \times 10^{-10} \text{ m}^4)}$$

$$Y_{max} = 0.98 \text{ mm}$$

ANEXO F: CONFIGURACIÓN DEL FIRMWARE MARLIN

```
#ifndef CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H
#include "boards.h"

// This configuration file contains the basic settings.
// Advanced settings can be found in Configuration_adv.h
// BASIC SETTINGS: select your board type, temperature sensor type, axis scaling, and endstop configuration

//=====
//===== DELTA Printer =====
//=====

// For a Delta printer replace the configuration files with the files in the
// example_configurations/delta directory.
//
//=====
//===== SCARA Printer =====
//=====

// For a Delta printer replace the configuration files with the files in the
// example_configurations/SCARA directory.
//
// User-specified version info of this build to display in [Pronterface, etc] terminal window during
// startup. Implementation of an idea by Prof Braino to inform user that any changes made to this
// build by the user have been successfully uploaded into firmware.
#define STRING_VERSION "1.0.2"
#define STRING_VERSION_CONFIG_H __DATE__ " " __TIME__ // build date and time
#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(none, default config)" // Who made the changes.
// SERIAL_PORT selects which serial port should be used for communication with the host.
// This allows the connection of wireless adapters (for instance) to non-default port pins.
// Serial port 0 is still used by the Arduino bootloader regardless of this setting.
#define SERIAL_PORT 0

// This determines the communication speed of the printer
#define BAUDRATE 115200

// This enables the serial port associated to the Bluetooth interface
```

```

//define BTENABLED          // Enable BT interface on AT90USB devices

// The following define selects which electronics board you have.
// Please choose the name from boards.h that matches your setup
#ifndef MOTHERBOARD
  #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_13_EFB
#endif

// Define this to set a custom name for your generic Mendel,
// #define CUSTOM_MENDEL_NAME "This Mendel"

// Define this to set a unique identifier for this printer, (Used by some programs to differentiate between machines)
// You can use an online service to generate a random UUID. (eg http://www.uuidgenerator.net/version4)
// #define MACHINE_UUID "00000000-0000-0000-0000-000000000000"

// This defines the number of extruders
#define EXTRUDERS 1

//// The following define selects which power supply you have. Please choose the one that matches your setup
// 1 = ATX
// 2 = X-Box 360 203Watts (the blue wire connected to PS_ON and the red wire to VCC)
#define POWER_SUPPLY 1

// Define this to have the electronics keep the power supply off on startup. If you don't know what this is leave it.
// #define PS_DEFAULT_OFF

//=====
//=====--Thermal Settings --=====
//=====

////--NORMAL IS 4.7kohm PULLUP!-- 1kohm pullup can be used on hotend sensor, using correct resistor and table
////// Temperature sensor settings:
// -2 is thermocouple with MAX6675 (only for sensor 0)
// -1 is thermocouple with AD595
// 0 is not used
// 1 is 100k thermistor - best choice for EPCOS 100k (4.7k pullup)
// 2 is 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (4.7k pullup)
// 3 is Mendel-parts thermistor (4.7k pullup)
// 4 is 10k thermistor !! do not use it for a hotend. It gives bad resolution at high temp. !!
// 5 is 100K thermistor - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan & J-Head) (4.7k pullup)
// 6 is 100k EPCOS - Not as accurate as table 1 (created using a fluke thermocouple) (4.7k pullup)
// 7 is 100k Honeywell thermistor 135-104LAG-J01 (4.7k pullup)
// 71 is 100k Honeywell thermistor 135-104LAF-J01 (4.7k pullup)

```

```

// 8 is 100k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT (4.7k pullup)
// 9 is 100k GE Sensing AL03006-58.2K-97-G1 (4.7k pullup)
// 10 is 100k RS thermistor 198-961 (4.7k pullup)
// 11 is 100k beta 3950 1% thermistor (4.7k pullup)
// 12 is 100k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT (4.7k pullup) (calibrated for Makibox hot bed)
// 13 is 100k Hisens 3950 1% up to 300°C for hotend "Simple ONE " & "Hotend "All In ONE"
// 20 is the PT100 circuit found in the Ultimainboard V2.x
// 60 is 100k Maker's Tool Works Kapton Bed Thermistor beta=3950
//// 1k ohm pullup tables - This is not normal, you would have to have changed out your 4.7k for 1k
//          (but gives greater accuracy and more stable PID)
// 51 is 100k thermistor - EPCOS (1k pullup)
// 52 is 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (1k pullup)
// 55 is 100k thermistor - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan & J-Head) (1k pullup)
//// 1047 is Pt1000 with 4k7 pullup
// 1010 is Pt1000 with 1k pullup (non standard)
// 147 is Pt100 with 4k7 pullup
// 110 is Pt100 with 1k pullup (non standard)
#define TEMP_SENSOR_0 1
#define TEMP_SENSOR_1 1
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_BED 1

// This makes temp sensor 1 a redundant sensor for sensor 0. If the temperatures difference between these sensors is to high the
print will be aborted.

//#define TEMP_SENSOR_1_AS_REDUNDANT
#define MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF 10

// Actual temperature must be close to target for this long before M109 returns success
#define TEMP_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds)
#define TEMP_HYSTERESIS 3 // (degC) range of +/- temperatures considered "close" to the target one
#define TEMP_WINDOW 1 // (degC) Window around target to start the residency timer x degC early.

// The minimal temperature defines the temperature below which the heater will not be enabled It is used
// to check that the wiring to the thermistor is not broken.
// Otherwise this would lead to the heater being powered on all the time.
#define HEATER_0_MINTEMP 5
#define HEATER_1_MINTEMP 5
#define HEATER_2_MINTEMP 5

```



```

#define BED_MINTEMP 5

// When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.

// This feature exists to protect your hotend from overheating accidentally, but *NOT* from thermistor short/failure!

// You should use MINTEMP for thermistor short/failure protection.

#define HEATER_0_MAXTEMP 275

#define HEATER_1_MAXTEMP 275

#define HEATER_2_MAXTEMP 275

#define BED_MAXTEMP 150

// If your bed has low resistance e.g. .6 ohm and throws the fuse you can duty cycle it to reduce the
// average current. The value should be an integer and the heat bed will be turned on for 1 interval of
// HEATER_BED_DUTY_CYCLE_DIVIDER intervals.

//#define HEATER_BED_DUTY_CYCLE_DIVIDER 4

// If you want the M105 heater power reported in watts, define the BED_WATTS, and (shared for all extruders)
EXTRUDER_WATTS

//#define EXTRUDER_WATTS (12.0*12.0/6.7) // P=I^2/R

//#define BED_WATTS (12.0*12.0/1.1) // P=I^2/R

// PID settings:

// Comment the following line to disable PID and enable bang-bang.

#define PIDTEMP

#define BANG_MAX 255 // limits current to nozzle while in bang-bang mode; 255=full current

#define PID_MAX BANG_MAX // limits current to nozzle while PID is active (see PID_FUNCTIONAL_RANGE below);
255=full current

#ifndef PIDTEMP

  //#define PID_DEBUG // Sends debug data to the serial port.

  //#define PID_OPENLOOP 1 // Puts PID in open loop. M104/M140 sets the output power from 0 to PID_MAX

  //#define SLOW_PWM_HEATERS // PWM with very low frequency (roughly 0.125Hz=8s) and minimum state time of
  approximately 1s useful for heaters driven by a relay

  #define PID_FUNCTIONAL_RANGE 10 // If the temperature difference between the target temperature and the actual
  temperature

  // is more then PID_FUNCTIONAL_RANGE then the PID will be shut off and the heater will be set to
  min/max.

  #define PID_INTEGRAL_DRIVE_MAX PID_MAX //limit for the integral term

  #define K1 0.95 //smoothing factor within the PID

  #define PID_dT ((OVERSAMPLER * 10.0)/(F_CPU / 64.0 / 256.0)) //sampling period of the temperature routine

// If you are using a pre-configured hotend then you can use one of the value sets by uncommenting it

// Ultimaker

#define DEFAULT_Kp 22.2

```

```

#define DEFAULT_Ki 1.08
#define DEFAULT_Kd 114
// MakerGear
// #define DEFAULT_Kp 7.0
// #define DEFAULT_Ki 0.1
// #define DEFAULT_Kd 12
// Mendel Parts V9 on 12V
// #define DEFAULT_Kp 63.0
// #define DEFAULT_Ki 2.25
// #define DEFAULT_Kd 440
#endif // PIDTEMP

// Bed Temperature Control

// Select PID or bang-bang with PIDTEMPBED. If bang-bang, BED_LIMIT_SWITCHING will enable hysteresis
//// Uncomment this to enable PID on the bed. It uses the same frequency PWM as the extruder.
// If your PID_dT above is the default, and correct for your hardware/configuration, that means 7.689Hz,
// which is fine for driving a square wave into a resistive load and does not significantly impact you FET heating.
// This also works fine on a Fotek SSR-10DA Solid State Relay into a 250W heater.
// If your configuration is significantly different than this and you don't understand the issues involved, you probably
// shouldn't use bed PID until someone else verifies your hardware works.
// If this is enabled, find your own PID constants below.

//#define PIDTEMPBED

////#define BED_LIMIT_SWITCHING

// This sets the max power delivered to the bed, and replaces the HEATER_BED_DUTY_CYCLE_DIVIDER option.
// all forms of bed control obey this (PID, bang-bang, bang-bang with hysteresis)
// setting this to anything other than 255 enables a form of PWM to the bed just like
HEATER_BED_DUTY_CYCLE_DIVIDER did,
// so you shouldn't use it unless you are OK with PWM on your bed. (see the comment on enabling PIDTEMPBED)
#define MAX_BED_POWER 255 // limits duty cycle to bed; 255=full current

#ifdef PIDTEMPBED

//120v 250W silicone heater into 4mm borosilicate (MendelMax 1.5+)
//from FOPDT model - kp=.39 Tp=405 Tdead=66, Tc set to 79.2, aggressive factor of .15 (vs .1, 1, 10)
#define DEFAULT_bedKp 10.00
#define DEFAULT_bedKi .023
#define DEFAULT_bedKd 305.4

//120v 250W silicone heater into 4mm borosilicate (MendelMax 1.5+)

```

```

//from pidautotune
// #define DEFAULT_bedKp 97.1
// #define DEFAULT_bedKi 1.41
// #define DEFAULT_bedKd 1675.16
// FIND YOUR OWN: "M303 E-1 C8 S90" to run autotune on the bed at 90 degreesC for 8 cycles.
#endif // PIDTEMPBED

//this prevents dangerous Extruder moves, i.e. if the temperature is under the limit
//can be software-disabled for whatever purposes by
#define PREVENT_DANGEROUS_EXTRUDE
//if PREVENT_DANGEROUS_EXTRUDE is on, you can still disable (uncomment) very long bits of extrusion separately.
#define PREVENT_LENGTHY_EXTRUDE
#define EXTRUDE_MINTEMP 170
#define EXTRUDE_MAXLENGTH (X_MAX_LENGTH+Y_MAX_LENGTH) //prevent extrusion of very large distances.

/*===== Thermal Runaway Protection =====
This is a feature to protect your printer from burn up in flames if it has
a thermistor coming off place (this happened to a friend of mine recently and
motivated me writing this feature).

The issue: If a thermistor come off, it will read a lower temperature than actual.
The system will turn the heater on forever, burning up the filament and anything
else around.

After the temperature reaches the target for the first time, this feature will
start measuring for how long the current temperature stays below the target
minus _HYSTERESIS (set_temperature - THERMAL_RUNAWAY_PROTECTION_HYSTERESIS).
If it stays longer than _PERIOD, it means the thermistor temperature
cannot catch up with the target, so something *may be* wrong. Then, to be on the
safe side, the system will he halt.

Bear in mind the count down will just start AFTER the first time the
thermistor temperature is over the target, so you will have no problem if
your extruder heater takes 2 minutes to hit the target on heating.
*/
// If you want to enable this feature for all your extruder heaters,
// uncomment the 2 defines below:
// Parameters for all extruder heaters

```

```

//define THERMAL_RUNAWAY_PROTECTION_PERIOD 40 //in seconds
//define THERMAL_RUNAWAY_PROTECTION_HYSTERESIS 4 // in degree Celsius
// If you want to enable this feature for your bed heater,
// uncomment the 2 defines below:
// Parameters for the bed heater
//define THERMAL_RUNAWAY_PROTECTION_BED_PERIOD 20 //in seconds
//define THERMAL_RUNAWAY_PROTECTION_BED_HYSTERESIS 2 // in degree Celsius
//=====
//=====
//=====Mechanical Settings=====
//=====

// Uncomment the following line to enable CoreXY kinematics
#define COREXY
// coarse Endstop Settings
#define ENDSTOPPULLUPS // Comment this out (using // at the start of the line) to disable the endstop pullup resistors
#ifndef ENDSTOPPULLUPS
// fine endstop settings: Individual pullups. will be ignored if ENDSTOPPULLUPS is defined
// #define ENDSTOPPULLUP_XMAX
// #define ENDSTOPPULLUP_YMAX
// #define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
// #define ENDSTOPPULLUP_XMIN
// #define ENDSTOPPULLUP_YMIN
// #define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
#endif
#ifndef ENDSTOPPULLUPS
#define ENDSTOPPULLUP_XMAX
#define ENDSTOPPULLUP_YMAX
#define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
#define ENDSTOPPULLUP_XMIN
#define ENDSTOPPULLUP_YMIN
#define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
#endif
// The pullups are needed if you directly connect a mechanical endswitch between the signal and ground pins.
const bool X_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.

```

```

const bool Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool X_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.

#define DISABLE_MAX_ENDSTOPS
#define DISABLE_MIN_ENDSTOPS

// Disable max endstops for compatibility with endstop checking routine
#if defined(COREXY) && !defined(DISABLE_MAX_ENDSTOPS)
  #define DISABLE_MAX_ENDSTOPS
#endif

// For Inverting Stepper Enable Pins (Active Low) use 0, Non Inverting (Active High) use 1
#define X_ENABLE_ON 0
#define Y_ENABLE_ON 0
#define Z_ENABLE_ON 0
#define E_ENABLE_ON 0 // For all extruders

// Disables axis when it's not being used.
#define DISABLE_X false
#define DISABLE_Y false
#define DISABLE_Z false

#define DISABLE_E false // For all extruders

#define DISABLE_INACTIVE_EXTRUDER true //disable only inactive extruders and keep active extruder enabled

#define INVERT_X_DIR true // for Mendel set to false, for Orca set to true
#define INVERT_Y_DIR false // for Mendel set to true, for Orca set to false
#define INVERT_Z_DIR true // for Mendel set to false, for Orca set to true
#define INVERT_E0_DIR false // for direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false
#define INVERT_E1_DIR false // for direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false
#define INVERT_E2_DIR false // for direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false

// ENDSTOP SETTINGS:

// Sets direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN
#define X_HOME_DIR -1
#define Y_HOME_DIR -1
#define Z_HOME_DIR -1

#define min_software_endstops true // If true, axis won't move to coordinates less than HOME_POS.
#define max_software_endstops true // If true, axis won't move to coordinates greater than the defined lengths below.

```

```

// Travel limits after homing
#define X_MAX_POS 300

#define X_MIN_POS 0

#define Y_MAX_POS 300

#define Y_MIN_POS 0

#define Z_MAX_POS 300

#define Z_MIN_POS 0

#define X_MAX_LENGTH (X_MAX_POS - X_MIN_POS)
#define Y_MAX_LENGTH (Y_MAX_POS - Y_MIN_POS)
#define Z_MAX_LENGTH (Z_MAX_POS - Z_MIN_POS)

//===== Bed Auto Leveling =====

//#define ENABLE_AUTO_BED_LEVELING // Delete the comment to enable (remove // at the start of the line)

#define Z_PROBE_REPEATABILITY_TEST // If not commented out, Z-Probe Repeatability test will be included if Auto
Bed Leveling is Enabled.

#ifndef ENABLE_AUTO_BED_LEVELING

// There are 2 different ways to pick the X and Y locations to probe:
// - "grid" mode
//   Probe every point in a rectangular grid
//   You must specify the rectangle, and the density of sample points
//   This mode is preferred because there are more measurements.
//   It used to be called ACCURATE_BED_LEVELING but "grid" is more descriptive
// - "3-point" mode
//   Probe 3 arbitrary points on the bed (that aren't colinear)
//   You must specify the X & Y coordinates of all 3 points
#define AUTO_BED_LEVELING_GRID
// with AUTO_BED_LEVELING_GRID, the bed is sampled in a
// AUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTSxAUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTS grid
// and least squares solution is calculated
// Note: this feature occupies 10'206 byte
#endif
#define AUTO_BED_LEVELING_GRID

// set the rectangle in which to probe

#define LEFT_PROBE_BED_POSITION 15

#define RIGHT_PROBE_BED_POSITION 170

#define BACK_PROBE_BED_POSITION 180

```

```

#define FRONT_PROBE_BED_POSITION 20

// set the number of grid points per dimension
// I wouldn't see a reason to go above 3 (=9 probing points on the bed)
#define AUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTS 2
#else // not AUTO_BED_LEVELING_GRID
// with no grid, just probe 3 arbitrary points. A simple cross-product
// is used to estimate the plane of the print bed
#define ABL_PROBE_PT_1_X 15
#define ABL_PROBE_PT_1_Y 180
#define ABL_PROBE_PT_2_X 15
#define ABL_PROBE_PT_2_Y 20
#define ABL_PROBE_PT_3_X 170
#define ABL_PROBE_PT_3_Y 20
#endif // AUTO_BED_LEVELING_GRID

// these are the offsets to the probe relative to the extruder tip (Hotend - Probe)
// X and Y offsets must be integers
#define X_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER -25
#define Y_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER -29
#define Z_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER -12.35
#define Z_RAISE_BEFORE_HOMING 4 // (in mm) Raise Z before homing (G28) for Probe Clearance.
// Be sure you have this distance over your Z_MAX_POS in case
#define XY_TRAVEL_SPEED 8000 // X and Y axis travel speed between probes, in mm/min
#define Z_RAISE_BEFORE_PROBING 15 //How much the extruder will be raised before traveling to the first probing
point.
#define Z_RAISE_BETWEEN_PROBINGS 5 //How much the extruder will be raised when traveling from between next
probing points
//#define Z_PROBE_SLED // turn on if you have a z-probe mounted on a sled like those designed by Charles Bell
//#define SLED_DOCKING_OFFSET 5 // the extra distance the X axis must travel to pickup the sled. 0 should be fine but
you can push it further if you'd like.
//If defined, the Probe servo will be turned on only during movement and then turned off to avoid jerk
//The value is the delay to turn the servo off after powered on - depends on the servo speed; 300ms is good value, but you can
try lower it.
// You MUST HAVE the SERVO_ENDSTOPS defined to use here a value higher than zero otherwise your code will not
compile.
// #define PROBE_SERVO_DEACTIVATION_DELAY 300

```

```

//If you have enabled the Bed Auto Leveling and are using the same Z Probe for Z Homing,
//it is highly recommended you let this Z_SAFE_HOMING enabled!!!

#define Z_SAFE_HOMING // This feature is meant to avoid Z homing with probe outside the bed area.
    // When defined, it will:
    // - Allow Z homing only after X and Y homing AND stepper drivers still enabled
    // - If stepper drivers timeout, it will need X and Y homing again before Z homing
    // - Position the probe in a defined XY point before Z Homing when homing all axis (G28)
    // - Block Z homing only when the probe is outside bed area.

#ifndef Z_SAFE_HOMING
    #define Z_SAFE_HOMING_X_POINT (X_MAX_LENGTH/2) // X point for Z homing when homing all axis (G28)
    #define Z_SAFE_HOMING_Y_POINT (Y_MAX_LENGTH/2) // Y point for Z homing when homing all axis (G28)
#endif

#ifndef AUTO_BED_LEVELING_GRID // Check if Probe_Offset * Grid Points is greater than Probing Range
    #if X_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER < 0
        #if (-(X_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER * AUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTS) >=
(RIGHT_PROBE_BED_POSITION - LEFT_PROBE_BED_POSITION))

            #error "The X axis probing range is not enough to fit all the points defined in
AUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTS"

        #endif
    #else
        #if ((X_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER * AUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTS) >=
(RIGHT_PROBE_BED_POSITION - LEFT_PROBE_BED_POSITION))

            #error "The X axis probing range is not enough to fit all the points defined in
AUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTS"

        #endif
    #endif

    #if Y_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER < 0
        #if (-(Y_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER * AUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTS) >=
(BACK_PROBE_BED_POSITION - FRONT_PROBE_BED_POSITION))

            #error "The Y axis probing range is not enough to fit all the points defined in
AUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTS"

        #endif
    #else
        #if ((Y_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER * AUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTS) >=
(BACK_PROBE_BED_POSITION - FRONT_PROBE_BED_POSITION))

            #error "The Y axis probing range is not enough to fit all the points defined in
AUTO_BED_LEVELING_GRID_POINTS"

```



```

        #endif
    #endif

#endif

#endif // ENABLE_AUTO_BED_LEVELING

// The position of the homing switches

##define MANUAL_HOME_POSITIONS // If defined, MANUAL_*_HOME_POS below will be used

##define BED_CENTER_AT_0_0 // If defined, the center of the bed is at (X=0, Y=0)

//Manual homing switch locations:

// For deltabots this means top and center of the Cartesian print volume.

#define MANUAL_X_HOME_POS 0

#define MANUAL_Y_HOME_POS 0

#define MANUAL_Z_HOME_POS 0

##define MANUAL_Z_HOME_POS 402 // For delta: Distance between nozzle and print surface after homing.

//// MOVEMENT SETTINGS

#define NUM_AXIS 4 // The axis order in all axis related arrays is X, Y, Z, E

#define HOMING_FEEDRATE {50*60, 50*60, 4*60, 0} // set the homing speeds (mm/min)

// default settings

#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {78.7402,78.7402,200.0*8/3,760*1.1} // default steps per unit for Ultimaker

#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {500, 500, 5, 25} // (mm/sec)

#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION {9000,9000,100,10000} // X, Y, Z, E maximum start speed for accelerated
moves. E default values are good for Skeinforge 40+, for older versions raise them a lot.

#define DEFAULT_ACCELERATION 3000 // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for printing moves

#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 3000 // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for retracts

// Offset of the extruders (uncomment if using more than one and relying on firmware to position when changing).
// The offset has to be X=0, Y=0 for the extruder 0 hotend (default extruder).
// For the other hotends it is their distance from the extruder 0 hotend.

// #define EXTRUDER_OFFSET_X {0.0, 20.00} // (in mm) for each extruder, offset of the hotend on the X axis
// #define EXTRUDER_OFFSET_Y {0.0, 5.00} // (in mm) for each extruder, offset of the hotend on the Y axis

// The speed change that does not require acceleration (i.e. the software might assume it can be done instantaneously)

#define DEFAULT_XYJERK 20.0 // (mm/sec)

#define DEFAULT_ZJERK 0.4 // (mm/sec)

#define DEFAULT_EJERK 5.0 // (mm/sec)

//=====
//=====Additional Features=====

```

```

//=====
// Custom M code points
#define CUSTOM_M_CODES
#ifndef CUSTOM_M_CODES
  #define CUSTOM_M_CODE_SET_Z_PROBE_OFFSET 851
  #define Z_PROBE_OFFSET_RANGE_MIN -15
  #define Z_PROBE_OFFSET_RANGE_MAX -5
#endif
// EEPROM
// The microcontroller can store settings in the EEPROM, e.g. max velocity...
// M500 - stores parameters in EEPROM
// M501 - reads parameters from EEPROM (if you need reset them after you changed them temporarily).
// M502 - reverts to the default "factory settings". You still need to store them in EEPROM afterwards if you want to.
//define this to enable EEPROM support
//define EEPROM_SETTINGS
//to disable EEPROM Serial responses and decrease program space by ~1700 byte: comment this out:
// please keep turned on if you can.
//define EEPROM_CHITCHAT

// Preheat Constants
#define PLA_PREHEAT_HOTEND_TEMP 180
#define PLA_PREHEAT_HPB_TEMP 70
#define PLA_PREHEAT_FAN_SPEED 255 // Insert Value between 0 and 255

#define ABS_PREHEAT_HOTEND_TEMP 240
#define ABS_PREHEAT_HPB_TEMP 100
#define ABS_PREHEAT_FAN_SPEED 255 // Insert Value between 0 and 255

//LCD and SD support
//define ULTRA_LCD //general LCD support, also 16x2
//define DOGLCD // Support for SPI LCD 128x64 (Controller ST7565R graphic Display Family)
#define SDSUPPORT // Enable SD Card Support in Hardware Console
//define SDSLOW // Use slower SD transfer mode (not normally needed - uncomment if you're getting volume init error)
//define SD_CHECK_AND_RETRY // Use CRC checks and retries on the SD communication
//define ENCODER_PULSES_PER_STEP 1 // Increase if you have a high resolution encoder

```

```

//define ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM 5 // Set according to ENCODER_PULSES_PER_STEP or your liking

//define ULTIMAKERCONTROLLER //as available from the Ultimaker online store.

//define ULTIPANEL //the UltiPanel as on Thingiverse

//define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_HZ 1000 // this is the tone frequency the buzzer plays when on UI feedback.
ie Screen Click

//define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_DURATION_MS 100 // the duration the buzzer plays the UI feedback sound. ie
Screen Click

// The MaKr3d Makr-Panel with graphic controller and SD support
// http://reprap.org/wiki/MaKr3d_MaKrPanel
//define MAKRPANEL

// The RepRapDiscount Smart Controller (white PCB)
// http://reprap.org/wiki/RepRapDiscount_Smart_Controller
#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER

// The GADGETS3D G3D LCD/SD Controller (blue PCB)
// http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.3/1.4_GADGETS3D_Shield_with_Panel
//define G3D_PANEL

// The RepRapDiscount FULL GRAPHIC Smart Controller (quadratic white PCB)
// http://reprap.org/wiki/RepRapDiscount_Full_Graphic_Smart_Controller
//
// ==> REMEMBER TO INSTALL U8glib to your ARDUINO library folder: http://code.google.com/p/u8glib/wiki/u8glib
//define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER

// The RepRapWorld REPRAPWORLD_KEYPAD v1.1
// http://reprapworld.com/?products_details&products_id=202&cPath=1591_1626
//define REPRAPWORLD_KEYPAD

//define REPRAPWORLD_KEYPAD_MOVE_STEP 10.0 // how much should be moved when a key is pressed, eg 10.0 means
10mm per click

// The Elefu RA Board Control Panel
// http://www.elefu.com/index.php?route=product/product&product_id=53
// REMEMBER TO INSTALL LiquidCrystal_I2C.h in your ARDUINO library folder:
https://github.com/kiyoshigawa/LiquidCrystal_I2C

```

```

//#define RA_CONTROL_PANEL

//automatic expansion
#if defined(MAKRPANEL)
#define DOGLCD
#define SDSUPPORT
#define ULTIPANEL
#define NEWPANEL
#define DEFAULT_LCD_CONTRAST 17
#endif

#if defined(REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER)
#define DOGLCD
#define U8GLIB_ST7920
#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER
#endif

#if defined(ULTIMAKERCONTROLLER) || defined(REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER) ||
defined(G3D_PANEL)
#define ULTIPANEL
#define NEWPANEL
#endif

#if defined(REPRAPWORLD_KEYPAD)
#define NEWPANEL
#define ULTIPANEL
#endif

#if defined(RA_CONTROL_PANEL)
#define ULTIPANEL
#define NEWPANEL
#define LCD_I2C_TYPE_PCA8574
#define LCD_I2C_ADDRESS 0x27 // I2C Address of the port expander
#endif

//I2C PANELS

```

```

//#define LCD_I2C_SAINSMART_YWROBOT
#ifdef LCD_I2C_SAINSMART_YWROBOT
    // This uses the LiquidCrystal_I2C library ( https://bitbucket.org/fmalpartida/new-liquidcrystal/wiki/Home )
    // Make sure it is placed in the Arduino libraries directory.
    #define LCD_I2C_TYPE_PCF8575
    #define LCD_I2C_ADDRESS 0x27 // I2C Address of the port expander
    #define NEWPANEL
    #define ULTIPANEL
#endif

// PANELOLU2 LCD with status LEDs, separate encoder and click inputs
#ifdef LCD_I2C_PANELOLU2
#ifdef LCD_I2C_PANELOLU2
    // This uses the LiquidTWI2 library v1.2.3 or later ( https://github.com/lincomatic/LiquidTWI2 )
    // Make sure the LiquidTWI2 directory is placed in the Arduino or Sketchbook libraries subdirectory.
    // (v1.2.3 no longer requires you to define PANELOLU in the LiquidTWI2.h library header file)
    // Note: The PANELOLU2 encoder click input can either be directly connected to a pin
    // (if BTN_ENC defined to != -1) or read through I2C (when BTN_ENC == -1).
    #define LCD_I2C_TYPE_MCP23017
    #define LCD_I2C_ADDRESS 0x20 // I2C Address of the port expander
    #define LCD_USE_I2C_BUZZER //comment out to disable buzzer on LCD
    #define NEWPANEL
    #define ULTIPANEL

#ifdef ENCODER_PULSES_PER_STEP
    #define ENCODER_PULSES_PER_STEP 4
#endif

#ifdef ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM
    #define ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM 1
#endif

#ifdef LCD_USE_I2C_BUZZER
    #define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_HZ 1000

```

```

        #define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_DURATION_MS 100
    #endif

#endif

// Panucatt VIKI LCD with status LEDs, integrated click & L/R/U/P buttons, separate encoder inputs
##define LCD_I2C_VIKI
#ifdef LCD_I2C_VIKI
    // This uses the LiquidTWI2 library v1.2.3 or later ( https://github.com/lincomatic/LiquidTWI2 )
    // Make sure the LiquidTWI2 directory is placed in the Arduino or Sketchbook libraries subdirectory.
    // Note: The pause/stop/resume LCD button pin should be connected to the Arduino
    //   BTN_ENC pin (or set BTN_ENC to -1 if not used)
    #define LCD_I2C_TYPE_MCP23017
    #define LCD_I2C_ADDRESS 0x20 // I2C Address of the port expander
    #define LCD_USE_I2C_BUZZER //comment out to disable buzzer on LCD (requires LiquidTWI2 v1.2.3 or later)
    #define NEWPANEL
    #define ULTIPANEL
#endif

// Shift register panels
// -----
// 2 wire Non-latching LCD SR from:
// https://bitbucket.org/fmalpartida/new-liquidcrystal/wiki/schematics#!shiftregister-connection

##define SAV_3DLCD
#ifdef SAV_3DLCD
    #define SR_LCD_2W_NL // Non latching 2 wire shiftregister
    #define NEWPANEL
    #define ULTIPANEL
#endif

#ifdef ULTIPANEL
    // #define NEWPANEL //enable this if you have a click-encoder panel
    #define SDSUPPORT
    #define ULTRA_LCD
    #ifdef DOGLCD // Change number of lines to match the DOG graphic display

```

```

#define LCD_WIDTH 20
#define LCD_HEIGHT 5
#else
#define LCD_WIDTH 20
#define LCD_HEIGHT 4
#endif
#else //no panel but just LCD
#ifdef ULTRA_LCD
#ifdef DOGLCD // Change number of lines to match the 128x64 graphics display
#define LCD_WIDTH 20
#define LCD_HEIGHT 5
#else
#define LCD_WIDTH 16
#define LCD_HEIGHT 2
#endif
#endif
#endif

// default LCD contrast for dogm-like LCD displays
#ifdef DOGLCD
#ifndef DEFAULT_LCD_CONTRAST
#define DEFAULT_LCD_CONTRAST 32
#endif
#endif

// Increase the FAN pwm frequency. Removes the PWM noise but increases heating in the FET/Arduino
// #define FAST_PWM_FAN

// Temperature status LEDs that display the hotend and bed temperature.
// If all hotends and bed temperature and temperature setpoint are < 54C then the BLUE led is on.
// Otherwise the RED led is on. There is 1C hysteresis.
// #define TEMP_STAT_LEDS

// Use software PWM to drive the fan, as for the heaters. This uses a very low frequency
// which is not as annoying as with the hardware PWM. On the other hand, if this frequency
// is too low, you should also increment SOFT_PWM_SCALE.

```

```

//#define FAN_SOFT_PWM

// Incrementing this by 1 will double the software PWM frequency,
// affecting heaters, and the fan if FAN_SOFT_PWM is enabled.
// However, control resolution will be halved for each increment;
// at zero value, there are 128 effective control positions.
#define SOFT_PWM_SCALE 0

// M240 Triggers a camera by emulating a Canon RC-1 Remote
// Data from: http://www.doc-diy.net/photo/rc-1_hacked/
// #define PHOTOGRAPH_PIN 23
// SF send wrong arc g-codes when using Arc Point as fillet procedure
// #define SF_ARC_FIX
// Support for the BariCUDA Paste Extruder.
// #define BARICUDA
// define BlinkM/CyzRgb Support
// #define BLINKM
/*****\
* R/C SERVO support
* Sponsored by TrinityLabs, Reworked by codexmas
*****/

// Number of servos
//
// If you select a configuration below, this will receive a default value and does not need to be set manually
// set it manually if you have more servos than extruders and wish to manually control some
// leaving it undefined or defining as 0 will disable the servo subsystem
// If unsure, leave commented / disabled
//
// #define NUM_SERVOS 3 // Servo index starts with 0 for M280 command

// Servo Endstops
//
// This allows for servo actuated endstops, primary usage is for the Z Axis to eliminate calibration or bed height changes.
// Use M206 command to correct for switch height offset to actual nozzle height. Store that setting with M500.
//
// #define SERVO_ENDSTOPS {-1, -1, 0} // Servo index for X, Y, Z. Disable with -1
// #define SERVO_ENDSTOP_ANGLES {0,0, 0,0, 70,0} // X,Y,Z Axis Extend and Retract angles

```



```

/*****\

* Support for a filament diameter sensor

* Also allows adjustment of diameter at print time (vs at slicing)

* Single extruder only at this point (extruder 0)

*

* Motherboards

* 34 - RAMPS1.4 - uses Analog input 5 on the AUX2 connector

* 81 - Printrboard - Uses Analog input 2 on the Exp1 connector (version B,C,D,E)

* 301 - Rambo - uses Analog input 3

* Note may require analog pins to be defined for different motherboards

*****/

// Uncomment below to enable

// #define FILAMENT_SENSOR

#define FILAMENT_SENSOR_EXTRUDER_NUM      0 //The number of the extruder that has the filament sensor (0,1,2)

#define MEASUREMENT_DELAY_CM              14 //measurement delay in cm. This is the distance from
filament sensor to middle of barrel

#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA  3.0 //Enter the diameter (in mm) of the filament generally used (3.0 mm
or 1.75 mm) - this is then used in the slicer software. Used for sensor reading validation

#define MEASURED_UPPER_LIMIT            3.30 //upper limit factor used for sensor reading validation in mm

#define MEASURED_LOWER_LIMIT            1.90 //lower limit factor for sensor reading validation in mm

#define MAX_MEASUREMENT_DELAY           20 //delay buffer size in bytes (1 byte = 1cm)- limits
maximum measurement delay allowable (must be larger than MEASUREMENT_DELAY_CM and lower number saves RAM)

//defines used in the code

#define DEFAULT_MEASURED_FILAMENT_DIA  DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA //set measured to nominal
initially

//When using an LCD, uncomment the line below to display the Filament sensor data on the last line instead of status. Status
will appear for 5 sec.

// #define FILAMENT_LCD_DISPLAY

#include "Configuration_adv.h"

#include "thermistortables.h"

#endif // __CONFIGURATION_H

```

ANEXO H: PLANO DEL CONJUNTO GENERAL DE LA MAQUINA

ANEXO I: PLANO TAPA FRONTAL SUPERIOR

ANEXO J: PLANO TAPA FRONTAL INFERIOR

ANEXO K: PLANO TAPA SUPERIOR

ANEXO L: PLANO TAPA INFERIOR

ANEXO M: PLANO TAPA LATERAL

ANEXO N: PLANO TAPA POSTERIOR

ANEXO Ñ: PLANO CUBIERTA POSTERIOR

ANEXO O: PLANO PERFIL ANGULAR 38,1 mm x 38,1 mm

ANEXO P: PLANO PERFIL ANGULAR 25,4 mm x 25,4 mm

ANEXO Q: PLANO EJE X

ANEXO R: PLANO EJE Y

ANEXO S: PLANO EJE Z

ANEXO T: PLANO MESA DE TRABAJO