



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA
PARA CREAR EL FILAMENTO DE LA IMPRESORA 3D A
PARTIR DE MATERIAL PLÁSTICO”**

CARLOS ANDRÉS GUTIÉRREZ PAREDES
LUIS ENRIQUE VARGAS AYALA

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROPUESTAS TECNOLÓGICAS

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL
RIOBAMBA – ECUADOR

2017

ESPOCH
Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Fecha de Entrega

2016-10-31

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

GUTIÉRREZ PAREDES CARLOS ANDRÉS

Titulado:

**“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA PARA CREAR
EL FILAMENTO DE LA IMPRESORA 3D A PARTIR DE MATERIAL
PLÁSTICO”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos
DIRECTOR

Ing. Carlos José Santillán Mariño
MIEMBRO

ESPOCH
Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Fecha de Entrega

2016-10-31

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

VARGAS AYALA LUIS ENRIQUE

Titulado:

**“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA PARA CREAR
EL FILAMENTO DE LA IMPRESORA 3D A PARTIR DE MATERIAL
PLÁSTICO”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos
DIRECTOR

Ing. Carlos José Santillán Mariño
MIEMBRO

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GUTIÉRREZ PAREDES CARLOS ANDRÉS

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: **“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MAQUINA EXTRUSORA PARA CREAR EL FILAMENTO DE LA IMPRESORA 3D A PARTIR DE MATERIAL PLÁSTICO”**

Fecha de Examinación: 15 de noviembre de 2017

RESULTADO DE EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos DIRECTOR			
Ing. Carlos José Santillán Mariño MIEMBRO			

*Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: VARGAS AYALA LUIS ENRIQUE

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: **“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MAQUINA EXTRUSORA PARA CREAR EL FILAMENTO DE LA IMPRESORA 3D A PARTIR DE MATERIAL PLÁSTICO”**

Fecha de Examinación: 15 de noviembre de 2017

RESULTADO DE EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos DIRECTOR			
Ing. Carlos José Santillán Mariño MIEMBRO			

*Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, CARLOS ANDRÉS GUTIÉRREZ PAREDES y LUIS ENRIQUE VARGAS AYALA, egresados de la Carrera de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la facultad de Mecánica de la ESPOCH, autores del proyecto de titulación denominado **“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA PARA CREAR EL FILAMENTO DE LA IMPRESORA 3D A PARTIR DE MATERIAL PLÁSTICO”** nos responsabilizamos en su totalidad del contenido en su parte intelectual y técnica y que me someto a cualquier disposición en caso de no cumplir con este precepto.

Carlos Andrés Gutiérrez Paredes

Luis Enrique Vargas Ayala

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, **CARLOS ANDRÉS GUTIÉRREZ PAREDES** y **LUIS ENRIQUE VARGAS AYALA**, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente se encuentran debidamente citados y referenciados. Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Carlos Andrés Gutiérrez Paredes

Luis Enrique Vargas Ayala

DEDICATORIA

A Dios por brindarme su bendición para cumplir esta meta y por haber puesto en mi vida a todas las personas que fueron mi soporte durante mis estudios.

A mis padres quienes me apoyaron durante mi vida estudiantil, a mis abuelos quienes siempre me brindaron su cariño y a toda mi familia, a mi Director y Asesor por el apoyo brindado en el desarrollo de mi trabajo de titulación y a todas aquellas personas que directa o indirectamente me han brindado su ayuda.

Gutiérrez Paredes Carlos Andrés

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mis padres por el apoyo brindado y cumplir con esta propuesta, por sus consejos, además de guiarme en mi vida por un buen camino y siempre haber confiado en mí.

A mi abuelo que me brindó su apoyo incondicional durante mi vida estudiantil. A mis familiares que siempre me alentaron a seguir aun en los momentos más difíciles de mi vida.

Vargas Ayala Luis Enrique

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios haberme dado la salud y la vida así como darme la sabiduría para culminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida.

A toda mi familia quienes me apoyaron incondicionalmente cuando lo necesité. Gracias por su cariño y por enseñarme valores que me ayudaron a seguir el sendero del bien.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería Industrial y a sus docentes por brindarme sus conocimientos en las aulas. Un agradecimiento especial al Ing. Jhonny Orozco, director de tesis y al Ing. Carlos Santillán, asesor de tesis; por su apoyo en la creación y culminación de mi trabajo de titulación.

Gutiérrez Paredes Carlos Andrés

Agradezco a Dios por guiarme en el buen camino y permitirme culminar mi meta y comenzar otra etapa en mi vida. Gracias a mi familia por el apoyo brindado, a mis padres por la confianza depositada.

Mi especial agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en particular a la Escuela de Ingeniería Industrial por los conocimientos impartidos y en especial al Ing. Jhonny Orozco y el Ing. Carlos Santillán Mariño por su asesoría en este trabajo de titulación.

A mi compañero de trabajo de titulación Carlos, por su sacrificio y apoyo en los buenos y malos momentos durante el desarrollo del trabajo de titulación y toda nuestra vida estudiantil.

A mis familiares, amigos y a todas las personas que me ayudaron para la finalización del trabajo de titulación.

Vargas Ayala Luis Enrique

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. Antecedentes	1
1.3. Justificación	2
1.3.1. <i>Justificación teórica</i>	2
1.3.2. <i>Justificación metodológica</i>	3
1.3.3. <i>Justificación práctica</i>	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Impresora 3D.....	5
2.1.1. <i>Tecnologías de Impresión 3D</i>	5
2.1.2. <i>Modelado por deposición fundida (FDM)</i>	6
2.1.3. <i>Aplicaciones de la impresión 3D</i>	7
2.2. Extrusión.....	8
2.2.1. <i>Tipos de extrusoras</i>	9
2.2.2. <i>Partes de la extrusora</i>	10
2.2.3. <i>Ventajas y desventajas de la extrusión</i>	12
2.2.4. <i>Problemas y soluciones del proceso de extrusión</i>	13
2.3. Filamentos para impresión 3D.....	14
2.3.1. <i>Plásticos</i>	14

2.3.2. Termoplásticos.....	14
2.4. Calor.....	20
2.4.1. Conducción.....	21
2.4.2. Convección.....	21
2.4.3. Radiación.....	21
2.5. Microcontrolador.....	21
2.6. Controladores de temperatura.....	22
2.6.1. Controladores de temperatura Encendido/Apagado.....	22
2.6.2. Controladores de temperatura proporcionales.....	23
2.6.3. Controladores de temperatura PID.....	23
2.7. Resistencias eléctricas calefactoras.....	23
2.8. Termopar.....	24
2.9. Motor eléctrico.....	24
2.10. Reductor de Velocidad.....	25
2.11. Polea.....	25
2.12. Rodamientos.....	26
2.13. Análisis de extrusoras comerciales.....	26
2.14. Alternativas de diseño para la máquina extrusora.....	29
2.14.1. Diseño vertical.....	29
2.14.2. Diseño horizontal.....	30

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....	31
3.1. Parámetros de diseño.....	31
3.1.1. Dimensiones del Cilindro.....	31
3.1.2. Dimensiones del Tornillo Extrusor.....	32
3.1.3. Tolla de alimentación.....	37
3.1.4. Caudal volumétrico del tornillo.....	39

3.1.5.	<i>Potencia requerida</i>	44
3.1.6.	<i>Calculo de relación de transmisión</i>	45
3.1.7.	<i>Cálculo de la presión</i>	47
3.1.8.	<i>Calculo de fuerzas del tornillo</i>	49
3.2.	Variables de diseño	63
3.3.	Diseño de la máquina extrusora.....	63
3.3.1.	<i>Modelado CAD</i>	64
3.3.2.	<i>Selección del menú SolidWorks Simulation</i>	75
3.3.3.	<i>Ensamblaje de Extrusora de filamento plástico para impresión 3D</i>	83
3.4.	Construcción del equipo	83
3.4.1.	<i>Construcción de las partes</i>	83
3.5.	Sistema de Control.....	91
3.5.1.	<i>Diagrama del sistema</i>	91
3.5.2.	<i>Selección del Componentes del sistema</i>	92
3.6.	Pruebas y funcionamiento de la máquina extrusora	100
3.6.1.	<i>Selección del sistema de enfriamiento</i>	101
3.6.2.	<i>Materia prima utilizada</i>	101
3.6.3.	<i>En la prueba de Impresión 3D utilizando filamento de polipropileno</i>	104
3.7.	Análisis de Resultados	104
3.7.1.	<i>Resultados de extrusión utilizando LDPE</i>	105
3.7.2.	<i>Resultados de extrusión utilizando ABS</i>	105
3.7.3.	<i>Resultados de extrusión utilizando PP</i>	106
 CAPÍTULO IV		
4.	ESTUDIO DE COSTOS	108
4.1.	Costos Directos	108
4.2.	Costos Indirectos.....	110
4.3.	Costos Totales.....	111

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
5.1.	Conclusiones.....	112
5.2.	Recomendaciones	113

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2. Tecnologías de impresión 3D.....	6
Tabla 2-2. Problemas y soluciones del proceso de extrusión	13
Tabla 3-2. Especificaciones Técnicas Filastruder Kit.....	27
Tabla 4-2. Especificaciones Técnicas Filabot Original	28
Tabla 5-2. Especificaciones Técnicas GS – 10 MACH.....	28
Tabla 6-2. Comparación de extrusoras	29
Tabla 7-2. Comparación entre diseño horizontal y vertical.....	30
Tabla 1-3. Datos dimensionales del Cilindro.....	32
Tabla 2-3. Dimensiones del tornillo.....	37
Tabla 3-3. Comparación entre tolva circular y rectangular	38
Tabla 4-3. Producción de la extrusora en base a las rpm.....	44
Tabla 5-3. Propiedades físicas del acero AISI 4340.....	61
Tabla 6-3. Propiedades físicas del acero AISI 4340.....	62
Tabla 7-3. Comparación de Materiales	64
Tabla 8-3. Especificaciones básicas Controlador de temperatura TOKY	92
Tabla 9-3. Particularidades de selección del contactor	93
Tabla 10-3. Parámetros de selección de Relé térmico	94
Tabla 11-3. Parámetros para la selección del transformador	95
Tabla 12-3. Resultados de extrusión de LDPE	105
Tabla 13-3. Resultados de extrusión de ABS	105
Tabla 14-3. Resultados de extrusión de PP.....	106
Tabla 1-4. Costos directos de fabricación.....	108
Tabla 2-4. Costos indirectos de fabricación.....	110

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1. Primera Impresora 3D.....	1
Figura 2-1. RepRap versión 1.0 (Darwin)	2
Figura 1-2. Impresora 3D FDM.....	5
Figura 2-2. Impresora 3D	7
Figura 3-2. Prótesis de pierna impresa en 3D.....	7
Figura 4-2. Juguete impreso en 3D.....	7
Figura 5-2. Casa impresa en 3D	8
Figura 6-2. Proceso de extrusión de plásticos	8
Figura 7-2. Extrusora de doble husillo	9
Figura 8-2. Extrusora de doble husillo	10
Figura 9-2. Tipos de tolvas	10
Figura 10-2. Zonas del Tornillo.....	11
Figura 11-2. Placa rompedora y filtro.....	11
Figura 12-2. Troquel.....	12
Figura 13-2. Filamento de impresión 3D.....	14
Figura 14-2. Estructura ABS	16
Figura 15-2. Identificación del ABS.....	17
Figura 16-2. Piezas impresas en 3D con material ABS.....	17
Figura 17-2. Estructura del Polietileno.....	18
Figura 18-2. Identificación del PEBD	19
Figura 19-2. Estructura PP.....	19
Figura 20-2. Identificación del PP	20
Figura 21-2. Fuentes de transmisión de calor.....	20
Figura 22-2. Microcontrolador	22
Figura 23-2. Controlador de temperatura Panasonic KT4H.....	22
Figura 24-2. Esquema Controlador PID	23
Figura 25-2. Resistencia tipo Abrazadera.....	24
Figura 26-2. Termopares	24
Figura 27-2. Reductor Corona-Sinfín	25
Figura 28-2. Polea.....	26
Figura 29-2. Rodamiento rígido de bolas	26

Figura 30-2. Filastruder Kit	27
Figura 31-2. Filabot Original	27
Figura 32-2. GS – 10 MACH	28
Figura 33-2. Extrusora Vertical	30
Figura 34-2. Extrusora Horizontal	30
Figura 1-3. Dimensiones del Cilindro	31
Figura 2-3. Tornillo de un canal, compuesto por tres zonas.....	32
Figura 3-3. Tolva de alimentación.....	38
Figura 4-3. Plato rompedor.....	42
Figura 5-3. Relación de transmisión poleas.....	45
Figura 6-3. Intervalos de velocidad de cortadura	48
Figura 7-3. Intervalos de velocidad de cortadura	48
Figura 8-3. Diagrama de fuerzas de un tornillo	49
Figura 9-3. Triangulo rectángulo para la zona de alimentación	54
Figura 10-3. Rectángulo para la zona de alimentación.....	55
Figura 11-3. Cono trunco de la zona de compresión	56
Figura 12-3. Rectángulo para la zona de compresión.....	57
Figura 13-3. Triángulo para la zona de compresión.....	58
Figura 14-3. Rectángulo para la zona de extrusión	60
Figura 15-3. Base Extrusora	64
Figura 16-3. Base principal de Cilindro	65
Figura 17-3. Base de Apoyo de Cilindro	65
Figura 18-3. Cilindro	66
Figura 19-3. Husillo de Extrusión	66
Figura 20-3. Unión de cabezal de Extrusión y cilindro	67
Figura 21-3. Plato rompedor.....	67
Figura 22-3. Cabezal de Extrusión	68
Figura 23-3. Dado Extrusor	68
Figura 24-3. Ensamble Conjunto Extrusora	69
Figura 25-3. Base de Halado frontal.....	69
Figura 26-3. Eje Tensor inferior y Eje Tensor Superior	69
Figura 27-3. Piñon Motor DC 9v.....	70
Figura 28-3. Rueda Eje	71
Figura 29-3. Sistema de Halado.....	72

Figura 30-3. Base de Enrollamiento	72
Figura 31-3. Eje Bobina.....	73
Figura 32-3. Bobina para Enrollamiento	73
Figura 33-3. Sistema de Enrollamiento	74
Figura 34-3. Base Tensora.....	74
Figura 35-3. Soporte Ayuda del Filamento	75
Figura 36-3. Eje de Acero Inoxidable.....	75
Figura 37-3. Configuración SolidWorks Simulation.....	76
Figura 38-3. Establecimiento de las unidades y parámetros del análisis.....	76
Figura 39-3. Creación del estudio.....	77
Figura 40-3. Selección de caras para geometrías fijas.....	78
Figura 41-3. Aplicación de cargas	78
Figura 42-3. Fuerza aplicada debido al peso del motor y la caja reductora	79
Figura 43-3. Aplicación de Control de Mallado	80
Figura 44-3. Control de Mallado	80
Figura 45-3. Ejecución del Análisis.....	81
Figura 46-3. Resultados Tensiones Von Mises	81
Figura 47-3. Resultados Desplazamiento	82
Figura 48-3. Resultados Deformaciones Unitarias	82
Figura 49-3. Factor de Seguridad	83
Figura 50-3. Extrusora de Filamento plástico para impresión 3D.....	83
Figura 51-3. Base Extrusora fabricada	84
Figura 52-3. Base Principal Cilindro fabricado	84
Figura 53-3. Base de Apoyo Cilindro fabricada.....	85
Figura 54-3. Cilindro fabricado	85
Figura 55-3. Tolva fabricada	85
Figura 56-3. Husillo de Extrusión fabricado	90
Figura 57-3. Unión de Cabezal de Extrusión y Cilindro fabricado	86
Figura 58-3. Plato Rompedor fabricado	87
Figura 59-3. Cabezal de Extrusión fabricado	87
Figura 60-3. Dado Extrusor fabricado	87
Figura 61-3. Base de Halado fabricada.....	88
Figura 62-3. Eje Tensor Inferior y Eje Tensor Superior fabricados	88
Figura 63-3. Piñón Motor DC de 24v y rueda dentada de ejes tensores fabricados.....	89

Figura 64-3. Base de Enrollamiento fabricado	89
Figura 65-3. Eje Bobina fabricado.....	89
Figura 66-3. Bobina de Enrollamiento fabricada	90
Figura 67-3. Soporte Ayuda del Filamento fabricado	90
Figura 68-3. Base Tensora fabricada	91
Figura 69-3. Diagrama de Bloques de componentes del sistema	91
Figura 70-3. Controlador de temperatura TOKY	93
Figura 71-3. Contactor LS 18 ^a	94
Figura 72-3. Relé térmico LS MT-32	95
Figura 73-3. Transformador de 110V a 12V	95
Figura 74-3. Variador de voltaje DC	96
Figura 75-3. Calefactores tipo abrazadera	96
Figura 76-3. Elementos de mando y visualización	97
Figura 77-3. Diagramas de control y mando de la maquina extrusora de filamento.....	97
Figura 78-3. Conexiones eléctricas del sistema de control.....	98
Figura 79-3. Resultados de Enfriamiento con Agua.....	101
Figura 80-3. Características de ventiladores DC BRUSHLESS SUPERFAN	101
Figura 81-3. Trozos de LDPE utilizados en la extrusora.....	101
Figura 82-3. Resultado de la extrusión a 200 °C, filamento irregular	102
Figura 83-3. Resultado de la extrusión a 180 °C, filamento irregular	102
Figura 84-3. Trozos de ABS utilizados en la extrusora.....	102
Figura 85-3. Resultado de la extrusión a 260 °C, filamento regular pero muy frágil .	103
Figura 86-3. Trozos de PP utilizados en la extrusora	103
Figura 87-3. Resultado de la extrusión a 165 °C, filamento con buena calidad.....	104

LISTADO DE ANEXOS

A	PLANOS DE LA MAQUINA EXTRUSORA
B	CONEXIONES ELECTRICAS DEL SISTEMA DE CONTROL
C	MANUAL DE OPERACIÓN
D	MANUAL DE MANTENIMIENTO
E	GUIA PARA IMPRESIÓN 3D
F	CATÁLOGO MOTORES WEG
G	EXTRACTO DE CATALOGO SKF CHUMACERAS
H	CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DEL HUSILLO (AISI – SAE 4340), CATALOGO DIPAC
I	CATALOGO SKF DE RODAMIENTOS RIGIDOS DE BOLAS
J	CATALOGO DIPAC TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO
K	CATALOGO DIPAC TUBO MECANICO REDONDO
L	CATALOGO DIPAC PLANCHA DE ACERO ESTRUCTURAL LAMINADA EN CALIENTE
M	CATÁLOGO ACEROS BRAVO, BRONCE FOSFÓRICO
N	CATALOGO DIPAC, PLANCHA GALVANIZADA
Ñ	CATALOGO DE RODAMIENTOS RIGIDOS DE BOLAS BLINDADOS
O	POLEAS Y CORREAS DE PERFIL “A”
P	CATALOGO DE VENTILADORES DC BRUSHLESS SUPERFAN

LISTA DE ABREVIACIONES

A	Amperio
V	Voltio
3D	Tres dimensiones
ABS	Acrilonitrilo, Butadieno y Estireno
PLA	Poliácido Láctico
PCL	Policaprolactona
PVA	Acetato de Polivinilo
PEI	Polieterimida
HIPS	Poliestireno de Alto Impacto
PPSU	Polifenilensulfona
Rpm	Revoluciones por minuto
Mm	Milímetros
Hz	Hertz
kW	Kilowatios
kg	Kilogramo
gal	Galones
USD	Dólares Americanos
CAD	Diseño asistido por computadora
CAM	Manufactura asistido por computadora
FDM	Modelado por deposición fundida
LMD	Sinterizado láser directo de metal
EBM	Fusión por haz de electrones
SHS	Sinterizado selectivo por calor
SLS	Sinterizado selectivo por calor láser
DSPC	Proyección aglutinante
LOM	Laminado de capas
SLA	Estereolitografía
PID	Proporcional Integral Derivativo
DC	Corriente Directa
AC	Corriente Alterna

RESUMEN

El objetivo de esta propuesta tecnológica consiste en el diseño y fabricación de una máquina extrusora como alternativa para la fabricación de filamentos de impresoras 3D utilizando polipropileno obtenido mediante la trituración de tapas de botellas, esperando lograr disminuir el tiempo de elaboración, mejorar la calidad y utilizar materiales reciclados. Se realizaron cálculos para determinar las dimensiones de los componentes de la máquina extrusora como: tornillo sin fin, cilindro, boquilla, tolva, potencia y número de revoluciones del motor. Posteriormente se utiliza el software SolidWorks para diseñar la extrusora, sistema de rodillos tensores y sistema de enrollamiento. Se analizó la selección de los materiales y elementos necesarios para la máquina, tomando énfasis en la resistencia a altas temperaturas, corrosión y tenacidad. Una vez realizado el diseño y selección de materiales se procede a la fabricación de la extrusora la cual está constituida por dos partes fundamentales: la mecánica, que consiste en la construcción de todos los elementos de la máquina, y la electrónica, en la cual se realiza el control de la parte mecánica y de la temperatura de extrusión mediante resistencias eléctricas tipo abrazadera gobernadas por un controlador de temperatura así como la selección del sistema de enfriamiento a la salida de la extrusora. Se realizaron pruebas de funcionamiento para determinar las condiciones óptimas de operación entre las cuales se destacan: temperatura de extrusión 170 °C, motor de 1hp, velocidad de giro del husillo 36 rpm para obtener una producción estimada de 3,3 kg/h de filamento de 3 mm de diámetro. Se utilizó el filamento fabricado en la impresora 3D de Modelado por Deposición Fundida (FDM) logrando imprimir sin inconvenientes y se recomienda un tiempo de precalentamiento de 60 min antes de encender el motor.

PALABRAS CLAVES: <MÁQUINA EXTRUSORA>, <FILAMENTO>, <PLÁSTICO>, <IMPRESORA 3D>, <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>, <RESISTENCIAS ELÉCTRICAS TIPO ABRAZADERA>, <CONTROLADOR DE TEMPERATURA>.

ABSTRACT

The aim of this technology proposal is to design and manufacture an extruder machine as an alternative for the manufacture of filaments 3D printers using polypropylene, it has obtained by crushing bottle caps, hoping to achieve shortening the processing time, so it improves the quality and uses recycled materials. Calculations were made to determine the dimensions of the components of the extruder machine such as worm, cylinder, nozzle, hopper, power and engine speed. Afterwards, SolidWorks software is used to design the extruder, tensioning roller system and winding system. The selection of materials is also analyzed and elements necessary for the machine, in such a way that it was emphasis on the resistance to high temperatures corrosion, and tenacity. After design and selection of materials, the extruder is made which consists of two main parts. the mechanics, which consists of the construction of all the elements of the machine, and electronics, which it is carried out the control of the mechanical part and the extrusion temperature by means of electric resistances type clamp governed by a temperature controller as well as the selection of the cooling system at the outlet of the extruder. Performance tests were carried out to determine the optimum operating conditions, among which the following stand out: extrusion temperature 170 ° C, engine 1hp , spindle turning speed 36 rpm to obtain an estimated production of 3.3 kg / h of filaments 3mm diameter. It has used the filament made in the 3D printer Fused Deposition Model (FDM) in this way it was printed without problems and a preheating time of 60 min is recommended before starting the engine.

KEYWORDS: <EXTRUDER MACHINE>, <FILAMENT>, <PLASTIC> <3D PRINTER>, <COMPUTER ASSISTED DESIGN>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>, <ELECTRIC RESISTANCES TYPE CLAMP>, <TEMPERATURE CONTROLLER>.

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mundo evoluciona rápidamente gracias al sector industrial, en gran medida por la utilización y desarrollo de nuevas tecnologías para fabricar productos como es el caso de la impresión 3D.

La materia prima utilizada por las impresoras 3D es el filamento plástico, el cual se fabrica en diámetros de 1,75 mm o 3 mm de materiales como ABS, PLA, HDPE entre los más conocidos que se comercializan a un costo de alrededor de \$ 40 dependiendo del tipo de plástico requerido.

En el presente trabajo de titulación se realiza el diseño y fabricación de una máquina extrusora como alternativa para la producción de filamento de impresoras 3D utilizando como materia prima tapas de botellas trituradas contribuyendo así al reciclaje y reutilización de materiales de difícil degradación.

1.2. Antecedentes

Antes de iniciar con la descripción de los procesos que dan lugar a la creación del filamento para impresoras 3D, consideramos necesario dar a conocer el ámbito de este trabajo de titulación, la impresión 3D.

Las primeras tecnologías de impresión 3D se remontan al año 1984, cuando Charles Hull inventó la Estereolitografía (SLA) que consistía en utilizar fotopolímero líquido que al entrar en contacto con luz ultravioleta se solidificaba y se fabricaba la pieza desde la parte inferior hasta la superior, pero en dicha tecnología había mucho desperdicio de material.

Figura 1-1. Primera impresora 3D



Fuente: <https://goo.gl/HQShpk>

Por la década de los 90's Scott Crump creó la tecnología de Modelado por Deposición Fundida (FDM) en la cual se empezó a utilizar filamento plástico reduciendo así los desperdicios de material observados en la Estereolitografía.

Figura 2-1. RepRap versión 1.0 (Darwin)



Fuente: <https://goo.gl/29NiU4>

La primera referencia a la extrusión es el tornillo de Arquímedes el cual fue inventado en el siglo III a. C., fue utilizado para extraer agua de sitios poco accesibles así como para transportar líquidos, alimentos o materiales excavados.

Desde 1950 hasta la actualidad, las aplicaciones de la extrusión fueron creciendo rápidamente, desde comida para animales utilizando almidón gelatinizado, desarrollo de un sistema de prensado de semillas, obtención de cereales, filamentos de impresoras 3D, etc.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

La fabricación de filamentos para impresoras 3D tiene un costo elevado, debido a que las extrusoras comerciales utilizan pellets proporcionados por sus mismos fabricantes, dificultando el aprovisionamiento de materia prima y provocando que los precios de las impresiones 3D sean elevados.

El presente trabajo de titulación se realiza con el propósito de aportar al conocimiento existente sobre la fabricación de filamentos de impresoras 3D mediante el diseño y fabricación de una máquina extrusora, cuyos resultados pueden sistematizarse para mejorar el aprendizaje de los estudiantes en cuanto a procesos productivos.

1.3.2. Justificación metodológica

Para obtener información se utiliza el método deductivo, debido a que se obtiene una conclusión a partir de la realidad, partiendo del análisis de la situación actual del proceso de fabricación de filamento para la impresora 3D mediante la investigación de las extrusoras comerciales existentes.

Basándose en la información obtenida se utiliza el método sistemático para determinar los componentes de la máquina extrusora y su relación correspondiente, finalmente se utilizará el método experimental para dar solución a los problemas que pueden presentarse en la fabricación de la extrusora.

1.3.3. Justificación práctica

Con la preparación académica, científica y tecnológica que posee un Ingeniero Industrial se encuentra en la facultad de diseñar y fabricar una máquina extrusora que produzca filamento el cual se utiliza en la impresora 3D para generar piezas como: carcasas, soportes y piezas de una manera rápida y versátil.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y fabricar una máquina extrusora para crear el filamento de la impresora 3D a partir de material plástico.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar los componentes y funcionamiento de las máquinas extrusoras de plástico.
- Determinar el diseño más idóneo para el correcto funcionamiento de la máquina extrusora.
- Fabricar la máquina extrusora de filamento para la impresora 3D.

- Comprobar el funcionamiento de la máquina extrusora así como el filamento fabricado.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Impresora 3D

De acuerdo con (Gardner, 2014 pág. 90) es un dispositivo que fabrica un objeto real partiendo de un diseño previamente realizado mediante software CAD por ejemplo: Inventor, Blender, SolidWorks, Rhinoceros y Pro Engineer, los cuales tienen extensiones como: .STL, .OBJ, X3D entre los más utilizados. El archivo del diseño se transfiere a la impresora 3D la cual adiciona el material capa por capa hasta obtener la pieza.

Figura 1-2. Impresora 3D FDM.



Fuente: <https://goo.gl/ADsEQe>

2.1.1. *Tecnologías de Impresión 3D*

De acuerdo con (Kalpakjian, 2008 pág. 581) existen un gran número de tecnologías para impresión 3D los cuales se diferencian en la forma en que las capas son utilizadas para fabricar las piezas, algunos emplean material fundido para fabricar las piezas, mientras que otros adicionan materiales líquidos, cada tecnología tiene sus ventajas e inconvenientes.

Las consideraciones principales dependerán siempre de las necesidades de los clientes y generalmente son: costo de la impresora 3D, velocidad de fabricación de las piezas, costo de materia prima y sus características como el color o el tipo de material que se requiere.

Tabla 1-2. Tecnologías de impresión 3D

Tipo	Tecnologías	Materiales
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos (ABS, PLA), aleaciones de metales, productos comestibles.
Granulado	Sinterizado láser directo de metal (LMD)	Casi cualquier aleación
	Fusión por haz de electrones (EBM)	Aleaciones de titanio
	Sinterizado selectivo por calor (SHS)	Polvo termoplástico
	Sinterizado selectivo por calor láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos
	Proyección aglutinante (DSPC)	Yeso
Laminado	Laminado de capas (LOM)	Papel, hoja metálica, capa de plástico
Foto-polimerizado	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímero
	Procesamiento digital de luz	Resina líquida

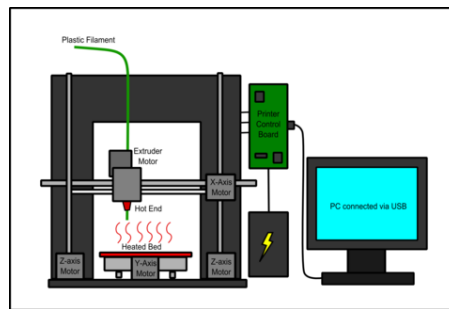
Fuente: www.tecnologiadelosplasticos.blogspot.com

Debido a que trabajamos con material termoplástico, la investigación se enfoca en el modelado por deposición fundida (FDM).

2.1.2. Modelado por deposición fundida (FDM)

De acuerdo con (Kalpakjian, 2008 pág. 584) consiste en la fundición del material de impresión y su posterior depósito sobre una base plana, el cual se solidifica al entrar en contacto con el aire y mediante la aplicación capa a capa se produce el modelo tridimensional completo. Actualmente se utilizan varios materiales como: ABS, PLA, PCL, PPSU, Policarbonato, PEI, PVA.

Figura 2-1. Impresora 3D



Fuente: <https://goo.gl/d5QRZ7>

2.1.3. Aplicaciones de la impresión 3D

Se pueden producir prótesis y partes del cuerpo humano como manos, piernas, huesos y órganos, las cuales están hechas de un material compatible con el tejido orgánico y se pueden utilizar para realizar trasplantes.

Figura 3-2. Prótesis de pierna impresa en 3D



Fuente: <https://goo.gl/hqa1Bu>

Se pueden fabricar juguetes dependiendo del gusto de los niños, desde figuras pequeñas y simples hasta estructuras grandes y complejas.

Figura 4-2. Juguete impreso en 3D



Fuente: <https://goo.gl/3jnXT>

Existe la posibilidad de utilizar impresoras 3D gigantes para imprimir piezas prefabricadas que después se pueden unir para montar la vivienda, utilizando como materiales una mezcla de cemento con residuos industriales.

Figura 5-2. Casa impresa en 3D



Fuente: <https://goo.gl/diJL5W>

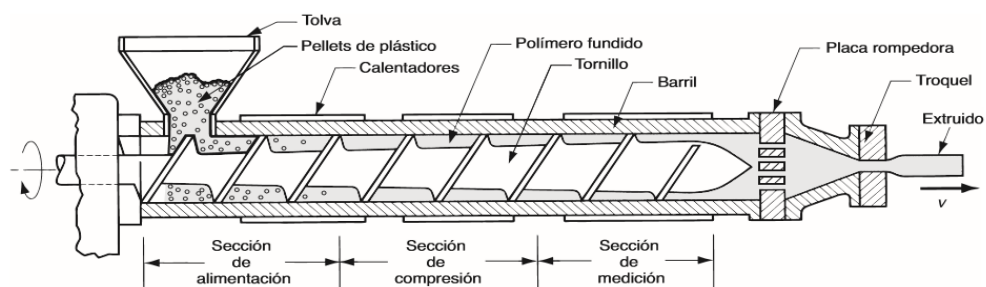
2.2. Extrusión

De acuerdo con el pensamiento de (Groover, 2007 pág. 261) es uno de los procesos más utilizados para dar forma a los polímeros, metales y cerámicos, se lo define como un procedimiento de compresión donde el material es forzado a pasar a través de un dado ya sea en caliente, en frío o tibio que definirá la forma final del perfil formado.

Se utiliza para la elaboración de productos generalmente semiacabados, los cuales deben tener su sección transversal definida, tales como láminas, tuberías, planchas, etc.

El material se empuja a través de un troquel de una sección transversal deseada. El proceso es similar a cuando sacamos la pasta dental de su tubo.

Figura 6-2. Proceso de extrusión de plásticos



Fuente: (Groover, 2007 pág. 262)

Al producir filamento para impresoras 3D se requiere una gran calidad de material, al ser necesario cumplir con requerimientos como: dureza, ductilidad, gran precisión del diámetro del filamento, etc., la extrusión ha permitido obtener buenos resultados.

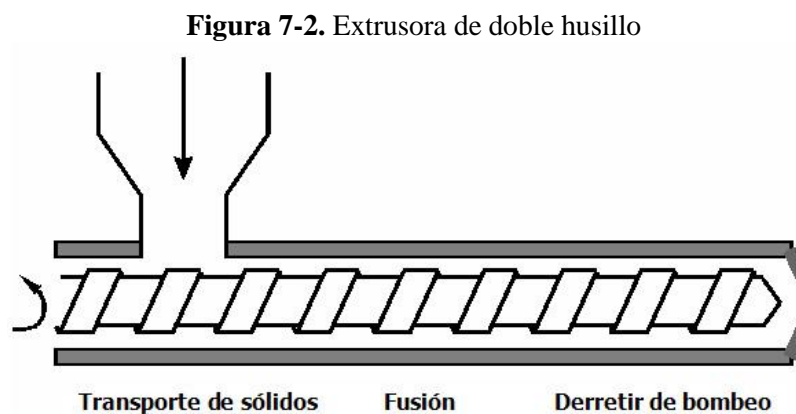
Los pellets de plástico utilizados son porciones de material plástico que usualmente se obtienen con máquinas trituradoras.

El proceso se puede utilizar para producir indefinidamente materiales largos o para producir muchos pedazos de material y se puede observar en la industria de alimentos, cauchos, medicamentos, plásticos, metales, cerámicas, telas.

2.2.1. Tipos de extrusoras

- *Extrusora de un husillo*

Según (Melgarejo, 2006 pág. 196) son muy utilizadas por su diseño simple, bajos costos de elaboración y facilidad de operación, dependiendo del tipo de producción requerida se construyen con diámetros que van desde 18 mm hasta 900 mm.

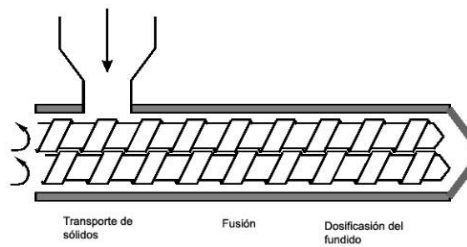


Fuente: <https://goo.gl/jmoaHL>

- *Extrusora de doble husillo*

Según (Groover, 2007 pág. 263) es una máquina con husillos paralelos que se encuentran dentro del cilindro, se utiliza para materiales que presentan problemas para mezclarse.

Figura 8-2. Extrusora de doble husillo



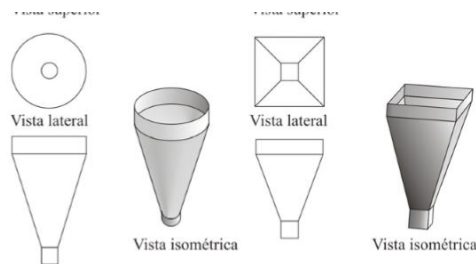
Fuente: <https://goo.gl/ktdEAq>

2.2.2. Partes de la extrusora

2.2.2.1. Tolva

Es una caja con forma de pirámide en la cual se almacena la materia prima temporalmente, se encarga de alimentar a la máquina extrusora, puede ser simple o con sistemas agitadores en el caso de que los materiales se queden pegados en sus paredes.

Figura 9-2. Tipos de tolvas



Fuente: (Marcilla, 2012)

Según (Marcilla, 2012 pág. 117) una tolva de sección circular es mejor que una tolva rectangular ya que ejerce una presión homogénea sobre todo el material.

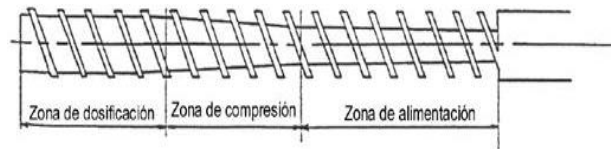
2.2.2.2. Tornillo

Según (Marcilla, 2012 pág. 107) es la parte más importante de la máquina extrusora, ya que carga, transporta, funde y homogeniza el plástico para darle la forma deseada. Tiene tres zonas principales: la zona de alimentación, en la cual se recibe el material y se realiza precalentamiento; la zona de compresión, en la cual se comprime y funde el material; la

zona de medición o dosificación: en la cual se homogeniza al material y se le da la temperatura óptima para que fluya por el dado y se obtenga la forma deseada.

Un aspecto importante para los tornillos es su relación L/D.

Figura 10-2. Zonas del Tornillo



Fuente: <https://goo.gl/sZQUQP>

2.2.2.3. Cilindro

Según (Marcilla, 2012 pág. 108) contiene al material y envuelve al tornillo para transportar el material. Existen distintos tipos de cilindros, adaptándose a la configuración del tornillo sinfín.

2.2.2.4. Zona de Calentadores

Para fundir el material se necesita un aporte externo de calor, el cual puede ser en una o varias etapas de modo que se controle mejor la temperatura del material durante su proceso.

2.2.2.5. Placa rompedora

Según (Marcilla, 2012 pág. 111) se localiza al final del cilindro, es un disco de metal con agujeros que mejora el mesclado y homogeniza el plástico fundido.

Figura 11-2. Placa rompedora y filtro

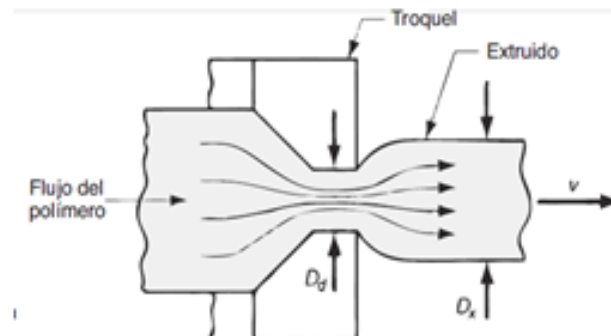


Fuente: <https://goo.gl/qSAK36>

2.2.2.6. Troquel

Según (Groover, 2007 pág. 260) es la parte que se encarga de dar la geometría y las dimensiones finales al material extruido pero que prevé alguna deformación que puede sufrir el material debido al cambio de temperatura.

Figura 12-2. Troquel



Fuente: <https://goo.gl/ZKkVag>

2.2.3. Ventajas y desventajas de la extrusión

2.2.3.1 Ventajas

- Alta productividad.
- Buena flexibilidad para cambios de productos.
- Costo de maquinaria inferior a otros procesos.
- Tolerancias estrechas.
- Se puede utilizar para gran variedad de materiales.

2.2.2.2. Desventajas

- Los productos deben tener una sección transversal constante.
- Gran parte de los productos requieren procesos posteriores.
- Los esfuerzos son muy grandes en el caso de la extrusión en frío o tibio.
- Se debe tener un control muy preciso de la temperatura en el caso de termoplásticos.

2.2.4. Problemas y soluciones del proceso de extrusión

Tabla 2-1. Problemas y soluciones del proceso de extrusión

PROBLEMAS	POSIBLE CAUSA Y SOLUCIÓN
Líneas y marcas en la dirección de extrusión	Causa: Inconvenientes en la boquilla (partículas adheridas, maltratos, etc.), o condiciones de procesamiento inadecuadas. Solución: Limpie la boquilla. Verifique la existencia de daños en la misma. Valide las condiciones de procesamiento de la resina.
Espesor no uniforme en la dirección transversal.	Causa: Calibrado de la boquilla. Solución: Calibre la boquilla centrada.
Espesor no uniforme en la dirección longitudinal.	Causa: Fluctuaciones en el flujo. Solución: Verifique ausencia de oscilaciones de la presión o la potencia del motor. Verificar la temperatura de la garganta. Verificar el correcto funcionamiento de los controladores de temperatura, resistencia, ventiladores.
Inestabilidad del caudal de producción.	Causa: Inconvenientes en el sistema de alimentación. Formación de puentes de resina en la tolva. Solución: Revisar sistemas de control de temperatura.
Baja transparencia y/o brillo en el producto.	Solución: Incrementar la temperatura de extrusión.
Presencia de impurezas, geles y/o puntos negros.	Causa: Adherencia en la boquilla, cabezal, filtros e incluso extrusor. Condiciones de procesamiento inadecuadas. Solución: Revisar estado de los filtros. Limpiar el cabezal, la boquilla o la extrusora. Purgue con otro material. Verificar la existencia de una posible fuente de contaminación. Validar las condiciones de procesamiento, ajuste si es necesario.

Fuente: <https://goo.gl/h32YBA>

2.3. Filamentos para impresión 3D

Según (Berral, 2016 pág. 220) los filamentos para impresoras 3D generalmente son de tipo termoplástico y tienen la apariencia de un hilo grueso que se almacena en bobinas, tienen un diámetro que va desde 1,75 mm a 3 mm.

Figura 13-2. Filamento de impresión 3D



Fuente: <https://goo.gl/U5g57E>

2.3.1. Plásticos

Según (Kalpakjian, 2008 pág. 191) son un grupo de materiales que tienen como elemento principal el carbono, combinado con hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Es sólido en su estado final, pero en alguna etapa de su fabricación es tan suave que puede ser moldeado ya sea por medio de calor o presión, se caracterizan por sus buenas propiedades.

2.3.2. Termoplásticos

Según (Kalpakjian, 2008 pág. 202) este tipo de plástico se puede moldear fácilmente por diferentes métodos ya que cuando el material es calentado su estructura molecular se vuelve más suave. Cuando el material se enfría se endurece y regresa a su estado normal, el material puede reutilizarse para una nueva fabricación.

2.3.1.1 Propiedades de los termoplásticos

- Viscoelasticidad

Según (Groover, 2007 pág. 260) se relaciona con la rapidez de deformación y el tiempo, es decir, si el esfuerzo se aplica despacio, el polímero se deforma fácilmente; cuando se aplica rápidamente, el polímero se vuelve frágil al deformarse.

- **Propiedades eléctricas**

Según (Groover, 2007 pág. 74) la mayoría de los termoplásticos son aislantes, pero algunos como el acetal puede tener buenas propiedades de conductividad térmica.

- **Comportamiento Plástico**

Según (Groover, 2007 pág. 298) los termoplásticos se deforman al aplicar un esfuerzo grande, las cadenas se deslizan bajo la carga lo que causa una deformación permanente.

- **Impacto**

Según (Groover, 2007 pág. 300) cuando se aplican altas velocidades de deformación, los termoplásticos presentan valores muy bajos de resistencia al impacto, es decir, se comportan frágilmente. Al trabajar a bajas temperaturas se observa un comportamiento frágil, caso contrario a temperaturas más altas, donde se observa un comportamiento dúctil.

- **Corrosión**

Según (Groover, 2007 pág. 300) algunos termoplásticos como el polietileno y propileno tienen propiedades para enfrentar la corrosión provocada por el ataque de insectos o microbios.

2.3.1.2 Clasificación

Dentro de este tipo de plásticos se encuentran: ABS, PE, polipropileno, PLA, etc.

a) Acrilonitrilo, Butadieno y Estireno (ABS)

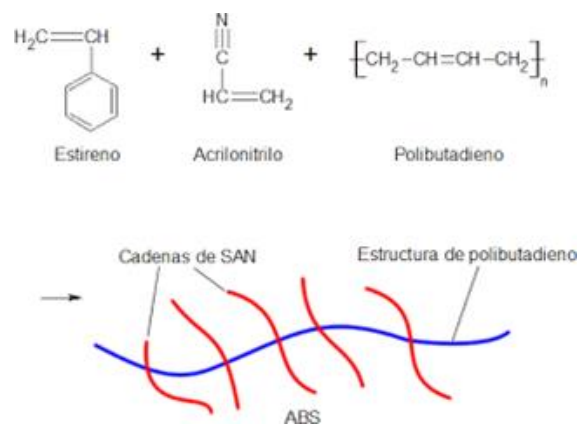
Su nombre se deriva de 3 monómeros empleados para fabricarlo: Acrilonitrilo, Butadieno y Estireno.

- Acrilonitrilo (25-35%) proporciona rigidez, estabilidad a elevadas temperaturas, ataques químicos y dureza.
- Butadieno (15-30%) proporciona ductilidad a bajas temperaturas, resistencia al impacto, resistencia a la fusión.
- Estireno (45 – 55%) proporciona alta resistencia mecánica, brillo, rigidez y fluidez.

Según (Kalpakjian, 2008 pág. 208) es un plástico con excelentes propiedades mecánicas, es rígido y dimensionalmente estable, posee buena resistencia a la abrasión, a los productos químicos. Sus aplicaciones más conocidas son: componentes para automóviles, artículos de plomería, filamentos, teléfonos, recubrimientos de refrigeradores, etc.

Estructura

Figura 14-2. Estructura ABS



Fuente: <https://goo.gl/NmFLBf>

Propiedades Físicas

- Estado físico: Granulado
- Densidad: 1,05 – 1,07 g/cm³
- Temperatura de ablandamiento: > 90 °C
- Temperatura de ignición: > 400 °C
- Temperatura de extrusión: 210 – 260 °C

Propiedades Mecánicas

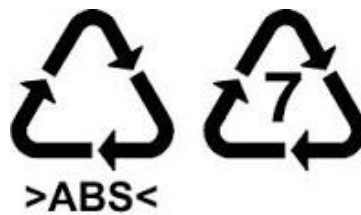
- Resistencia al impacto: 105 – 320 J/m
- Resistencia a la tensión: 4,2 – 5,3 Kg/mm²

- Dureza: 105 – 110 Rockwell
- Elongación: 5 – 20%
- Peso específico: 600 Kg/m³

Identificación

Según norma ISO 11469 (DIN 58840):

Figura 15-2. Identificación del ABS



Fuente: <https://goo.gl/LXjRph>

Impresión en 3D

Piezas impresas en 3D utilizando el material ABS

Figura 16-2. Piezas impresas en 3D con material ABS



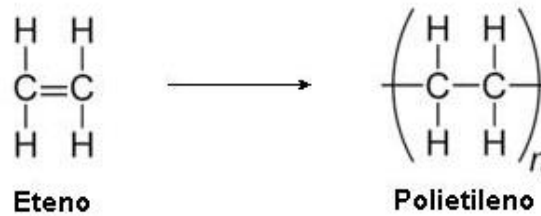
Fuente: <https://goo.gl/RCrLfd>

b) Polietileno (PE)

Según (Kalpakjian, 2008 pág. 210) se obtiene de la polimerización del etileno, tiene la estructura química más simple de todos los polímeros comerciales, es muy popular debido a su precio bajo y la facilidad de procesamiento, se utiliza para elaboración de bolsas, recipientes, frascos, juguetes, etc.

Estructura

Figura 17-2. Estructura del Polietileno



Fuente: <https://goo.gl/4aL2e3>

Se clasifica en:

- ***Polietileno de Baja Densidad (PEBD)***

Según (Kalpakjian, 2008 pág. 210) está formado por unidades repetitivas de Eteno, tiene las macromoléculas muy ramificadas en su estructura provocando que el espacio entre ellas sea mayor que en el PEAD, reduciendo su densidad y dureza.

Propiedades

- Estado físico: Granulado
- Densidad: 0,91 – 0,93 g/cm³
- Temperatura de extrusión: 170 – 200 °C
- Buena resistencia química y térmica.
- Buena procesabilidad mediante inyección y extrusión.
- Buena resistencia al impacto.

Aplicaciones

- Tubos.
- Piezas aislantes.
- Botellas.
- Carcasas de bombas.
- Frascos para cosméticos o productos químicos.
- Juguetes.

Identificación

Figura 18-2. Identificación del PEBD



Fuente: <https://goo.gl/XccWZh>

c) Polipropileno (PP)

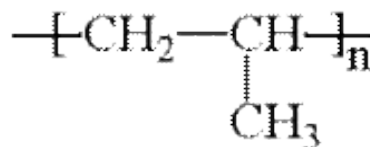
Según (Kalpakjian, 2008 pág. 210) se obtiene de la polimerización del propileno, es similar al PEAB pero la orientación de sus moléculas provoca un mayor grado de cristalinidad, siendo más rígido que el PE.

Propiedades

- Densidad: 0,9 g/cm³.
- Temperatura de extrusión: 150 – 180 °C.
- Alta resistencia a la tensión y compresión.
- Buenas propiedades dieléctricas.
- Bajo coeficiente de absorción de humedad.
- Es versátil.

Estructura

Figura 19-2. Estructura PP



Fuente: <https://goo.gl/J5GXgg>

Aplicaciones

- Juguetes

- Tubos
- Tapas de botella
- Utensilios domésticos
- Estuches de cintas
- Filamentos

Identificación

Se lo identifica con el siguiente símbolo:

Figura 20-2. Identificación del PP

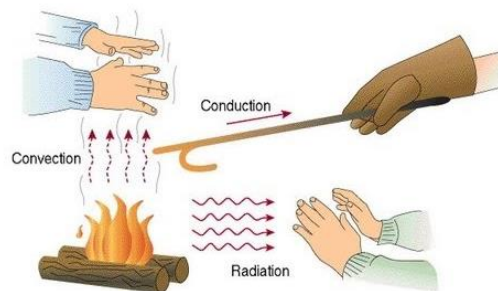


Fuente: <https://goo.gl/Pw74Ep>

2.4. Calor

Según (Espulgas, 2005 pág. 7) es la energía que se transfiere de un cuerpo o sistema a otro, debido a una diferencia de temperatura. Existen 3 mecanismos de transferencia de calor; conducción, convección y radiación.

Figura 21-2. Fuentes de transmisión de calor



Fuente: <https://goo.gl/nnBjKX>

2.4.1. Conducción

Según (Espulgas, 2005 pág. 7) es la transmisión de calor por medio del contacto directo entre los cuerpos, el calor fluye del cuerpo con mayor temperatura a otro que tiene menor temperatura, no existe transferencia de materia.

2.4.2. Convección

Según (Espulgas, 2005 pág. 12) consiste en la transmisión de calor debido al propio movimiento del material, es el más importante para los fluidos. Puede producirse naturalmente debido a diferencia entre las densidades de la sustancia o forzada.

2.4.3. Radiación

Según (Espulgas, 2005 pág. 14) es la energía producida por un cuerpo con una determinada temperatura hacia todas las direcciones, como por ejemplo el calor que emana el sol llega hacia la tierra y demás planetas cercanos por radiación.

2.5. Microcontrolador

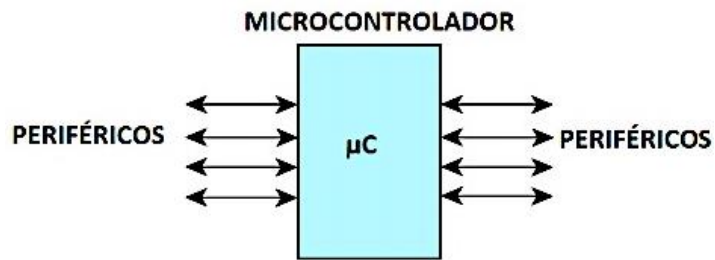
Según (García, 2005 pág. 95) es un circuito integrado que se puede programar y es capaz de ejecutar instrucciones definidas con anterioridad, está compuesto por:

CPU (Unidad Central de Procesamiento): Se encarga de ejecutar las instrucciones previamente definidas por medio de la utilización de datos disponibles para generar datos como resultado, es decir, transforman datos de entrada en datos de salida.

Memoria: Es la parte encargada de almacenar los datos y las instrucciones que se necesitan para facilitar su orden y acceso en el caso que el CPU lo requiera.

Periféricos de entrada/salida: Comunican al microcontrolador con el exterior. En los periféricos de entrada se pueden conectar sensores para recibir datos, y en los periféricos de salida se pueden conectar actuadores.

Figura 22-2. Microcontrolador



Fuente: <https://goo.gl/zhYMQZ>

2.6. Controladores de temperatura

Según (Ogata, 2003 pág. 4) es un instrumento que se utiliza para regular la temperatura, posee una entrada que se conecta a un sensor de temperatura y una salida la cual se conecta a un elemento de control que puede ser un calentador, en caso de que se requiera elevar la temperatura, o un ventilador si se desea enfriar el sistema.

Figura 23-2. Controlador de temperatura Panasonic KT4H



Fuente: <https://goo.gl/Etbby1>

2.6.1. Controladores de temperatura Encendido/Apagado

Según (Maloney, 2006 pág. 394) son los controladores más simples ya que no cuentan con un punto medio, es decir, su salida está encendida o apagada. En este tipo de controlador la salida cambia solamente cuando la temperatura alcanza o supera un valor ajustado. En el caso de un control de calentamiento, la salida se apaga cuando la temperatura supera el valor ajustado y se enciende cuando la temperatura está por debajo del valor ajustado.

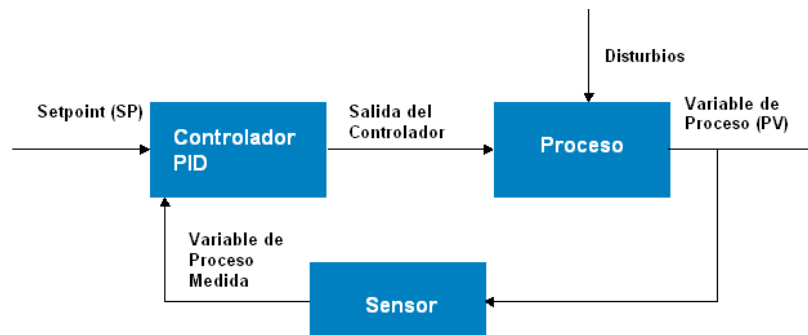
2.6.2. Controladores de temperatura proporcionales

Según (Maloney, 2006 pág. 394) y tienen un regulador proporcional que disminuye la potencia que se le suministra al calentador a medida que la temperatura se aproxima al valor ajustado, de modo que no se sobrepase dicho valor y se mantenga una temperatura estable.

2.6.3. Controladores de temperatura PID

Según (Maloney, 2006 pág. 394) este tipo de controlador combina el control proporcional con dos ajustes adicionales, el integral y derivativo, con lo que se logra compensar los cambios de temperatura del sistema automáticamente. Proporciona el control más estable y preciso de los tres tipos de controladores y se emplea en sistemas que utilizan masas pequeñas o que sufren variaciones a menudo.

Figura 24-2. Esquema Controlador PID



Fuente: <https://goo.gl/zRKJfp>

2.7. Resistencias eléctricas calefactoras

Según (Alcalde, 2014 pág. 54) son dispositivos eléctricos que producen calor, se basan en el Efecto Joule, pueden realizar el calentamiento por conducción, radiación o convección.

Figura 25-2. Resistencia tipo Abrazadera



Fuente: <https://goo.gl/py69y7>

2.8. Termopar

Según (Acedo, 2006 pág. 84) es un sensor que mide la temperatura, está compuesto por 2 metales unidos en un extremo, los cuales al calentarse se calientan o enfrían generan una tensión equivalente a la temperatura, generalmente se encuentran en forma de alambre.

Figura 26-2. Termopares



Fuente: <https://goo.gl/jLVpVE>

Se clasifican de acuerdo a sus aplicaciones, siendo los más comunes los tipos J, T y K, siendo el más popular el tipo K debido a su bajo costo y gran rango de temperaturas.

Según (OMEGA, 2010) el termopar tipo K está formado por un conductor positivo de níquel y cromo así como también un negativo de níquel y aluminio, se puede calibrar a tipo B, C, D, G, R y pueden trabajar hasta una temperatura máxima de 2320 °C.

2.9. Motor eléctrico

Según (Tecnología, 2008) los motores utilizados actualmente constan de muchas bobinas en su rotor y una parte fija llamado estator que consta de un imán grande.

Transforman energía eléctrica en mecánica, su funcionamiento se fundamenta en las fuerzas de atracción y repulsión presentes entre una bobina y un imán por donde circula una corriente eléctrica. Entre sus ventajas están la seguridad de funcionamiento, bajos costos de operación, limpieza y gran variedad de aplicaciones.

2.10. Reductor de Velocidad

Según (Mott, 2006 pág. 267) son sistemas de engranajes que permiten variar la velocidad de un motor según las necesidades, siendo indispensables en la industria actual. El motor se considera el “corazón de la industria” el cual funciona a diferentes velocidades de acuerdo a los requerimientos.

Está compuesto por una corona dentada en cuyo centro se encuentra un eje de acero el cual tiene un contacto con un tornillo sin fin, reduciendo la velocidad de salida ya que una vuelta del tornillo produce el avance de un diente de la corona.

Figura 27-2. Reductor Corona-Sinfín

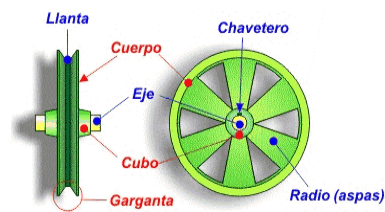


Fuente: <https://goo.gl/gFiv38>

2.11. Polea

Según (Mott, 2006 pág. 268) es un dispositivo diseñado para transmitir una fuerza, consiste en una rueda que tiene un canal en su contorno sobre el cual se coloca una banda y que gira sobre un eje. Se pueden formar “polipastos” que son conjuntos de poleas mediante los cuales se reduce la fuerza requerida para mover un peso.

Figura 28-2. Polea



Fuente: <https://goo.gl/NBPPkx>

2.12. Rodamientos

Según (Mott, 2006 pág. 604) sirven de apoyo para un eje, facilitan su desplazamiento y reducen la fricción con las piezas conectadas a éste, se fabrican de acero para obtener buena resistencia al desgaste.

Figura 29-2. Rodamiento rígido de bolas



Fuente: <https://goo.gl/MQJe3s>

Tipos de rodamientos:

- De bolas
- De bolas a rotula
- De bolas con contacto angular
- Axiales

2.13. Análisis de extrusoras comerciales

Actualmente en el mercado se pueden encontrar varios tipos de extrusoras comerciales, entre las cuales se destacan:

- Filastruder.
- Filabot Original.
- GS – 10 MACH.

Filastruder

Es la versión “Do It Yourself” o “Hágalo usted mismo” de Lyman Filament Struder la cual es comercializada actualmente y su precio es de \$ 299.

Figura 30-2. Filastruder Kit



Fuente: <https://goo.gl/tZk6KX>

Tabla 3-2. Especificaciones Técnicas Filastruder Kit

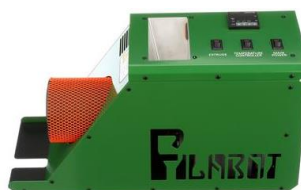
FILASTRUDE Kit		
TASA DE EXTRUSION	hora/kg	5 a 8
	in/min	10 – 36
TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN	°C	260
TAMAÑO	pulgadas	18 x 6 x 4
ENERGIA	VAC	110 – 240
PVP	\$	299,00

Fuente: <https://www.filastruder.com>

Filabot Original

Es la primera extrusora comercial de escritorio al ser lanzada en el 2011, ofrece un equipo adicional para crear pellets en base a residuos de impresión 3D, se puede regular la temperatura de extrusión en la máquina lo que permite mejorar el control del proceso.

Figura 31-2. Filabot Original



Fuente: <https://goo.gl/554p79>

Tabla 4-2. Especificaciones Técnicas Filabot Original

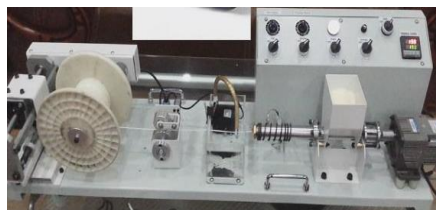
FILABOT ORIGINAL		
TASA DE EXTRUSION	hora/kg	4,41
	in/min	40
TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN	°C	hasta 450
TAMAÑO	pulgadas	18 x 7 x 9
ENERGIA	VAC	110 - 220
PVP	\$	1399,00

Fuente: <https://www.filabot.com>

GS – 10 MACH

Tiene una gran capacidad de producción, su diseño le permite trabajar con material virgen o reciclado, puede fabricar filamento a partir de materiales ABS o PLA.

Figura 32-2. GS – 10 MACH



Fuente: <https://goo.gl/rPJIEc>

Tabla 5-2. Especificaciones Técnicas GS – 10 MACH

GS - 10 MACH		
TASA DE EXTRUSION	hora/kg	1 a 2
TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN	°C	200 - 240
TAMAÑO	milímetros	800 x 600 x 500
VOLTAJE	VAC	220 - 380
PVP	\$	2200,00

Fuente: <https://spanish.alibaba.com>

Para realizar una comparación entre los diseños se considera la siguiente escala de calificaciones:

- Excelente = 4; Buena = 3; Regular = 2; Mala = 1.

Tabla 6-2. Comparación de extrusoras

Parámetros de selección	FILASTRUDER V2.0	FILABOT ORIGINAL	GS – 10 MACH
Tasa de extrusión	1	3	4
Temperatura de Extrusión	2	4	2
Tamaño	4	3	1
Precisión de extrusión	2	3	4
Voltaje	3	3	2
PVP	4	2	1
TOTAL	16	18	14

Fuente: Autores

Mediante la comparación se determinó que la extrusora que ofrece mejores características en comparación a las demás es la Filabot Original ya que se puede regular la temperatura de extrusión, con lo cual se puede obtener una mejor calidad y control del proceso.

2.14. Alternativas de diseño para la máquina extrusora

2.14.1. Diseño vertical

Requiere menos espacio que el horizontal pero no es muy utilizado debido a ciertos inconvenientes en su construcción y posterior funcionamiento como la elevación de la extrusora para lograr enfriar el filamento, y el filamento tiende a alargarse.

CAPÍTULO III

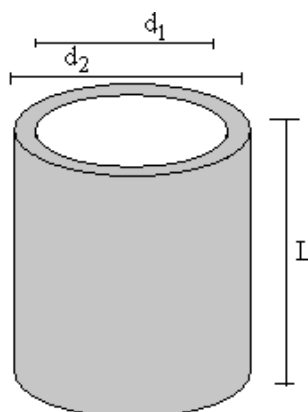
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1. Parámetros de diseño

3.1.1. Dimensiones del Cilindro

En la bibliografía consultada tanto (Groover, 2007 pág. 261) como (Kalpakjian, 2008 pág. 538) coinciden en que el diámetro del cilindro varía entre 25 y 150 mm, por lo que se seleccionó un tubo según el Anexo K proporcionado por la empresa DIPAC.

Figura 1-3. Dimensiones del Cilindro



Fuente: <https://goo.gl/FfuWxH>

Diámetros:

$$\text{Diámetro exterior} = 1\frac{1}{4}'' = 31,75 \text{ mm}$$

$$\text{Diámetro interior} = 28,75 \text{ mm ; espesor} = 1,5 \text{ mm}$$

Para el cálculo del largo del cilindro tanto (Groover, 2007 pág. 261) como (Kalpakjian, 2008 pág. 538) mencionan que la relación L/D está en un rango de 10 a 30, utilizando en nuestro caso la relación 20/1 para efectos de cálculo mediante la ecuación (1).

$$\text{LC: } 20 \times \text{Dintc}$$

(1)

De donde:

- LC = Longitud del cilindro
- Dintc = Diámetro interior del cilindro

$$L = 20 \times \text{Diámetro int.}$$

$$L = 20 (28,75 \text{ mm})$$

$$L = 575 \text{ mm} + 3 \text{ mm (tolerancia)}$$

$$L = 578 \text{ mm}$$

Del cilindro tenemos:

Tabla 1-3. Datos dimensionales del Cilindro

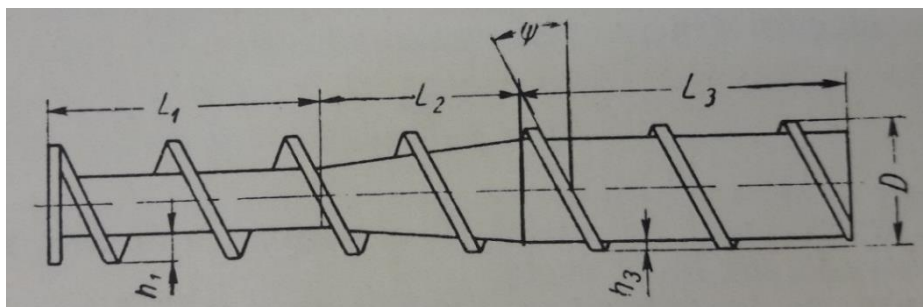
Diámetro exterior(mm)	31,75
Diámetro interior(mm)	28,75
Longitud (mm)	578

Fuente: Autores

3.1.2. Dimensiones del Tornillo Extrusor

Según el tubo seleccionado que tiene un diámetro interno de 28,75 mm, se considera una holgura de 1,05 mm para evitar la fricción entre tornillo y cilindro siendo el diámetro del tornillo de 27,7 mm para realizar el cálculo de las dimensiones del tornillo, se utilizaron las fórmulas de (Savgorodny, 1978 pág. 23).

Figura 2-3. Tornillo de un canal, compuesto por tres zonas



Fuente: (Savgorodny, 1978) pág. 9

3.1.2.1. Longitud de la parte roscada

Se considera una relación L/D de 20/1 para efectos de cálculo según la ecuación (2):

$$\mathbf{Ltorn = 20 \times Dtorn} \quad (2)$$

De donde:

- Ltorn = Longitud del tornillo
- Dtorn = Diámetro del tornillo

$$Ltorn = 20 \times 27,7 \text{ mm}$$

$$Ltorn = 554 + 3 \text{ mm}$$

$$\mathbf{Ltorn = 557 \text{ mm}}$$

El tornillo tiene 3 zonas: alimentación, compresión y dosificación, se utilizan las ecuaciones (3), (4) y (5) según (Savgorodny, 1978 pág. 23) para realizar los cálculos:

$$\mathbf{L1 = Ltorn / 2 \text{ (mm)}} \quad (3)$$

De donde:

- L1 = Longitud de alimentación
- Ltorn = Longitud del tornillo

$$L. Al = 557 \text{ mm} / 2 = 278,5 \text{ mm}$$

$$\mathbf{L2 = Ltorn / 4} \quad (4)$$

De donde:

- L2 = Longitud de compresion
- Ltorn = Longitud del tornillo

$$L.Com = 557 \text{ mm} / 4 = 139,25 \text{ mm}$$

$$\mathbf{L3 = Ltorn / 4} \quad (5)$$

De donde:

- L_3 = Longitud de dosificación
- L_{torn} = Longitud del tornillo

$$L. \text{ Dos} = L / 4 = 557 \text{ mm} / 4 = 139,25 \text{ mm}$$

3.1.2.2. Paso (t)

La ecuación (6) nos permite calcular el paso del tornillo en base al diámetro del mismo.

$$t = (1) \times D_{\text{torn}} \quad (6)$$

De donde:

- t = paso del tornillo
- D_{torn} = Diámetro del tornillo

Se considera un promedio para efectos de cálculo:

$$t = D_{\text{torn}}$$

$$t = 27,7 \text{ mm}$$

3.1.2.3. Anchura de la cresta del filete (e)

Se calcula según la fórmula (7):

$$e = (0,08) \times D_{\text{torn}} \quad (7)$$

De donde:

- e = Anchura de la cresta del filete
- D_{torn} = Diámetro del tornillo

Se considera un promedio para efectos de cálculo:

$$e = 0,08 \times D_{\text{torn}}$$

$$e = 0,08 \times 27,7 \text{ mm}$$

$$e = 2,216 \text{ mm}$$

3.1.2.4. Profundidad del canal helicoidal de la zona de alimentación (h_1)

$$h_1 = (0,14) \times D_{\text{torn}} \quad (8)$$

De donde:

- h_1 = Profundidad del canal helicoidal de la zona de alimentación
- D_{torn} = Diámetro del tornillo

Se considera un promedio para efectos de cálculo:

$$h_1 = 0,14 \times 27,7 \text{ mm}$$

$$h_1 = 3,878 \text{ mm}$$

3.1.2.5. Profundidad del canal helicoidal de la zona de dosificación (h_3)

Para realizar el cálculo (Savgorodny, 1978 pág. 23) considera un grado de compresión, es decir, una relación entre h_1 y h_3 que va desde: 1,5/1 a 5/1, por lo que se considera un grado de compresión de 3,5/1 para efectos de cálculo:

$$h_3 = h_1/3,5 \quad (9)$$

De donde:

- h_3 = Profundidad del canal helicoidal de la zona de dosificación
- h_1 = Profundidad del canal helicoidal de la zona de alimentación

$$h_3 = (3,878/3,5)$$

$$h_3 = 1,108 \text{ mm}$$

3.1.2.6. Ángulo de hélice del canal helicoidal (ψ)

$$\tan \psi = \frac{t}{\pi D_{\text{torn}}} \quad (10)$$

De donde:

- t = Paso del tornillo
- D_{torn} = Diámetro del tornillo

$$\psi = \tan\left(\frac{27,7 \text{ mm}}{(3,1416 * (27,7 \text{ mm}))}\right)^{-1}$$

$$\psi = 17,66^\circ$$

3.1.2.7. Holgura del filete (δ)

$$\delta = (0,025) D_{\text{torn}} \quad (11)$$

De donde:

- δ = Holgura del filete
- D_{torn} = Diámetro del tornillo

Se considera un promedio para efectos de cálculo:

$$\delta = 0,025 D_{\text{torn}}$$

$$\delta = 0,025 \times 27,7 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,6925 \text{ mm}$$

3.1.2.8. Número de filetes (NF)

$$NF = L_{\text{torn}}/D_{\text{torn}} \quad (12)$$

De donde:

- NF = Número de filetes

- Ltorn = Longitud del tornillo
- Dtorn = Diámetro del tornillo

Número de filetes = $557/27,7$

Número de filetes = 20,1

Del tornillo tenemos:

Tabla 2-3. Dimensiones del tornillo

Descripción	Valor	Unidad
Diámetro	27,7	mm
Longitud total	557	mm
Longitud alimentación	278,5	mm
Longitud compresión	139,25	mm
Longitud dosificación	139,25	mm
Paso	27,7	mm
Anchura de la cresta del filete	2,216	mm
Profundidad zona alimentación	3,878	mm
Profundidad zona dosificación	1,108	mm
Ángulo de hélice	17,66	°
Holgura del filete	0,6925	mm
Número de filetes	20	-

Fuente: Autores

3.1.3. Tolva de alimentación

El tamaño de la tolva varía dependiendo de la necesidad de producción, en nuestro caso la máquina extrusora cumplirá funciones de laboratorio por lo que no se necesita una tolva con grandes dimensiones.

3.3.3.1. Alternativas de diseño

a) Tolva de sección circular

Es muy recomendada por proveedores y fabricantes, pero son mucho más difíciles de fabricar y por ende representan un costo mayor que la tolva de sección rectangular, debe

tener un diámetro igual a la garganta del cilindro para que el material se deslice por acción de la gravedad.

b) Tolva de sección rectangular

Tiene un diseño sencillo y práctico, como regla general la garganta de alimentación debe tener un diámetro igual que el husillo y un largo de 2 veces el diámetro del mismo.

c) Selección de la tolva de alimentación

Tabla 3-1. Comparación entre tolva circular y rectangular

Parámetros de comparación	Tolva Circular	Tolva Rectangular
Costo	2	4
Flujo de material	4	3
Aplicaciones	4	4
TOTAL	10	11

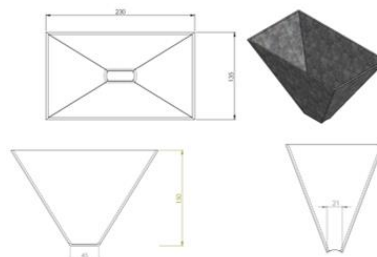
Fuente: Autores

- Excelente = 4; Buena = 3; Regular = 2; Mala = 1.

La tolva de sección circular es muy recomendada pero el costo es elevado debido a la complejidad en su fabricación, la tolva de sección rectangular tiene un diseño más práctico y viable dependiendo del tipo de material a transportar, en nuestro caso utilizaremos pequeños pedazos de plástico triturado por lo que se diseñará la tolva con sección rectangular.

Dimensiones de la tolva

Figura 3-1. Tolva de alimentación



Fuente: Autores

Volumen de un tronco de pirámide (V)

$$V = \frac{h}{3} (A1 + A2 + \sqrt{A1 * A2}) \quad (13)$$

Donde:

- h : Altura
- A1: Área de la parte superior de la tolva
- A2: Área de la parte inferior de la tolva

$$A1 = 13,5 \text{ cm} \times 23 \text{ cm} = 310,5 \text{ cm}^2$$

$$A2 = 4,5 \text{ cm} \times 2,1 \text{ cm} = 9,45 \text{ cm}^2$$

$$V = \left(\frac{15}{3}\right) (310,5 + 9,45 + \sqrt{310,5 * 9,45}) \text{ cm}^3$$

$$V = 1870,59 \text{ cm}^3 = 1,87 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

3.1.4. Caudal volumétrico del tornillo

Se puede calcular la producción del tornillo a en base a tres tipos de flujo:

Flujo directo (α): Es provocado por el giro del tornillo.

Flujo inverso (β): Es aquel que se opone al flujo directo.

Flujo de fugas (γ): Pérdidas de material debido a la holgura entre tornillo – cilindro.

$$Q = \left(\frac{\alpha K}{K + \beta + \gamma} \right) n \quad (14)$$

Donde:

Q = Caudal volumétrico del tornillo

α = Constante de flujo directo

β = Constante de flujo inverso

γ = Constante de fugas

K = Constante total de la forma geométrica de la cabeza perfiladora

n = rpm del husillo

Para efectos de cálculo se trabaja en cm.

3.1.4.1. Constante de flujo directo (α)

$$\alpha = \frac{\pi m D h_1 \left(\frac{t}{m} - e\right) \cos \varphi^2}{2} \quad (15)$$

Donde:

m = Número de canales

D = Diámetro del tornillo

h₁ = Profundidad del canal helicoidal de la zona de alimentación

φ = Ángulo de espiral o hélice

e = Anchura de cresta del filete

t = Paso

$$\alpha = \frac{\pi (1)(2,77 \text{ cm}) (0,3878 \text{ cm}) \left(\frac{2,77 \text{ cm}}{1} - 0,2216\right) \cos(17,66)^2}{2}$$

$$\alpha = 3,9 \text{ cm}^3$$

3.1.4.2. Constante de flujo inverso (β)

$$\beta = \frac{m h^3 \left(\frac{t}{m} - e\right) \sin \varphi \cos \varphi}{12 L} \quad (16)$$

Donde:

m = Número de canales

h = Profundidad del canal helicoidal de la zona de alimentación

φ = Ángulo de espiral o hélice

e = Anchura de cresta del filete

L = Longitud del tornillo

t = Paso

$$\beta = \frac{(1) (0,3878 \text{ cm})^3 \left(\frac{2,77 \text{ cm}}{1} - 0,2216 \text{ cm}\right) \sin(17,66) \cos(17,66)}{12 (55,7 \text{ cm})}$$

$$\beta = 6,43 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

3.1.4.3. Constante de fugas (γ)

$$\gamma = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \tan \varphi}{10 e L} \quad (17)$$

Donde:

D = Diámetro del tornillo

φ = Ángulo de espiral o hélice

e = Anchura de cresta del filete

L = Longitud del tornillo

δ = Holgura del filete

$$\gamma = \frac{\pi^2 (2,77 \text{ cm})^2 (0,06925 \text{ cm})^3 \tan(17,66)}{10 (0,2216 \text{ cm}) (55,7 \text{ cm})}$$

$$\gamma = 6,487 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

3.1.4.4. Coeficiente de la forma geométrica

Según (Savgorodny, 1978 pág. 9), el cabezal se divide en zonas de diferente configuración, estableciendo para cada zona una constante k:

a) *Canal cilíndrico*

$$k1 = \frac{\pi d^4}{128 L} \quad (18)$$

Donde:

k1 = Coeficiente de forma geométrica para un canal cilíndrico

d = Diámetro del canal

L = Longitud del canal

El canal cilíndrico de nuestro cabezal es compuesto por el diámetro del filamento deseado que es de 3 mm con una longitud de 20 mm.

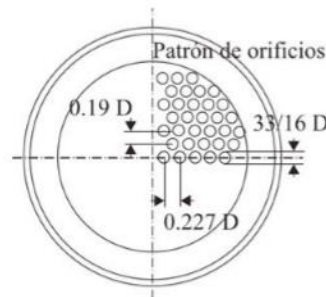
$$k1 = \frac{\pi (0,3 \text{ cm})^4}{128 (2 \text{ cm})}$$

$$k1 = 9,94 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

b) *Placa rompedora*

Se utiliza una placa rompedora ya que mejora la presión del material y su homogenización, según (Marcilla, 2012 pág. 112) mencionan los siguientes parámetros para su diseño:

Figura 4-3. Plato rompedor



Fuente: (Marcilla, 2012)

$$\text{Diámetro agujero} = \frac{3}{16} \times 28,7 \text{ mm} = 5,38 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia entre centros horizontal} = 0,227 \times 28,7 \text{ mm} = 6,51 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia entre centros vertical} = 0,19 \times 28,7 \text{ mm} = 5,45 \text{ mm}$$

Para el cálculo de la constante k_2 para la malla se utiliza la siguiente ecuación:

$$k_2 = \frac{\pi n d_o^4}{128 b} \quad (19)$$

Donde:

k_2 = Coeficiente de forma geométrica para una placa rompedora

n = Número de agujeros

d_o = Diámetro de agujeros

b = Espesor de la placa

Se realizó el diseño con 9 agujeros y con un espesor de la placa de 9 mm.

Reemplazando valores tenemos:

$$k_2 = \frac{\pi 9 (0,538 \text{ cm})^4}{128 (0,9 \text{ cm})}$$

$$k_2 = 0,02 \text{ cm}^3$$

c) *Canal cónico*

$$k_3 = \frac{3\pi d_0^3 d_1^3}{128 L (d_0^2 + d_0 d_1 + d_1^2)} \quad (20)$$

Donde:

k_3 = Coeficiente de forma geométrica para un canal cónico

d_0 = Diámetro de entrada de material = 25,75 mm

d_1 = Diámetro de salida de material = 3 mm

L = Longitud del canal = 10 mm

$$k_3 = \frac{3\pi (2,575 \text{ cm})^3 (0,3 \text{ cm})^3}{128 (0,10 \text{ cm}) ((2,575 \text{ cm})^2 + (2,575 \text{ cm} \times 0,3 \text{ cm}) + (0,3 \text{ cm})^2)}$$

$$k_3 = 0,045 \text{ cm}^3$$

La constante total de la cabeza perfiladora se la puede calcular con la siguiente ecuación:

$$K = \frac{1}{\sum \frac{1}{k_1} + \sum \frac{1}{k_2} + \dots + \sum \frac{1}{k_i}} \quad (21)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{9,94 \times 10^{-5} \text{ cm}^3} + \frac{1}{0,02 \text{ cm}^3} + \frac{1}{0,045 \text{ cm}^3}}$$

$$K = 9,89 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

- *Capacidad de Producción del husillo*

La producción que se espera obtener con la máquina extrusora es de 3 kg/h, por lo que se realizó interpolaciones para determinar las rpm que nos permitan alcanzar la mencionada producción, utilizando la fórmula según (Savgorodny, 1978 pág. 13) del caudal volumétrico del tornillo (Q), luego la multiplicamos por la densidad del plástico PP en kg/cm³ y transformamos las rev/min a rev/hora.

$$\text{Producción} = \left(\frac{\alpha K}{K + \beta + \gamma} \right) n * \text{Densidad del plástico} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right) * \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \right)$$

Tabla 4-3. Producción de la extrusora en base a las rpm

α (cm ³)	β (cm ³)	γ (cm ³)	k (cm ³)	n (rpm)	Q (cm ³ /min)	Densidad PP (kg/cm ³)	Producción de PP (kg/h)
3,9	0,00006043	0,00006487	0,0000989	20	34,408	0,0009	1,858
3,9	0,00006043	0,00006487	0,0000989	25	43,010	0,0009	2,323
3,9	0,00006043	0,00006487	0,0000989	30	51,612	0,0009	2,787
3,9	0,00006043	0,00006487	0,0000989	36	61,934	0,0009	3,344
3,9	0,00006043	0,00006487	0,0000989	40	68,815	0,0009	3,716
3,9	0,00006043	0,00006487	0,0000989	45	77,417	0,0009	4,181
3,9	0,00006043	0,00006487	0,0000989	50	86,019	0,0009	4,645
3,9	0,00006043	0,00006487	0,0000989	54	92,901	0,0009	5,017
3,9	0,00006043	0,00006487	0,0000989	60	103,223	0,0009	5,574
3,9	0,00006043	0,00006487	0,0000989	65	111,825	0,0009	6,039
3,9	0,00006043	0,00006487	0,0000989	75	129,029	0,0009	6,968

Fuente: Autores

En base a los resultados de la tabla 5, se utilizan 36 rpm para obtener una producción de 3,4 kg/h.

3.1.5. Potencia requerida

Según (Savgorodny, 1978 pág. 17) se puede calcular la potencia utilizando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{K^2 N}{\pi D^3} \quad (22)$$

Donde:

n = Número de revoluciones

N = Factor de proporcionalidad = 66,7

D = Diámetro del tornillo

Despejando tenemos:

$$N = \frac{n \pi D^3}{K^2}$$

$$N = \frac{(36,042 \text{ rpm}) \pi (28,7^3 \text{ mm})}{66,7^2}$$

$$N = 601,662 \text{ w}$$

$$N = 0,601662 \text{ Kw} \frac{1,34102 \text{ HP}}{1 \text{ Kw}}$$

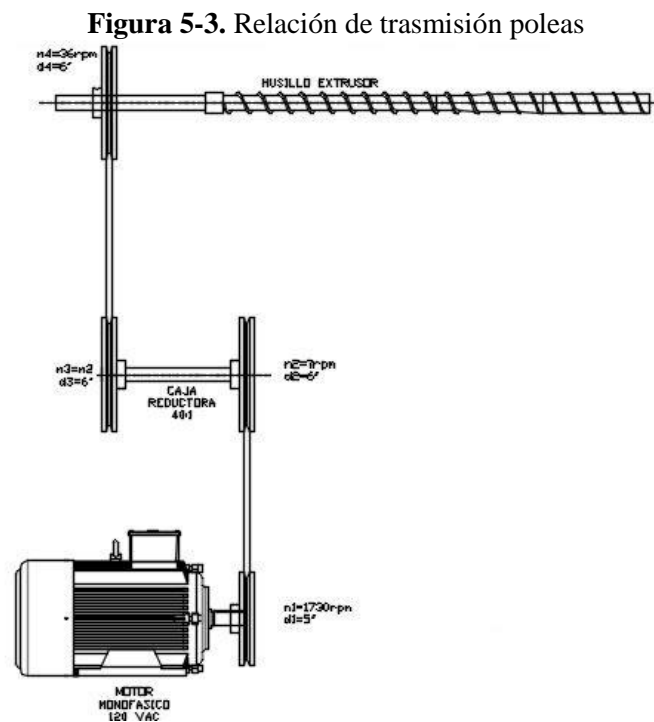
$$N = 0,807 \text{ HP}$$

Se selecciona un motor de 1 HP para trabajar sin inconvenientes.

3.1.6. Cálculo de relación de transmisión

Para poder obtener las 36 revoluciones por minuto (RPM), se realizaron los siguientes cálculos aplicando la fórmula de relación de transmisión:

$$\text{Relacion Transmision} = n1 * d1 = n2 * d2 \quad (23)$$



Fuente: Autores

Donde:

n_1 = Velocidad de giro de la polea 1

d_1 = Diámetro de la polea 1

n_2 = Velocidad de giro de la polea 2

d_2 = Diámetro de la polea 2

$$n_2 = \frac{n_1 * d_1}{d_2}$$

$$n_2 = \frac{(1730 \text{ rpm}) * (5 \text{ ''})}{(6 \text{ ''})}$$

$$n_2 = 1441,67 \text{ rpm}$$

- Reductor de velocidad: 1:40

$$n_3 = \frac{n_2}{40}$$

Donde:

n_2 = Velocidad de giro de la polea 2

n_3 = Velocidad de giro de la polea 3 (salida del reductor de velocidad)

$$n_3 = \frac{(1441,67 \text{ rpm})}{40}$$

$$n_3 = 36,04 \text{ rpm}$$

- Velocidad de giro del husillo

$$n_3 * d_3 = n_4 * d_4$$

Donde:

n_3 = Velocidad de giro de la polea 3

d_3 = Diámetro de la polea 3

n_4 = Velocidad de giro de la polea 4 (Husillo)

d_4 = Diámetro de la polea 4

$$n_4 = \frac{n_3 * d_3}{d_4}$$

$$n_4 = \frac{(36,04 \text{ rpm}) * (6 \text{ ''})}{(6 \text{ ''})}$$

$$n_4 = 36,04 \text{ rpm}$$

Velocidad de giro del husillo = 36,04 rpm

3.1.7. Cálculo de la presión

3.1.7.1 Presión de operación

$$P_{op} = \frac{2 * \pi * \mu * D^2 * n * h_2 * \sin \varphi * \cos \varphi}{\left(\frac{R^4}{2 * h_1}\right) + \left(\frac{D * h_2^3 * \text{sen } \varphi^2}{3 * L}\right)} \quad (24)$$

Donde:

Pop = Presión de operación

D = Diámetro del husillo (m)

n = Número de revoluciones del husillo (rev/s)

μ = Viscosidad efectiva (N/m²)

R = Radio del alma del husillo (m)

h1 = Altura de la zona de alimentación (m)

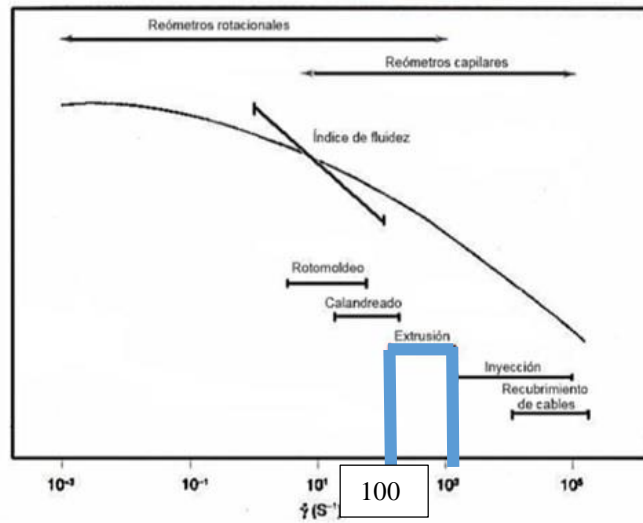
h2 = Altura de la zona de dosificación (m)

L = Longitud del husillo (m)

- *Viscosidad efectiva*

Para hallar la viscosidad efectiva, según (Savgorodny, 1978 pág. 12) se utilizan diagramas en base a la velocidad de cortadura, en la Figura 5-3 se puede observar que la extrusión se opera entre 10^2 y 10^3 s^{-1} por lo que se considera una velocidad de cortadura de 10^2 s^{-1} para efectos de cálculo.

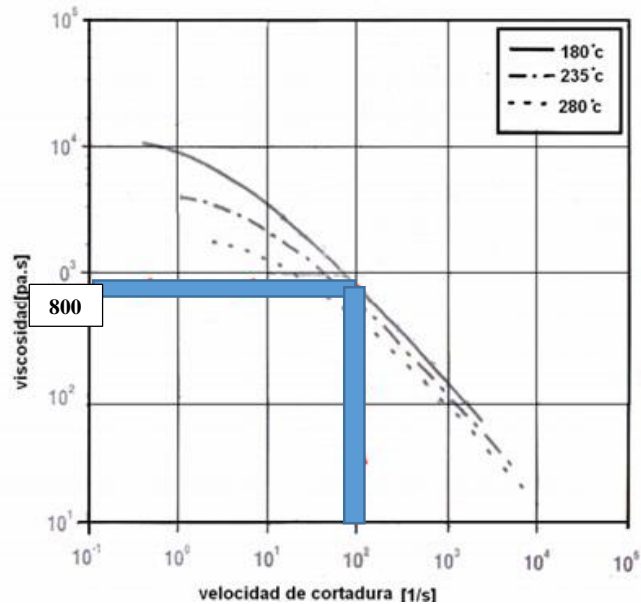
Figura 6-3. Intervalos de velocidad de cortadura



Fuente: Savgorodny 2da Edición.

Para encontrar la viscosidad efectiva trazamos una recta vertical hasta la línea de la temperatura de trabajo del polipropileno que es de aproximadamente 180 °C, luego trazamos una horizontal hacia la izquierda hasta llegar al eje de la viscosidad, en nuestro caso utilizaremos 800 Pa*s para efectos de cálculo.

Figura 7-3. Intervalos de velocidad de cortadura



Fuente: Savgorodny 2da Edición.

$$Pop = \frac{2 * \pi * (800 Pa * s) * (D^2 * n * h2 * \sin \varphi * \cos \varphi)}{\left(\frac{R^4}{2 * h1}\right) + \left(\frac{D * h2^3 * \sin \varphi^2}{3 * L}\right)}$$

$$= \frac{2\pi(800 \text{ Pa}\cdot\text{s}) ((0,0277 \text{ m})^2(0,6007 \frac{\text{rev}}{\text{s}})(0,001108 \text{ m}) \sin(17,66) \cos(17,66))}{\left(\frac{(0,001 \text{ m})^4}{2 * (0,003878 \text{ m})}\right) + \left(\frac{(0,557 \text{ m}) * (0,001108 \text{ m})^3 * \text{sen}(17,66)^2}{3 * (0,557 \text{ m})}\right)}$$

$$P_{op} = 4,36 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

3.1.7.2. Presión máxima

$$P_{\text{máx}} = \frac{6 * \pi * D * L * n * \mu}{h^2 * \tan \varphi} \quad (25)$$

Donde:

$P_{\text{máx}}$ = Presión máxima

D = Diámetro del husillo

L = Longitud del husillo

n = Número de revoluciones del husillo

h = Altura del husillo en la zona de dosificación

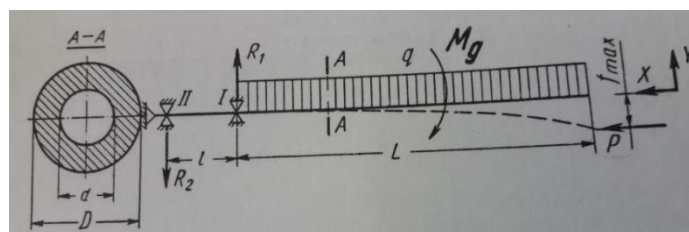
μ = Viscosidad efectiva

$$P_{\text{máx}} = \frac{6 * \pi * (0,0277 \text{ m}) * (0,557 \text{ m}) * (0,6007 \frac{\text{rev}}{\text{s}}) * (800 \text{ Pa}\cdot\text{s})}{(0,001108 \text{ m})^2 * \tan(17,66)}$$

$$P_{\text{máx}} = 357,58 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

3.1.8. Calculo de fuerzas del tornillo

Figura 8-3. Diagrama de fuerzas de un tornillo



Fuente: (Savgorodny, 1978 pág. 24)

Según (Savgorodny, 1978 pág. 24) sobre el husillo actúan la fuerza axial, el momento de giro y la carga ocasionada por el peso del husillo.

3.1.8.1. Momento de giro

El momento de giro o toque se define como la fuerza multiplicada por un brazo de palanca, en nuestro caso utilizamos la fórmula de (Savgorodny, 1978 pág. 24):

$$Mg = 9550 \frac{N}{n} ; (N * m) \quad (26)$$

Donde:

Mg = Momento de giro

N = Potencia del motor

n = Rpm del husillo

$$Mg = 9550 \frac{(0,601662 \text{ Kw})}{(36,043 \frac{rev}{min})}$$

$$Mg = 159,42 \text{ N} * m$$

3.1.8.2. Relación entre los diámetros del husillo

$$u = \frac{da}{Dd} \quad (27)$$

Donde:

u = Relación de diámetros del husillo

da = Diámetro de la zona de alimentación

Dd = Diámetro de la zona de dosificación

$$u = \frac{19,944 \text{ mm}}{25,484 \text{ mm}}$$

$$u = 0,783$$

3.1.8.3. Momento de inercia de la sección transversal A – A.

$$J = \frac{\pi * D^4}{64} (1 - u^4) ; m^4 \quad (28)$$

Donde:

J = Momento de inercia de la sección transversal A - A

D = Diámetro del husillo

u = Relación entre diámetros del husillo

$$J = \frac{\pi * (0,0277 \text{ m})^4}{64} (1 - (0,783)^4)$$

$$J = 1,8037 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

3.1.8.4. Superficie transversal del husillo A - A.

$$F = \frac{\pi * D^2}{4} (1 - u^2); \text{ m}^2 \quad (29)$$

Donde:

F = Superficie transversal del husillo A - A

D = Diámetro del husillo

u = Relación entre diámetros del husillo

$$F = \frac{\pi * (0,0277 \text{ m})^2}{4} (1 - (0,783)^2)$$

$$F = 2,33 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

3.3.8.5. Radio de inercia de la sección

$$Ri = \sqrt{\frac{J}{F}} \quad (30)$$

Donde:

Ri = Radio de inercia de la sección

J = Momento de inercia de la sección transversal A - A.

F = Superficie transversal.

$$Ri = \sqrt{\frac{1,8037 \times 10^{-8} \text{ m}^4}{2,33 \times 10^{-4} \text{ m}^2}}$$

$$Ri = 8,80 \times 10^{-3} \text{ m}$$

3.1.8.6. Esbeltez del husillo

$$\lambda = \frac{\alpha * L}{Ri} \quad (31)$$

Donde:

λ = Esbeltez del husillo

α = Constante = 2

L = Longitud del husillo

Ri = Radio de inercia de la sección

$$\lambda = \frac{2 * (0,557 \text{ m})}{(8,80 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$\lambda = 126,59$$

3.3.8.7. Fuerza axial

$$P = F * p \quad (32)$$

Donde:

P = Fuerza axial

F = Superficie de la sección transversal del husillo.

p = Presión específica del material en la parte delantera del cilindro.

$$P = (2,33 \times 10^{-4} \text{ m}^2) * (357,58 \frac{MN}{\text{m}^2})$$

$$P = 83316,14 \text{ N}$$

3.1.8.8. *Peso del husillo*

Es necesario calcular el peso del husillo ya que ejercerá una fuerza sobre todo su cuerpo y de ese valor se derivan los cálculos de fuerzas. Para efectos de cálculo se divide el husillo en 3 zonas: alimentación, compresión y extrusión.

a) *Zona de alimentación*

- Volumen del husillo en la zona de alimentación

Primero calculamos el área en la zona de alimentación con la siguiente fórmula:

$$Aal = \pi r^2 \quad (33)$$

Donde:

r = Radio del husillo en la zona de alimentación = 0,009972 m.

Aal = Área de la zona de alimentación.

$$Aal = \pi (0,009972 \text{ m})^2$$

$$Aal = 3,124 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Posteriormente calculamos el volumen del husillo en la zona de alimentación con la siguiente fórmula:

$$Val = Aal * Lal \quad (34)$$

Donde:

Aal = Área de la zona de alimentación.

Val = Volumen de la zona de alimentación.

Lal = Longitud de la zona de alimentación = 0,2785 m.

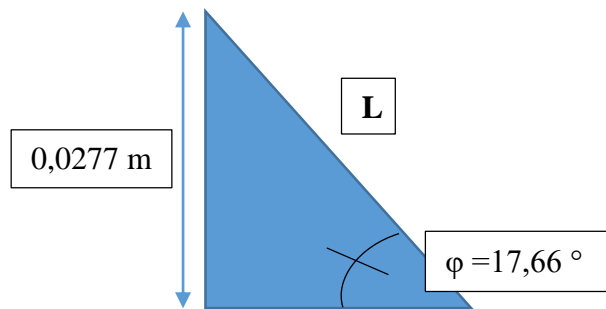
$$Val = (3,124 \times 10^{-4} \text{ m}^2) * (0,2785 \text{ m})$$

$$Val = 8,7 \times 10^{-5} m^3$$

- Volumen de los filetes de la zona de alimentación

En esta zona se considera el filete como un triángulo rectángulo para calcular la longitud y posteriormente multiplicar el valor calculado por el número de filetes de esta zona.

Figura 9-3. Triángulo rectángulo para la zona de alimentación



Fuente: Autores

Trigonométricamente se puede aplicar:

$$\sin \varphi = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Hipotenusa}} \quad (35)$$

Despejando podemos calcular la hipotenusa (**L**):

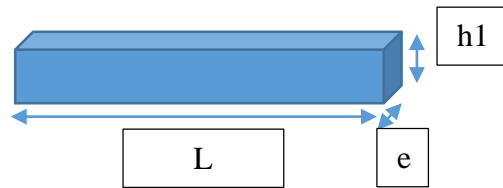
$$L = \text{Hipotenusa} = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\sin \varphi}$$

$$L = \frac{0,0277 m}{\sin(17,66^\circ)}$$

$$L = 0,091 m$$

Posteriormente calculamos el volumen del filete el cual tiene una forma de rectángulo.

Figura 10-3. Rectángulo para la zona de alimentación



Fuente: Autores

$$\text{Volumen de los filetes} = e * h1 * L \quad (36)$$

Donde:

$$e = \text{Ancho del filete} = 2,216 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$h1 = \text{Altura de la zona de alimentación} = 3,878 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$L = \text{Longitud de la zona de alimentación} = 0,091 \text{ m}$$

$$\text{Volumen de los filetes} = (2,216 \times 10^{-3} \text{ m}) * (3,878 \times 10^{-3} \text{ m}) * (0,091 \text{ m})$$

$$\text{Volumen de los filetes} = 7,82 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

Calculamos el número de filetes en la zona de alimentación:

$$\text{Número de filetes} = \frac{Lal}{D} \quad (37)$$

Donde:

$$Lal = \text{Longitud de la zona de alimentación} = 0,2785 \text{ m}$$

$$D = \text{Diámetro del husillo} = 0,0277 \text{ m}$$

$$\text{Número de filetes} = \frac{0,2785 \text{ m}}{0,0277 \text{ m}}$$

$$\text{Número de filetes} = 10,05 = 10 \text{ filetes}$$

Multiplicamos el número de filetes con el volumen para calcular el volumen total de filetes en la zona de alimentación:

$$\text{Volumen total de los filetes} = 10 * (7,82 \times 10^{-7} \text{ m}^3)$$

$$\text{Volumen total de los filetes} = 7,82 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Posteriormente calculamos el volumen total de la zona de alimentación, para ello sumamos el volumen total de los filetes con el volumen de la zona de alimentación:

$$\text{Volumen total de la zona de alimentación} = \text{Val} + \text{Volumen total de los filetes}$$

$$\text{Volumen total de la zona de alimentación} = 7,82 \times 10^{-6} \text{ m}^3 + 8,7 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

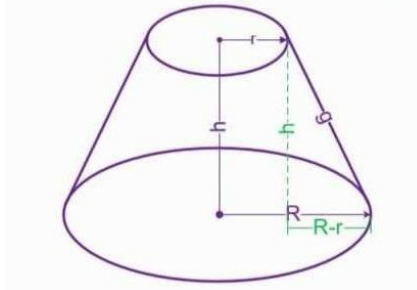
$$\text{Volumen total de la zona de alimentación} = 9,482 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

b) *Zona de compresión*

- Volumen del husillo en la zona de compresión:

Esta zona tiene una forma cónica y para efectos de cálculos utilizamos la fórmula del volumen de un cono trunco.

Figura 11-3. Cono trunco de la zona de compresión



Fuente: <https://goo.gl/Hr1tRB>

$$V_{com} = \frac{1}{3} * \pi * h * (R^2 + r^2 + R * r) \quad (38)$$

Donde:

h = Longitud de la zona de compresión = 0,139 m

R = Radio mayor = 0,0127 m

r = Radio menor = 0,009972 m

Vcom = Volumen de la zona de compresión

$$= \frac{1}{3} * \pi(0,139\text{m})((0,0127 \text{ m})^2 + (0,00997233 \text{ m})^2 + (0,0127 \text{ m} * 0,009972 \text{ m}))$$

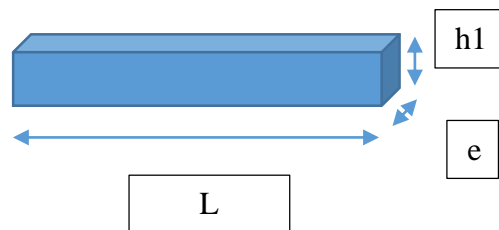
$$V_{com} = 5,64 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

- Volumen de los filetes de la zona de compresión

Al tener una forma cónica, para efectos de cálculos dividimos los filetes en 2 zonas, una rectangular y otra triangular.

Zona rectangular:

Figura 12-3. Rectángulo para la zona de compresión



Fuente: Autores

Tiene el mismo volumen que el calculado en la zona de alimentación:

$$\text{Volumen de los filetes} = 7,82 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

Calculamos el número de filetes para la zona de compresión:

$$\text{Número de filetes} = \frac{0,139 \text{ m}}{0,0277 \text{ m}}$$

$$\text{Número de filetes} = 5,02 = 5$$

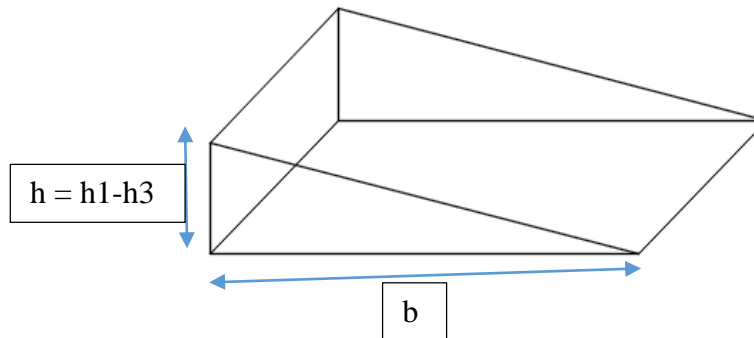
Posteriormente se multiplica el volumen por el número de filetes.

$$\text{Volumen de los filetes de la zona de compresión } r = 5 * 7,82 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de los filetes de la zona de compresión } r = 3,91 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Zona triangular:

Figura 13-3. Triángulo para la zona de compresión.



Fuente: Autores

Se utiliza la fórmula del área de un triángulo:

$$Atzc = \frac{b \times h}{2} = \frac{b \times (h1 - h3)}{2} \quad (39)$$

Donde:

$Atzc$ = Área del triángulo para la zona de compresión

b = Longitud de la zona de compresión = 0,091 m

$h1$ = Altura de la zona de alimentación = 0,003878 m

$h3$ = Altura de la zona de extrusión = 0,001108 m

$$Atzc = \frac{0,091 \text{ m} \times (0,003878 \text{ m} - 0,001108 \text{ m})}{2}$$

$$Atzc = 1,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Para calcular el volumen multiplicamos el área por la base del triángulo.

$$Vtzc = Atzc \times b \quad (40)$$

Donde:

$Vtzc$ = Volumen de la zona de compresión

$$Vtzc = 1,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 0,091 \text{ m}$$

$$Vtzc = 1,1466 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

- Luego se multiplica el volumen por el número de filetes.

Volumen de los filetes de la zona de compresión $t = 5 * 1,1466 \times 10^{-5} m^3$

Volumen de los filetes de la zona de compresión $t = 5,733 \times 10^{-5} m^3 = Vfzct$

- Finalmente sumamos todos los volúmenes de la zona de compresión.

Volumen total de la zona de compresión = $Vcom + Vfzcr + Vfzct$

$$= 5,64 \times 10^{-5} m^3 + 3,91 \times 10^{-6} m^3 + 5,733 \times 10^{-5} m^3$$

Volumen total de la zona de compresión = $1,18 \times 10^{-4} m^3$

c) *Zona de extrusión*

- Volumen del husillo en la zona de extrusión:

- Primero calculamos el área en la zona de compresión con la fórmula (33):

$$A_{ext} = \pi r^2 \quad (33)$$

Donde:

r = Radio del husillo en la zona de extrusión = 0,009972 m

A_{ext} = Área de la zona de extrusión.

$$A_{ext} = \pi (0,009972 m)^2$$

$$A_{ext} = 3,124 \times 10^{-4} m^2$$

- Posteriormente calculamos el volumen del husillo en la zona de alimentación con la fórmula (34):

$$V_{ext} = A_{ext} * L_{ext} \quad (34)$$

Donde:

A_{ext} = Área de la zona de extrusión.

V_{ext} = Volumen de la zona de extrusión.

L_{ext} = Longitud de la zona de extrusión = 0,13925 m.

$$V_{ext} = (3,124 \times 10^{-4} \text{ m}^2) * (0,13925 \text{ m})$$

$$V_{ext} = 4,35 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

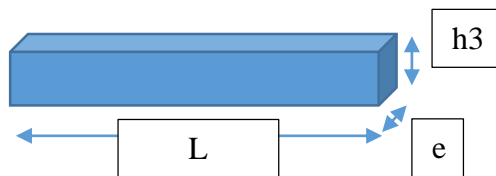
- Volumen de los filetes de la zona de extrusión

La longitud del filete es la misma que la calculada en la zona de alimentación por lo que se tiene:

$$L = 0,091 \text{ m}$$

- Posteriormente calculamos el volumen del filete el cual tiene una forma de rectángulo utilizando la fórmula (35).

Figura 14-2. Rectángulo para la zona de extrusión



Fuente: Autores

$$\text{Volumen de los filetes} = e * h3 * L \quad (36)$$

Donde:

$$e = \text{Ancho del filete} = 2,216 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$h3 = \text{Altura de la zona de extrusión} = 1,1108 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$L = \text{Longitud del filete en la zona de extrusión} = 0,091 \text{ m}$$

$$\text{Volumen de los filetes} = (2,216 \times 10^{-3} \text{ m}) * (1,1108 \times 10^{-3} \text{ m}) * (0,091 \text{ m})$$

$$\text{Volumen de los filetes} = 2,24 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

- Multiplicamos el número de filetes con el volumen para calcular el volumen total de filetes en la zona de extrusión:

$$\text{Volumen total de los filetes} = 5 * (2,24 \times 10^{-7} \text{ m}^3)$$

$$\text{Volumen total de los filetes} = 1,12 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

- Posteriormente calculamos el volumen total de la zona de extrusión, para ello sumamos el volumen total de los filetes con el volumen de la zona de extrusión:

$$\text{Volumen total de la zona de alimentación} = V_{\text{ext}} + \text{Volumen total de los filetes}$$

$$\text{Volumen total de la zona de alimentación} = 4,35 \times 10^{-5} \text{ m}^3 + 1,12 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen total de la zona de alimentación} = 4,462 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

- Calculamos el volumen total del husillo (V_{th}), sumando el volumen total de cada zona.

$$V_{\text{th}} = 9,482 \times 10^{-5} \text{ m}^3 + 1,18 \times 10^{-4} \text{ m}^3 + 4,462 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\text{Volúmen total del husillo} = 2,5744 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

- Para calcular el peso del tornillo utilizamos la fórmula de la densidad del material seleccionado para la fabricación del husillo, siendo un acero AISI 4340 se toma el valor de la densidad de la siguiente tabla:

Tabla 5-3. Propiedades físicas del acero AISI 4340.

Propiedades físicas

Propiedades	Métrico	Imperial
Densidad	7,85 g/cm ³	0,284 lb/pulg. ³
Punto de fusión	1427 °C	2600 °F

Fuente: <https://www.neonickel.com/es/alloys/alloy-steels/4340-alloy-steel/>

Transformamos el valor a kg/cm³:

$$\text{Densidad} = \frac{7,85 \text{ g}}{\text{cm}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{(100 \text{ cm})^3}{1 \text{ m}^3}$$

$$\text{Densidad} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Despejamos la fórmula de la densidad para encontrar la masa del husillo:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (41)$$

Donde:

m = Masa

v = Volumen

ρ = Densidad

Despejando:

$$m = \rho * v$$

$$m = 7850 \frac{kg}{m^3} * 2,5744 x 10^{-4} m^3$$

$$m = 2,021 kg$$

3.3.7.9. Flecha máxima del husillo por las cargas

$$f \text{ máx} = \frac{q * L^4}{8 * E * J} \quad (42)$$

Donde:

f máx = Flecha máxima del husillo por las cargas

q = Masa del husillo = m

L = Longitud del husillo

E = Módulo de elasticidad del material

J = Momento de inercia de la sección transversal

El valor del módulo de elasticidad se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 6-3. Propiedades físicas del acero AISI 4340.

Propiedades mecánicas

Propiedades	Métrico	Imperial
Esfuerzo de tracción	745 MPa	108000 psi
Límite elástico	470 MPa	68200 psi
Módulo de volumen (típico para aceros)	140 GPa	20300 ksi
Módulo de corte (típico para aceros)	80 GPa	11600 ksi
Módulo de elasticidad	190-210 GPa	27557-30458 ksi

Fuente: <https://www.neonickel.com/es/alloys/alloy-steels/4340-alloy-steel/>

$$f_{\text{máx}} = \frac{(2,021 \text{ kg}) * (0,557 \text{ m})^4}{8 * (200 * 10^9 \text{ Pa}) * (1,8037 * 10^{-8} \text{ m}^4)}$$

$$f_{\text{máx}} = 7,76 * 10^{-6} \text{ m} = 0,00776 \text{ mm}$$

Se concluye que el husillo tendrá una deflexión mínima por los esfuerzos aplicados.

3.2. Variables de diseño

- Costo de la máquina

Mediante la capacidad de producción requerida, así como el tipo de material a trabajar, se determinará el costo de la máquina, tomando en cuenta también el tipo de control requerido sobre de la temperatura de extrusión.

- Temperatura de extrusión

Cada tipo de plástico tiene diferente punto de fusión, por lo que la regulación de la temperatura dependerá del tipo de material que vayamos a trabajar, el ABS tiene un punto de fusión que va desde 230 a 260 °C, el PLA tiene un punto de fusión más bajo que va desde 150 a 180 °C y el PP tiene un punto de fusión alrededor de 170 °C.

- Tipo de material del husillo y cilindro

El tipo de material tanto del husillo como del cilindro debe tener buenas propiedades mecánicas y térmicas, gran resistencia al desgaste y corrosión, así como una elevada tenacidad, por lo que se considera la utilización de aceros SAE 4140 o superior debido a que tienen en su composición Cromo y Níquel.

3.3. Diseño de la máquina extrusora

El diseño del equipo de extrusión de filamento se lo realizara mediante el Software SolidWorks 2016 para el dibujo de las piezas, utilizando piezas de la biblioteca virtual de

SolidWorks y realizando el ensamble del mismo, analizando el movimiento del mismo y las fuerzas que intervienen en cada pieza de la máquina.

3.3.1. Modelado CAD

En este ítem se detalla el modelado geométrico de cada una de las partes de nuestro prototipo realizadas en SolidWorks, así como los ensambles y subensambles del conjunto.

Tabla 7-3. Comparación de Materiales

COMPARACION DE MATERIALES			
MATERIALES PARA FABRICACION	Acero Estructural	Aluminio	Bronce Fosforico
Costo	Bajo	Alto	Medio
Maquinabilidad	Media	Alta	Alta
Soldabilidad	Alta	Media	Media
Calidad de Acabado	Media	Media	Alta

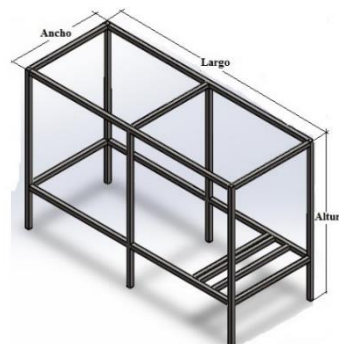
Fuente: Autores

3.3.1.1. Base de Extrusora.

Deberá ser lo suficientemente resistente para soportar los componentes de la máquina. La misma que fue diseñada a partir de tubo de acero estructural cuadrado AISI 1010. La base tiene las siguientes dimensiones:

Largo: 1,5 metros, Ancho: 0,60 metros, Altura: 1 metro y el espesor del tubo es de 2,54cm.

Figura 15-3. Base Extrusora



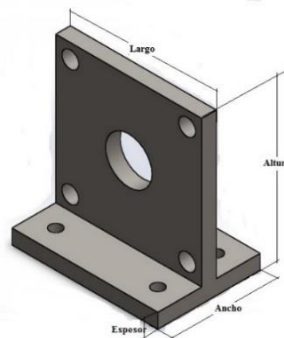
Fuente: Autores

3.3.1.2. Base principal de cilindro.

Se lo realiza en plancha de acero de 10mm de espesor para la sujeción del cilindro que va a contener el husillo de extrusión. Esta parte está constituida de dos placas agujereadas de plancha de acero estructural laminada en caliente SAE 1015, unidas mediante soldadura. Las dimensiones de las placas son:

Espesor 10mm, largo 100mm, ancho 70mm y una altura de 110mm.

Figura 16-3. Base principal de Cilindro



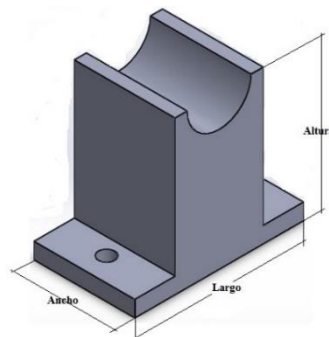
Fuente: Autores

3.3.1.3. Base Apoyo de Cilindro.

Esta parte se la realizará en aluminio, ya que servirá de apoyo y no sufrirá ninguna deformación por parte del cilindro. Las dimensiones son:

Largo: 85mm, Ancho: 50mm y altura: 76mm

Figura 17-3. Base de Apoyo de Cilindro



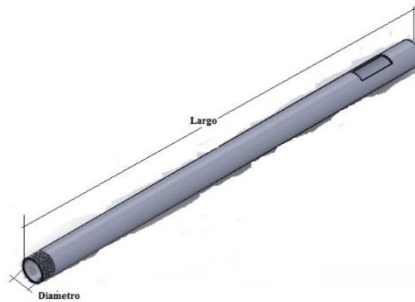
Fuente: Autores

3.3.1.4. Cilindro.

Esta parte estará constituida de un tubo estructural redondo negro INEN 2415 y servirá para contener el husillo de extrusión así como del material a procesar. Las dimensiones son:

Largo: 590mm y Diámetro: 1,25 pulgadas.

Figura 18-3. Cilindro



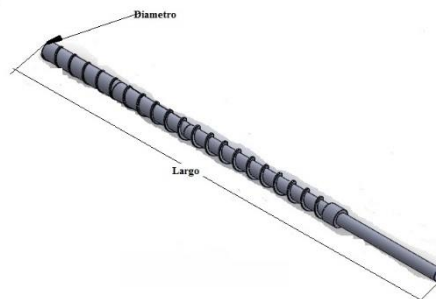
Fuente: Autores

3.3.1.5. Husillo de extrusión.

Este componente será fabricado de acero AISI, estará compuesto de tres zonas principales: zona de alimentación, zona de compresión y zona de dosificación. Las dimensiones son:

Largo: 675mm, Diámetro: 27,7mm

Figura 19-3. Husillo de Extrusión



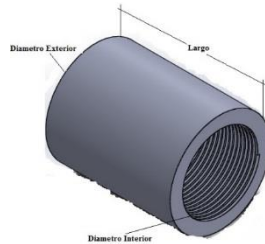
Fuente: Autores

3.3.1.6. Unión de cabezal de extrusión y cilindro.

Esta parte se realizará en acero de transmisión y servirá para unir el cabezal de extrusión y el cilindro. Las dimensiones son:

Largo: 50mm, Diámetro exterior: 40mm y Diámetro interior: 30,25mm

Figura 20-3. Unión de cabezal de Extrusión y cilindro



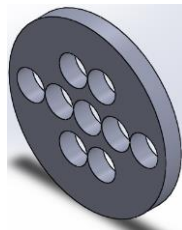
Fuente: Autores

3.3.1.7. Plato rompedor.

Esta parte estará realizada en aluminio y servirá para retener el plástico que no se logre fundir para evitar la obstrucción del cabezal de extrusión. Las dimensiones son:

Diámetro exterior: 30,25mm; Espesor de plato: 7mm; diámetro de agujeros: 5,38mm

Figura 21-3. Plato rompedor



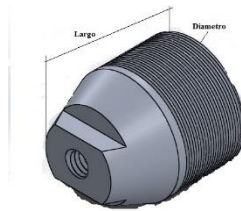
Fuente: Autores

3.3.1.8. Cabezal de extrusión.

Esta parte estará realizada en aluminio y servirá para acoplar el dado extrusor que se podrá desmontar. Las dimensiones son:

Largo 30mm, diámetro 31,75mm

Figura 22-3. Cabezal de Extrusión



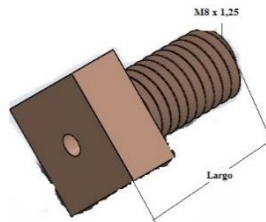
Fuente: Autores

3.3.1.9. Dado extrusor.

Esta parte estará realizada en un eje de bronce fosfórico para poder acoplar o desacoplar del cabezal de extrusión, su función es dar la forma requerida del filamento. Las dimensiones son:

Perno M8 x1, 25; Largo 10mm.

Figura 23-3. Dado Extrusor

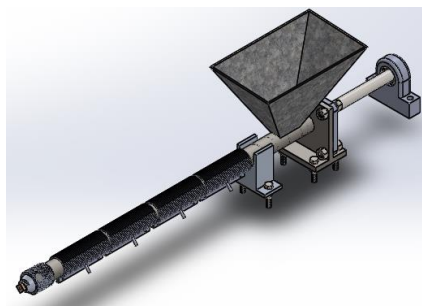


Fuente: Autores

3.3.1.10. Ensamble Conjunto Extrusora.

Se realizará el ensamble de las partes para formar el sistema de extrusión para la formación de los filamentos.

Figura 24-3. Conjunto Extrusora



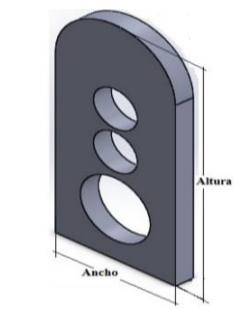
Fuente: Autores

3.3.1.11. Base de Halado frontal.

Esta parte se realizará en MDF mediante corte laser para facilitar la fabricación de partes complejas utilizando tecnologías CNC. La base de halado tendrá una altura de 93mm debido a que los ejes tensores deberán estar alineados con el dado extrusor a una altura de 73mm. Las dimensiones principales son:

Espesor 9mm, Ancho: 70mm

Figura 25-3. Base de Halado frontal



Fuente: Autores

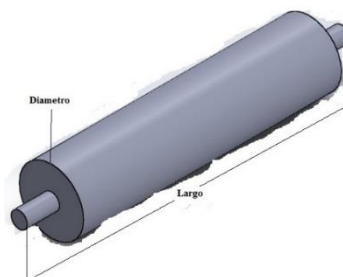
3.3.1.12. Eje Tensor inferior y superior.

El eje tensor inferior se realizará en acero 1045 para evitar deformaciones en el filamento plástico y el eje tensor superior se realiza en aluminio. Las dimensiones para el eje tensor inferior y superior son:

Largo: 100mm y Diámetro: 21mm

Largo: 100mm y diámetro: 19mm

Figura 26-3. Eje Tensor inferior y Eje Tensor Superior



Fuente: Autores

3.3.1.13. Engranajes de motor DC de 9v y ejes para sistema de halado y enrollamiento.

Se realizará en MDF de 6mm de espesor. Para saber que engranaje se va a requerir se realizan los cálculos necesarios para poder elaborar el engranaje para conectar el eje de acero de transmisión con el motor el ensamble de las partes para formar el sistema complementario para la formación de los filamentos.

Tomando en cuenta los datos de diseño de la base de halado posterior:

- Distancia entre centros: 25,5 mm
- Modulo: 1

Cálculos rueda pequeña (motor)

$$z=20$$

$$de = m(z + 2) \quad (42)$$

$$de=1(20+2); de=22\text{mm}$$

$$dp = m(z) \quad (43)$$

$$dp=1(20); dp=20\text{mm}$$

$$df = m(z - 2,5) \quad (44)$$

$$df= 1(20-2,5); df=17,5\text{mm}$$

$$h = 2,25(m) \quad (45)$$

$$\text{Altura del diente: } h= 2,25(1); h=2,25\text{mm}$$

$$pc = \pi(m) \quad (46)$$

$$\text{Paso circular: } \pi(m); Pc=3,14$$

$$B = 10(m) \quad (47)$$

$$\text{Longitud del diente (B): } 10(1); B=10\text{mm}$$

Figura 27-3. Piñon Motor DC 9v



Fuente: Autores

Cálculos rueda grande (Eje);

$$z=31$$

$$de = m(z + 2) \quad (42)$$

$$de=1(31+2); de=33\text{mm}$$

$$dp = m(z) \quad (43)$$

$$dp=1 \times 31; dp=31\text{mm}$$

$$df = m(z - 2,5) \quad (44)$$

$$df= 1(31-2,5); df=29,5\text{mm}$$

$$h = 2,25(m) \quad (45)$$

$$\text{Altura del diente (h): } h= 2,25(1); h=2,25\text{mm}$$

$$pc = \pi(m) \quad (46)$$

$$\text{Paso circular: } \pi(m); Pc=3,14$$

$$B = 10(m) \quad (47)$$

$$\text{Longitud del diente (B): } B=10(1); B=10\text{mm}$$

Figura 28-3. Rueda Eje

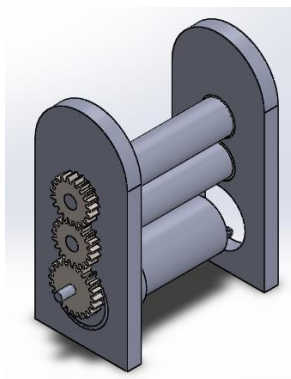


Fuente: Autores

3.3.1.14. Ensamble sistema de halado.

Se realizará el ensamble de las partes para formar el sistema complementario para la formación de los filamentos.

Figura 29-3. Sistema de Halado



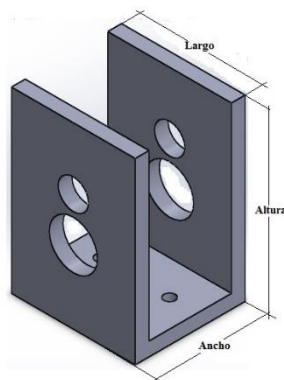
Fuente: Autores

3.3.1.15. Base de Enrollamiento.

Esta parte se realizará en MDF, ya que no soportara mucho peso y servirá para enrollar el filamento de impresión 3D. Esta pieza se la realizara a una distancia de 90mm desde la pared de la maquina hasta el eje de bobinado debido al diámetro de la bobina de enrollamiento. Las dimensiones principales son:

Altura: 130mm, Largo: 80mm, Ancho: 90mm

Figura 30-3. Base de Enrollamiento



Fuente: Autores

3.3.1.16. Eje Bobina.

Esta parte se realizará en un eje roscado de 7/16" y de 170mm de rosca, y 100mm con un diámetro de eje de 8mm para la sujeción con el rodamiento 609zz. Este eje de bobina se lo realiza en un eje roscado para facilitar la sujeción de la bobina.

Figura 31-3. Eje Bobina



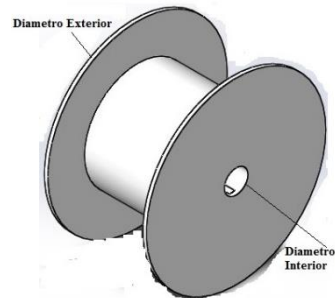
Fuente: Autores

3.3.1.17. Bobina para enrollamiento.

Esta parte se fabricara en MDF para que sea liviano y con un tubo de POLIPROPILENO para unir ambas partes y para el enrollamiento del filamento plástico. Las dimensiones principales son:

Diámetro externo: 180mm; diámetro interno: 7/16”

Figura 32-3. Bobina para Enrollamiento

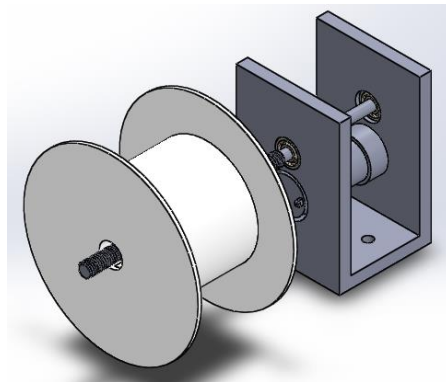


Fuente: Autores

3.3.1.18. Sistema de Enrollamiento.

Esta parte se ensambla para formar el sistema de enrollamiento.

Figura 33-3. Sistema de Enrollamiento



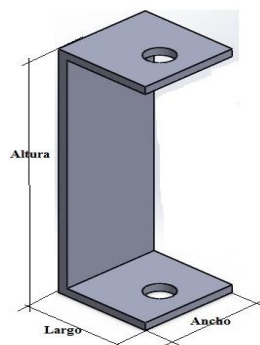
Fuente: Autores

3.3.1.19. Base Tensora.

Esta pieza sirve para tensar el filamento hacia una dirección para que pueda ser bobinado en el sistema de enrollamiento, se necesitan 2 piezas. Las principales medidas son:

Altura: 97mm; Ancho: 30mm; Espesor: 3mm; Profundidad: 30mm

Figura 34-3. Base Tensora



Fuente: Autores

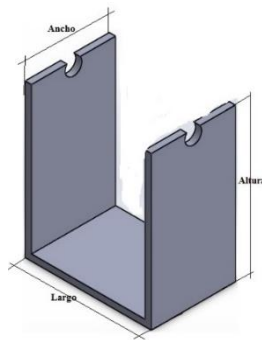
3.3.1.20. Soporte Ayuda del Filamento.

Esta pieza sirve elevar el filamento para que no haya contacto con la base de la extrusora.

Las medidas principales son las siguientes:

Altura: 73mm; Ancho: 60mm; Espesor: 3mm; Profundidad: 40mm

Figura 35-3. Soporte Ayuda del Filamento

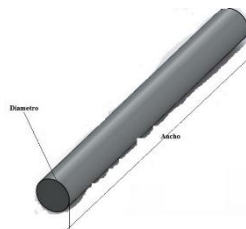


Fuente: Autores

3.3.1.21. Eje de Acero Inoxidable.

Este eje servirá para colocar en el agujero de 8mm, para que el filamento se deslice sobre el eje, se necesitaran 3 ejes. Las dimensiones principales son:
Diámetro: 8mm; Largo: 97mm (2 ejes) y 80mm (1 eje)

Figura 36-3. Eje de Acero Inoxidable

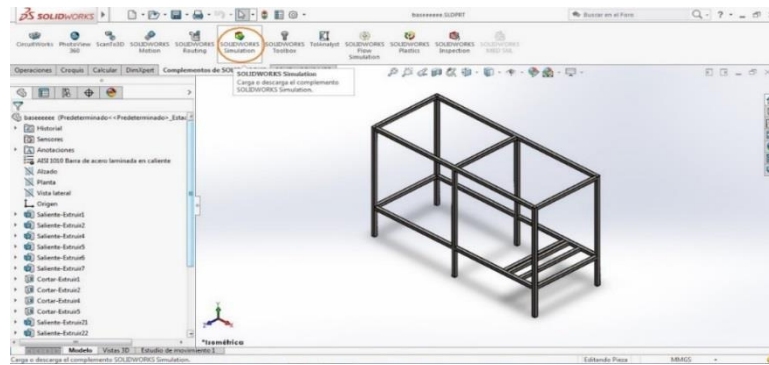


Fuente: Autores

3.3.2. Selección del menú SolidWorks Simulation.

- Se dirige a la pestaña de complementos de SolidWorks, que se ubica en la parte superior de la ventana de SolidWorks.
- Hacer clic en SolidWorks Simulation. Aparecerá otra pestaña de Simulation.
- Seleccione la pestaña de Simulation y aparecerá la opción de asesor de estudio o nuevo estudio. Si SolidWorks Simulation no se encuentra en la lista, necesita instalar SolidWorks Simulation.

Figura 37-3. Configuración SolidWorks Simulation.



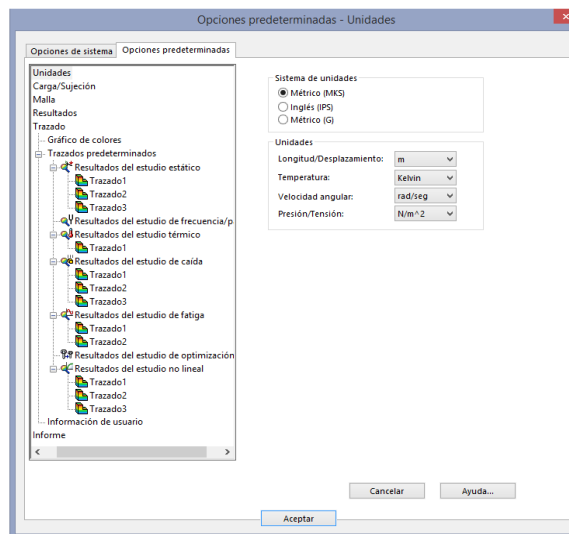
Fuente: Autores

3.3.2.1. Establecimiento de las unidades y parámetros del análisis

Antes de comenzar esta instrucción, estableceremos las diferentes unidades y los diferentes parámetros que necesitamos para continuar con el análisis.

- En la barra de menús, hacer clic en **Simulation** y luego Opciones.
- Hacer clic en la pestaña Opciones predeterminadas.
- Seleccionamos los parámetros como las unidades de masa, longitud, temperatura, velocidad angular y presión/tensión. Todo esto lo seleccionamos en base a nuestras necesidades.
- Una vez definidas las unidades, hacer clic en Aceptar.

Figura 38-3. Establecimiento de las unidades y parámetros del análisis.



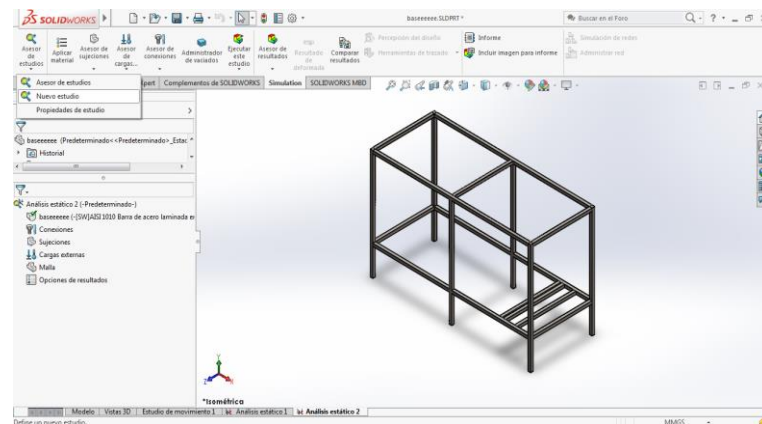
Fuente: Autores

3.3.2.2. Procedimiento de análisis.

Paso 1: Creación de un estudio.

- Haga clic en Asesor de estudio, en el menú principal de SolidWorks en la parte superior de la pantalla.
- Hacer clic en crear nuevo estudio
- En el cuadro de **Estudio** seleccionar, Estudio Estático.
- Haga clic en Aceptar. SolidWorks Simulation crea una secuencia de estudio de Simulation.

Figura 39-3. Creación del estudio.



Fuente: Autores

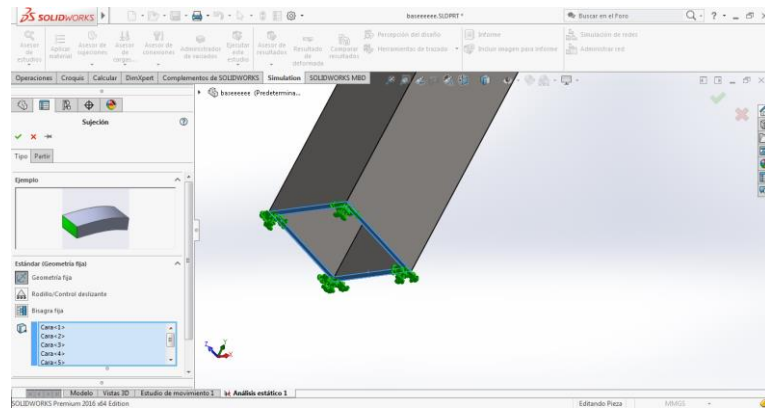
Paso 2: Asignación de materiales.

Como este estudio es para un ensamblaje, los materiales ya están colocados en los diferentes componentes.

Paso 3: Aplicación de sujeciones

- A continuación se ubica en el icono de **Sujeciones** y hacemos clic derecho y seleccionamos **Geometría Fija**.
- Seguidamente seleccionamos todas las caras de la base de la extrusora para hacer referencia que partes permanecerán inmóviles durante el estudio.

Figura 40-3. Selección de caras para geometrías fijas



Fuente: Autores

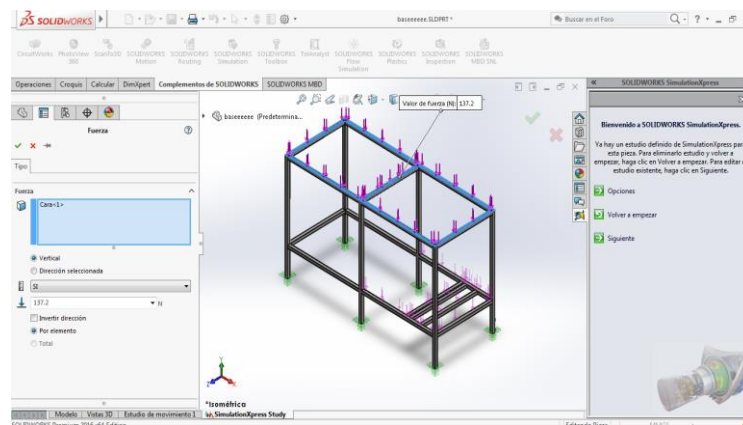
Paso 4: Aplicación de cargas.

Se aplicara una fuerza tomando en cuenta los esfuerzos que realiza la maquina al momento de estar funcionando para lo cual fue diseñada (Extrusión).

- Hacer clic derecho en el icono de **Cargas Externas** y seleccionamos **Fuerza**.
- seleccionamos las caras que están involucradas con la simulación.
- Asegúrese de que está seleccionado Normal como la dirección.
- En el cuadro Valor de fuerza. Agregar el valor de fuerza necesario para el análisis
- Haga clic en el visto verde

Se aplicara una carga total en la parte superior de la base de extrusora de 14 Kilogramos Fuerza (KgF), transformando a newton tenemos que $1\text{KgF} = 9,8\text{ N}$; teniendo una fuerza aplicada de 137,2 N

Figura 41-3. Aplicación de cargas



Fuente: Autores

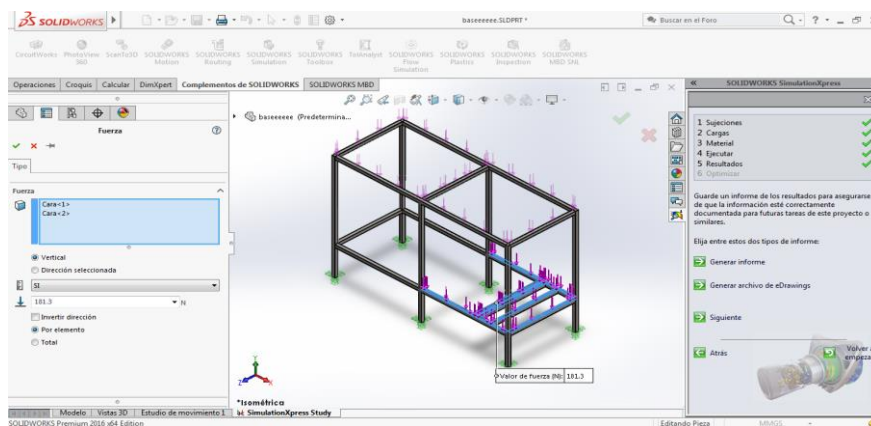
Paso 5: Aplicación de cargas.

Se aplicara una fuerza debido al peso del motor y de la caja reductora.

- Hacer clic derecho en el icono de **Cargas Externas** y seleccionamos **Fuerza**.
- Seleccionamos las caras que están involucradas con la simulación.
- Asegúrese de que está seleccionado Normal como la dirección.
- En el cuadro Valor de fuerza. Agregar el valor de fuerza necesario para el análisis
- Haga clic en el visto verde

Se aplicara una carga total en la parte inferior de la base de extrusora de 15,5 Kilogramos Fuerza (KgF) debido al peso del motor monofásico y el peso de la caja reductora de velocidad de 3 Kilogramos Fuerza (KgF), dando un peso total de 18,5 Kilogramos Fuerza que transformando a newton tenemos que $1\text{KgF} = 9,8\text{ N}$; teniendo una fuerza aplicada total de 181,3 N.

Figura 42-3. Fuerza aplicada debido al peso del motor y la caja reductora



Fuente: Autores

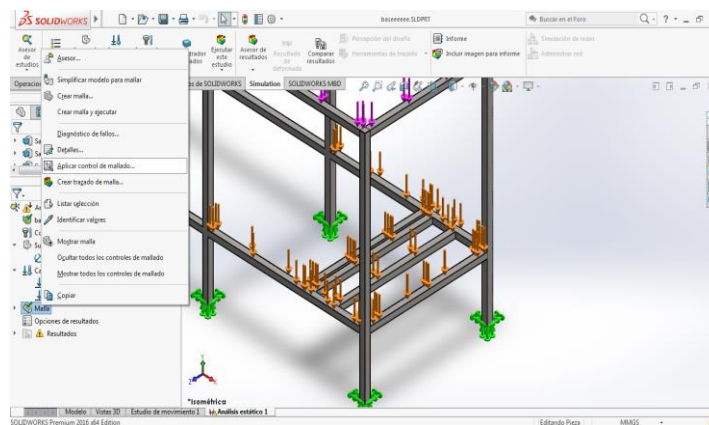
Paso 6: Creación de Mallado para simulación

Una vez aplicadas todas las cargas necesarias para el estudio, crearemos la malla tomando en cuenta que la estructura tiene un espesor de pared por lo que se le aplicara un control de mallado. Se seguirán los siguientes pasos:

- Se dirige a la opción de malla y dar clic derecho y hacer clic en la opción “Aplicar Control de Mallado”

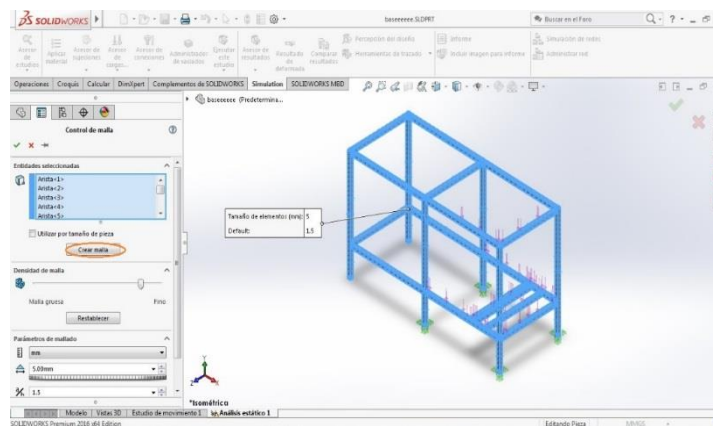
- Luego nos aparecerá una ventana, en donde seleccionaremos todas las aristas del cuerpo a realizar el análisis, le pondremos un tamaño de elementos de 5mm y la densidad de mallado la colocaremos al 70% de más fina.
- Posteriormente se hará clic en “Crear malla “. Este proceso se demorara dependiendo de la memoria del computador y la tarjeta gráfica del mismo.

Figura 43-3. Aplicación de Control de Mallado



Fuente: Autores

Figura 44-3. Control de Mallado

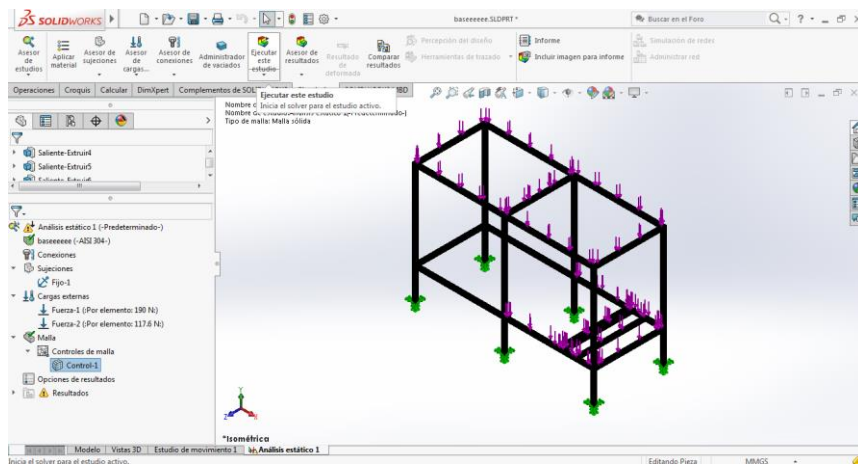


Fuente: Autores

Paso 7: Ejecución del análisis.

En el árbol de estudio de Simulation, haga clic en Ejecutar este estudio para iniciar el análisis. Cuando el análisis termina, SolidWorks Simulation crea automáticamente trazados de resultados predeterminados.

Figura 45-3. Ejecución del Análisis

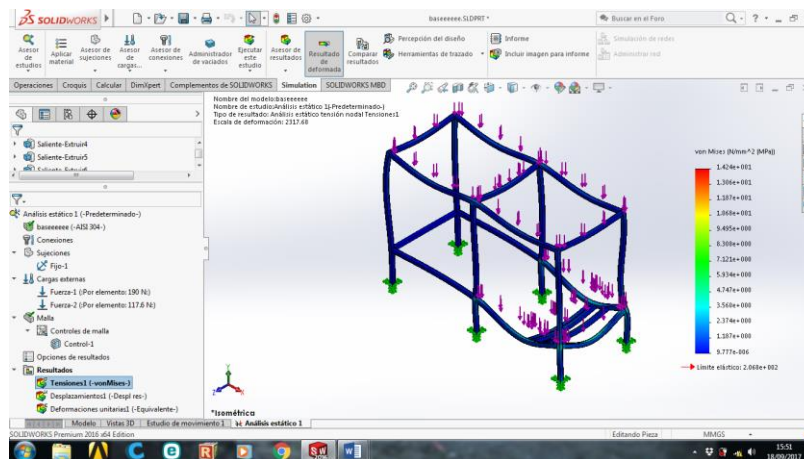


Fuente: Autores

Paso 8: Visualización de los resultados Tensión de von Mises

- Haga clic en el signo “más” situado junto a la carpeta Resultados. Aparecen todos los iconos de los trazados predeterminados
- Haga doble clic en deformación de vonMises para mostrar el trazado de tensiones

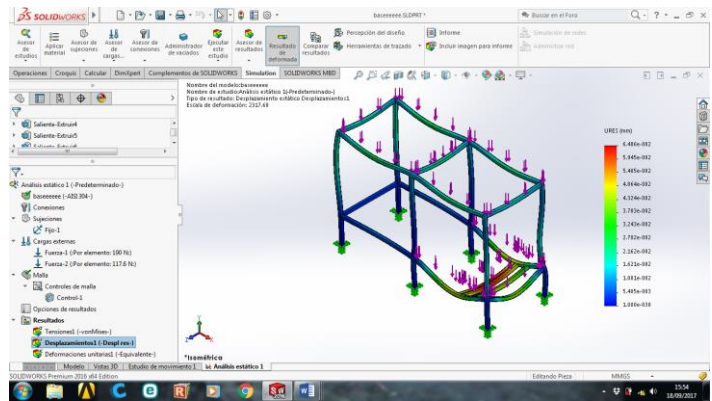
Figura 46-3. Resultados Tensiones Von Mises



Fuente: Autores

Se tiene un resultado de las tensiones de Von Mises como mínimo de 0.000876847N/mm^2 (MPa) y un máximo de 8.50024N/mm^2 (MPa). Por lo que estos resultados son aceptables y no se deformara elásticamente.

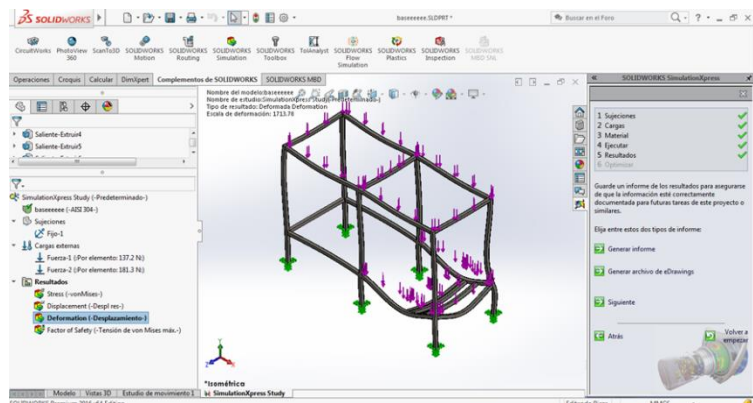
Figura 47-3. Resultados Desplazamiento



Fuente: Autores

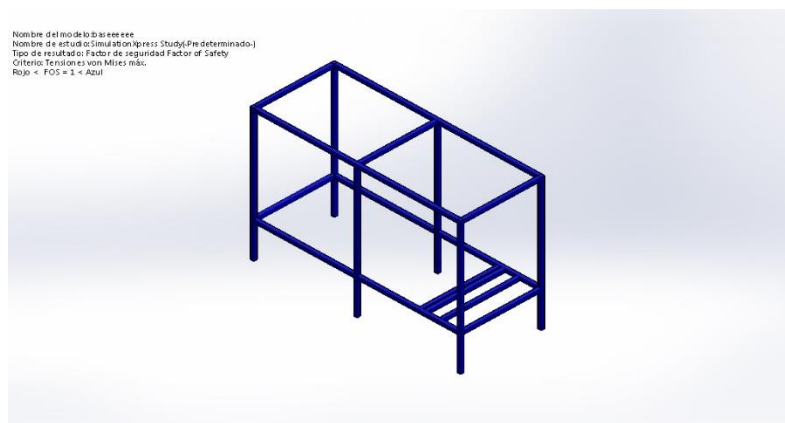
Como resultado del desplazamiento se tiene un mínimo de 0 mm y un máximo de 0.087731 mm. Por lo que la estructura no se tendrá ningún desplazamiento debido al peso de los componentes.

Figura 48-3. Resultados Deformaciones Unitarias



Fuente: Autores

Figura 49-3. Factor de Seguridad



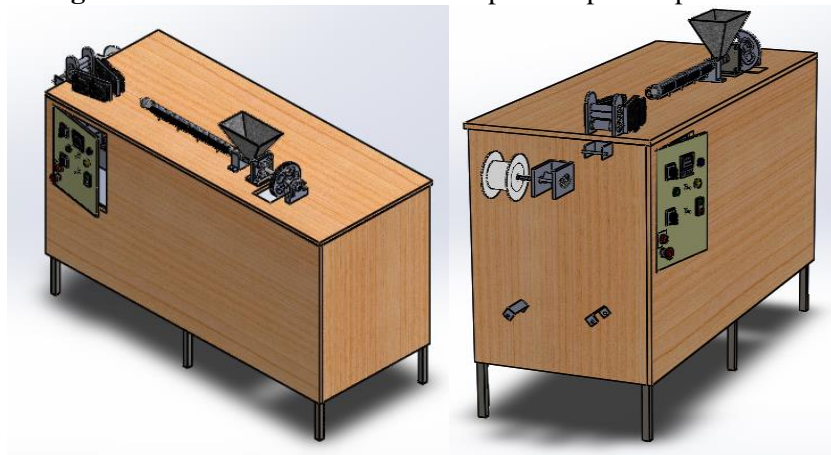
Fuente: Autores

Se tiene que el factor de seguridad es 1 tal que se encuentra entre el rango permisible de 1-20. Lo que significa que la estructura soportara el peso de los componentes de maquina extrusora.

3.3.3. Ensamblaje de Extrusora de filamento plástico para impresión 3D.

Esta parte se ensamblará con las partes realizadas anteriormente para tener el diseño de la extrusora final.

Figura 50-3. Extrusora de Filamento plástico para impresión 3D



Fuente: Autores

3.4. Construcción del equipo

La construcción parte del diseño, adquiriendo los materiales necesarios para la y utilizando diferentes tecnologías, así como maquinas herramientas, soldadura, impresión 3D, entre otras. Se utilizan los diferentes talleres y laboratorios de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, además de realizar diversos procesos fuera de la institución.

3.4.1. Construcción de las partes

Algunas de las partes de la extrusora se fabricaron en aluminio por su ligereza, resistencia a la corrosión, maquinabilidad. En cambio otros componentes se fabricaron en Acero estructural para aumentar la resistencia a la temperatura a la se va a realizar el funcionamiento de la maquinaria.

3.4.1.1. Base Extrusora fabricada

La base de la extrusora se mandó a fabricar en un taller especializado en cerrajería metálica en base al diseño previo en SolidWorks.

Figura 51-3. Base Extrusora fabricada



Fuente: Autores

3.4.1.2. Base Principal Cilindro fabricado

La base se la fabricó de dos placas de acero, la placa principal se le realizó en el torno un agujero del tamaño del cilindro cuyo diámetro era de 37,75mm o 1,25 pulgadas. En cambio en la placa base se le realizó cuatro agujeros para la sujeción de la pieza en la mesa de la extrusora. Posteriormente se soldaron ambas placas de manera perpendicular.

Figura 52-3. Base Principal Cilindro fabricado



Fuente: Autores

3.4.1.3. Base de Apoyo Cilindro fabricada

Esta base se fabricó en la Fresadora Universal del taller de máquinas herramientas de la Facultad de Mecánica, utilizando un bloque de aluminio de aluminio cuyas dimensiones eran: (50x60x60) mm como principal material por su facilidad de maquinabilidad, además se realizaron 2 agujeros para la sujeción a la mesa de la extrusora.

Figura 53-3. Base de Apoyo Cilindro fabricada



Fuente: Autores

3.4.1.4. Cilindro fabricado

Para adecuar este cilindro, se adquirió un tubo de acero estructural negro, se fabricó un dispositivo para eliminar la soldadura interna del tubo para que no haya juegos entre la camisa y el husillo de extrusión. Además se le realizó un corte para unir la Tolva de Alimentación al cilindro y una rosca de paso 1.5mm en el extremo opuesto de la tolva.

Figura 54-3. Cilindro fabricado



Fuente: Autores

3.4.1.5. Tolva de Alimentación fabricada

La tolva la realizaron en un taller especializado para realizar la construcción de manera eficaz, la tolva se la realizó en plancha de acero galvanizado en forma trapezoidal para posteriormente soldar en la ranura del cilindro.

Figura 55-3. Tolva fabricada



Fuente: Autores

3.4.1.6. Husillo de Extrusión fabricado

Este husillo se lo mando a fabricar en un torno capaz de realizar una rosca con un paso de 28mm en el eje de acero de diámetro exterior (28,7 - 0,5) mm y adecuar el eje para las chumaceras para la sujeción del eje.

Figura 56-3. Husillo de Extrusión fabricado



Fuente: Autores

3.4.1.7. Unión de Cabezal de Extrusión y Cilindro fabricado

Esta unión roscada se la realizo en un eje de acero de transmisión y una rosca interna para la unión del cabezal de extrusión y el cilindro.

Figura 57-3. Unión de Cabezal de Extrusión y Cilindro fabricado



Fuente: Autores

3.4.1.8. Plato Rompedor fabricado

Este plato rompedor se lo realizo en un eje de aluminio torneado y agujereado en el taladro de pedestal en varias partes de la circunferencia y a la medida del diámetro interno de la unión del cabezal de extrusión y cilindro.

Figura 58-3. Plato Rompedor fabricado



Fuente: Autores

3.4.1.9. Cabezal de Extrusión fabricado

Este cabezal de extrusión se lo realizo en aluminio en forma cónica, con rosca exterior para acoplarse a la unión con el cilindro. Además de un taladrado interno para dejar una conicidad en el interior para que el plástico fundido fluya mejor dentro del cabezal de extrusión al dado de extrusión.

Figura 59-3. Cabezal de Extrusión fabricado



Fuente: Autores

3.4.1.10. Dado Extrusor fabricado

Este dado extrusor se lo realizo en bronce un perno con rosca M8 x 1,25 y se le realizo una cabeza cuadrada con una lima plana, y un agujero de 2.5mm y 3mm.

Figura 60-3. Dado Extrusor fabricado



Fuente: Autores

3.4.1.11. Base de Halado fabricada

Esta base se la realizo en MDF de 9mm de espesor en una máquina de corte laser. Se necesitaron dos partes de la misma.

Figura 61-3. Base de Halado fabricada

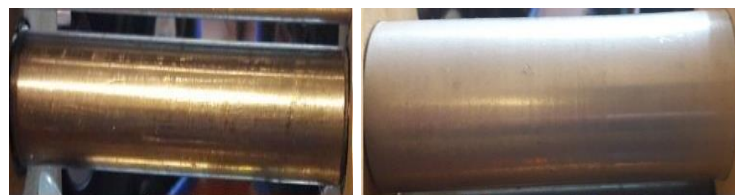


Fuente: Autores

3.4.1.12. Eje Tensor Inferior y Eje Tensor superior fabricados

Este eje tensor inferior se lo realizo, mediante la máquina herramienta torno dejando un diámetro exterior de 20mm y en los extremos dejando un diámetro de 8mm con una distancia de 9mm. El eje tensor superior Este se lo realizo mediante arranque de viruta en el torno, cilindrando a un diámetro de 19mm y en los extremos dejando un diámetro de 8mm con una distancia de 9mm.

Figura 62-3. Eje Tensor Inferior y Eje Tensor Superior fabricados



Fuente: Autores

3.4.1.13. Engranajes para motor DC de 24v y engranajes para eje fabricados

Estos engranajes se los realizo en MDF de 6mm de espesor mediante una máquina de corte laser.

Figura 63-3. Piñón Motor DC de 24v y rueda dentada de ejes tensores fabricados



Fuente: Autores

3.4.1.14. Base de Enrollamiento fabricada

Esta base se la realizo en MDF de 9mm de espesor mediante corte laser de las paredes y luego unirlas, utilizando pegamento.

Figura 64-3. Base de Enrollamiento fabricado



Fuente: Autores

3.4.1.15. Eje bobina fabricado

Este eje se lo realizo en una varilla roscada de 7/16 Pulgadas, cilindrando la varilla en el torno y dejando de un diámetro de 8mm para que se ajuste en los rodamientos.

Figura 65-3. Eje Bobina fabricado



Fuente: Autores

3.4.1.16. Bobina de Enrollamiento fabricada

Esta bobina se la realizo en MDF de 3mm de espesor mediante una cortadora laser, además de utilizar un tubo de PVC de ½ pulgada, refrentado los extremos del tubo en el torno para usarlo como unión de ambas partes de la bobina.

Figura 66-3. Bobina de Enrollamiento fabricada



Fuente: Autores

3.4.1.17. Soporte Ayuda del Filamento fabricado.

Esta pieza se la realizo en impresión 3D en Poliacido Láctico (PLA) y con el apoyo de un eje de acero inoxidable.

Figura 67-3. Soporte Ayuda del Filamento fabricado



Fuente: Autores

3.4.1.18. Base Tensora fabricada

Esta pieza sirve para tensar el filamento hacia una dirección para que pueda ser bobinado en el sistema de enrollamiento, se necesitan 2 piezas y dos ejes de acero inoxidable de 8mm de diámetro y 106mm de largo

Figura 68-3. Base Tensora fabricada



Fuente: Autores

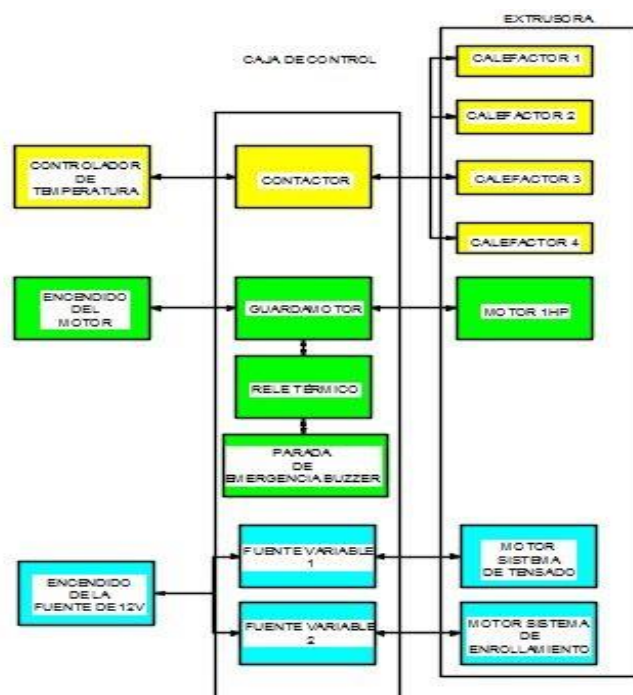
3.5. Sistema de Control

Se realiza el sistema de control para el correcto funcionamiento de la máquina, por tanto se seleccionan los componentes y pruebas de funcionamiento de la extrusora.

3.5.1. Diagrama del sistema

El sistema consta de variados componentes, los componentes principales son el controlador de temperatura, el encendido del motor y encendido de la fuente a 12vdc, estos realizaran las operaciones principales para el buen funcionamiento de la maquina extrusora.

Figura 69-3. Diagrama de Bloques de componentes del sistema



Fuente: Autores

En el diagrama de control se controla la temperatura de la extrusora, el movimiento del motor y las velocidades de los motores de tensión.

3.5.2. Selección del Componentes del sistema

Todos los componentes se seleccionan a partir de las características especificadas para las dimensiones específicas del diseño.

3.5.2.1. Controlador de temperatura

Selección del controlador de temperatura. Para la selección del controlador se tomó consideraciones como:

- Capacidad máxima de temperatura
- Costo del controlador
- Conexiones disponibles para resistencias eléctricas
- Tipos de sensores de temperatura admitidos
- Sistema PID poco variable
- Facilidad de manejo e instalación

En vista de las consideraciones tomadas en cuenta para la selección del controlador de temperatura, se seleccionó un controlador con mejores características a un precio accesible.

Tabla 8-3. Especificaciones básicas Controlador de temperatura TOKY

Consideración	Descripción
Costo	Modelo económico
Control PID	Automático
Sensores	K,J,E,T,PT100,Cu100
Salida	Relé
Precisión	$\pm 0.5\%$ FS

Fuente: <https://goo.gl/UEcfA9>

Figura 70-3. Controlador de temperatura TOKY



Fuente: Autores

3.5.2.2. Contactor

3.5.2.2.1. Parámetros de selección.

En el mercado existe una gran variedad de contactores para conexiones eléctricas, cada contactor posee diferentes particularidades, como las que se mencionan a continuación:

- Voltaje de alimentación: El contactor debe tener una alimentación igual a la domestica para no tener problemas de tensión.
- Corriente admitida: el contactor debe ser capaz de administrar suficiente corriente para el funcionamiento de los componentes.
- Polos: el número de salidas permitidas para los elementos que se posea.

Selección del contactor. Existen varias alternativas en el mercado, donde su precio varía en función del amperaje admitido para el trabajo a desempeñar. Para la selección nos basaremos en los criterios anteriores para acoplarlos a nuestra necesidad.

Tabla 9-3. Particularidades de selección del contactor

Particularidades	MKELE	SIEMENS	LS
Alimentación	220-380 VAC	110-220 VAC	110 VAC
Amperaje	95 ^a	80 ^a	18 ^a
Polos	3	4	4

Fuente: Autores

Figura 71-3. Contactor LS 18^a



Fuente: <https://goo.gl/VM7i7m>

Para el presente trabajo de titulación, se seleccionó el Contactor LS Serie GMC 18 5 HP 4 KW 110V.

3.5.2.3. Relé térmico

Para la selección del relé térmico para evitar excesos de corrientes antes de que se corte la energía por protección del elemento consumidor, se consideran los siguientes parámetros:

- Amperaje
- Tensión de servicio
- Contactos auxiliares

Tabla 10-3. Parámetros de selección de Relé térmico

Parámetro	MKELE	SIEMENS	LS
Amperaje	4 – 80 A	20 – 40 A	16 – 40 A
Tensión de servicio	110 – 360 VAC	110 – 480 VAC	110-690 VAC
Contactos Auxiliares	1NA+1NC	1NA+1NC	1NA+1NC

Fuente: Autor

Se seleccionó el relé térmico LS por mejores características, además por compatibilidad con el contactor LS anteriormente seleccionado.

Figura 72-3. Relé térmico LS MT-32



Fuente: <https://goo.gl/5Xkj5X>

3.5.2.4. Transformador de 110v a 12v

Selección del transformador. Seleccionaremos el transformador de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Corriente suministrada
- Salidas

Tabla 11-3. Parámetros para la selección del transformador

Parámetros	Fuente 110VAC a 12VDC	Transformador 110VAC a 12VDC
Corriente suministrada	10 A	3 A
Salidas	5	2

Fuente: Autores

Se eligió el transformador de 110V a 12V por ser el más económico y suministra la corriente suficiente para alimentar los motores de 12v al utilizar un puente rectificador ya que tanto los motores y ventiladores funcionan con DC.

Figura 73-3. Transformador de 110V a 12V



Fuente: <https://goo.gl/B99PXv>

3.5.2.5. Variador de voltaje DC

Se adquirieron los variadores de voltaje para controlar la velocidad de los motores de los sistemas de tensado y enrollamiento.

Figura 74-3. Variador de voltaje DC



Fuente: <https://goo.gl/fwJYCo>

3.5.2.6. Calefactores tipo abrazadera.

Estos calefactores se los adquirió bajo pedido tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Tensión de alimentación: para nuestro caso el voltaje de alimentación es de 110V
- Dimensiones: fueron diámetro 1, 25 pulgadas y largo de 4 pulgadas.
- Numero de calefactores: fueron 5 calefactores necesarios para nuestro trabajo de titulación.

Figura 75-3. Calefactores tipo abrazadera



Fuente: Autores

3.5.2.7. Elementos de mando y visuales

Se adquirió componentes para activación del sistema de control, como son:

- Selectores de dos posiciones
- Luces pilotos
- Buzzer
- Pulsador de inicio y parada
- Parada de emergencia

Estos componentes se los eligió por la necesidad de activar los diferentes componentes del trabajo de titulación

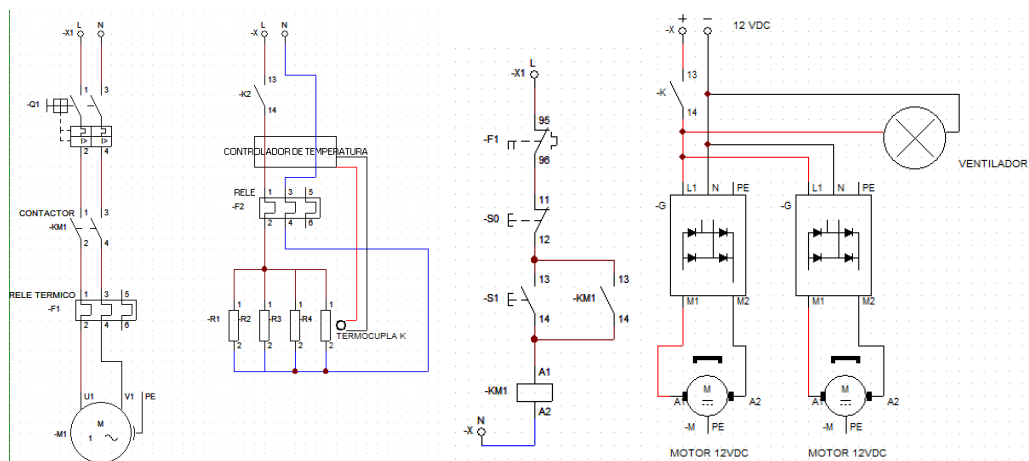
Figura 76-3. Elementos de mando y visualización



Fuente: Autores

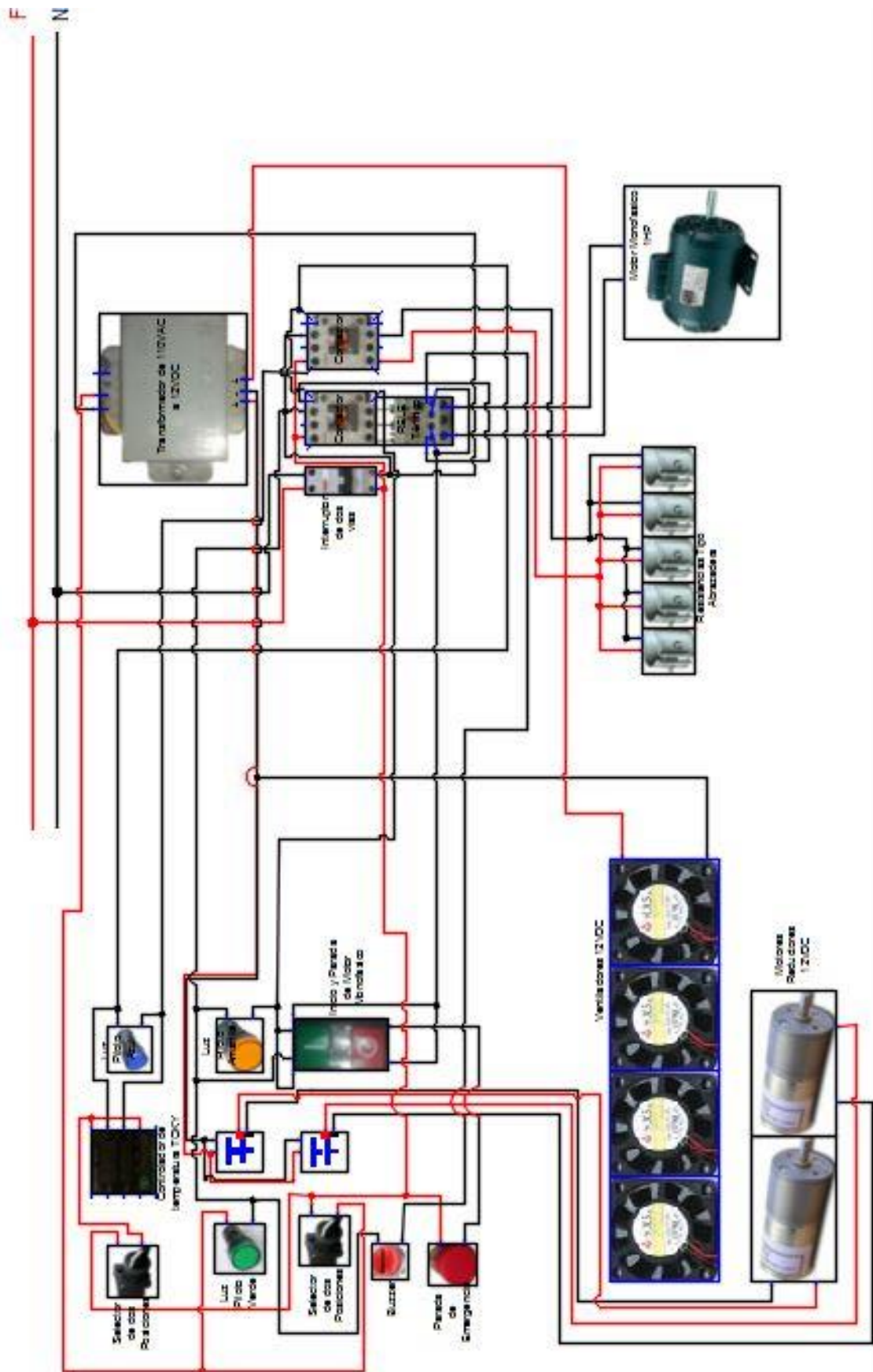
Diagrama de control y mando

Figura 77-3. Diagramas de control y mando de la maquina extrusora de filamento



Fuente: Autores

Figura 78-3. Conexiones eléctricas del sistema de control



Fuente: Autores

3.6. Pruebas y funcionamiento de la máquina extrusora

Para evaluar la maquina extrusora que cumple con las especificaciones planteadas en el diseño. Se realizaron varias pruebas del funcionamiento para comprobar el estado del filamento obtenido, la calibración de la máquina extrusora para evitar errores durante su funcionamiento, se comprobaba que el diámetro del filamento sea el adecuado para la impresora 3D y también se realizará una impresión en 3D para el correcto funcionamiento del filamento de plástico.

Se garantiza que la estructura mecánica de la maquina extrusora sea optima, las pruebas fueron durante el ensamble y unión de los componentes principales.

Mientras se realizaba la base principal, se comprueba que sus partes estén escuadradas y bien soldadas unas con otras para formar la estructura y que sea rígida mostrando resultados favorables.

Luego de completar la base principal de la extrusora, se coloca las planchas de DURAPLAC MELAMINA CEREZO cortadas a medida y sujetadas mediante remaches de aluminio de 5/16".

Posteriormente se ensambla la extrusora en sí junto a la polea de 6", la cual se la coloca en posición definitiva sobre la mesa, luego se fija con 4 pernos de 7/16". Se colocan los calentadores tipo abrazadera a lo largo del cilindro.

Se coloca el motor eléctrico de 1HP con una polea de 5", se fija la caja reductora de 1:40 a la base de la maquina extrusora con poleas de 6" a la entrada y salida del movimiento y se colocan las bandas trapeciales tipo A de 30" y 75".

Se colocan todos los componentes eléctricos y electrónicos en la caja de control para mantener el correcto orden de los instrumentos, se conectan los cables de alimentación al voltaje de 110 domestico, se realizan las respectivas conexiones a los calentadores tipo abrazadera, al motor de 1HP, a los motores de 24VDC tanto del sistema de tensado y el sistema de bobinado.

Para finalizar se hacen la comprobación del movimiento de los motores del sistema, se realiza el calentamiento del cilindro, se coloca el material plástico en pellets dentro de la tolva de alimentación para proceder a extruir el material por una boquilla de 3mm.

Se utiliza una boquilla de 3mm de diámetro para obtener un filamento con el mismo valor, pero debido a que se tensa el filamento con la bobina de enrollamiento el diámetro varía, pero se considera un valor entre 2,8 y 3 mm para que no presente errores en la impresión.

3.6.1. Selección del sistema de enfriamiento

- Agua

El agua se utiliza mucho como sistema de enfriamiento en la extrusión, pero al realizar pruebas de funcionamiento se obtuvieron malos resultados ya que el filamento al entrar en contacto con agua se deformaba, quedando esta alternativa descartada.

Figura 79-3. Resultados de enfriamiento con agua



Fuente: Autores

- Ventiladores

Se realizaron pruebas utilizando inicialmente 2 ventiladores de 12v pero el filamento se pegaba en la bobina, posteriormente se utilizaron 4 ventiladores de 12v con lo que se logró enrollar filamento sin que se pegue.

El sistema de enfriamiento seleccionado está compuesto por 4 ventiladores de 12 v dc marca DC BRUSHLESS SUPER FAN con las siguientes características, el catálogo se puede observar en el **ANEXO P**.

Figura 80-3. Características de ventiladores DC BRUSHLESS SUPER FAN

Model (型号)	Rated Voltage (VDC) (额定电压)	Startup Voltage (VDC) (启动电压)	Current Amp (A) (电流)	Speed (rpm) (转速)	Air Flow (CFM) (风量)	Static Pressure (Inch-H2o) (风压)	Noise Level (dB-A) (噪音)	Weight (g) (重量)
YM0508PHS(B)1	5.00	3.00	0.32	2500	29.17	0.11	28	54.00
YM0508PHS(B)2	5.00	3.00	0.28	2200	26.15	0.10	26	54.00
YM0508PHS(B)3	5.00	3.00	0.16	2000	23.33	0.09	22	54.00
YM1208PHS(B)1	12.00	5.00	0.24	3000	35.00	0.14	33	54.00
YM1208PHS(B)2	12.00	5.00	0.16	2500	29.17	0.11	28	54.00
YM1208PHS(B)3	12.00	5.00	0.08	2000	23.33	0.09	22	54.00
YM2408PHS(B)1	24.00	10.00	0.10	3000	35.00	0.14	33	54.00
YM2408PHS(B)2	24.00	10.00	0.08	2500	29.17	0.11	28	54.00
YM2408PHS(B)3	24.00	10.00	0.06	2000	23.33	0.09	22	54.00

Fuente: https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/General/80mm-fan_spec.JPG

3.6.2. Materia prima utilizada

3.6.2.1. Polietileno de baja densidad (LDPE)

El primer material utilizado para la fabricación de filamento fue el LDPE reciclado, obtenido de un proveedor de Machala – Ecuador. Inicialmente se configura el controlador de temperatura a 200 °C y se coloca la boquilla de 3 mm.

Figura 81-3. Trozos de LDPE utilizados en la extrusora



Fuente: Autores

Con 200 °C el material alcanza una temperatura adecuada para extrusión; pero sale con baja consistencia y de forma irregular, además al llegar a la bobina de enrollamiento éste se queda pegado.

Luego de configurar la máquina con varias temperaturas, se comprobó que el filamento sale con diámetro irregular y al enfriarse es muy rígido por lo que no se puede bobinar.

Figura 82-3. Resultado de la extrusión a 200 °C, filamento irregular



Fuente: Autores

Figura 83-3. Resultado de la extrusión a 180 °C, filamento irregular



Fuente: Autores

En vista de los malos resultados al utilizar este material, no se lo considera para la fabricación de filamento.

3.6.2.2. *Acrilonitrilo, Butadieno, Estireno (ABS)*

Se utilizó ABS reciclado, obtenido de carcasas de impresoras posteriormente trituradas. Inicialmente se configura el controlador de temperatura a 260 °C y se coloca la boquilla de 3 mm.

Figura 84-3. Trozos de ABS utilizados en la extrusora



Fuente: Autores

Con 260 °C el material alcanza una temperatura adecuada para extrusión y sale con diámetro uniforme, pero luego de unos minutos comienza a salir humo por la boquilla y el filamento sale con muy mala consistencia, todo esto debido a que las carcasas de las impresoras están compuestas por distintos plásticos, ABS, LDPE, etc.

Luego de configurar la máquina con varias temperaturas, se comprobó que el filamento inicialmente sale con diámetro regular, pero luego debido a los distintos materiales mezclados no se puede fabricar filamento ya que cada uno tiene una temperatura de extrusión diferente.

Figura 85-3. Resultado de la extrusión a 260 °C, filamento regular pero muy frágil



Fuente: Autores

En vista de los malos resultados al utilizar este material, no se lo considera para la fabricación de filamento.

3.6.2.3. Polipropileno (PP)

Se utilizó PP reciclado, obtenido de botellas de plástico posteriormente trituradas. Inicialmente se configura el controlador de temperatura a 165 °C y se coloca la boquilla de 3 mm.

Figura 86-3. Trozos de PP utilizados en la extrusora



Fuente: Autores

Con 165 °C el material alcanza una temperatura adecuada para extrusión, sale con diámetro uniforme y presenta buena resistencia, además se puede bobinar sin inconvenientes.

Figura 87-3. Resultado de la extrusión a 165 °C, filamento con buena calidad



Fuente: Autores

En vista de los buenos resultados con este material, se lo considera como alternativa para la fabricación de filamento.

3.6.3. En la prueba de Impresión 3D utilizando filamento de polipropileno

Para realizar la impresión en el filamento de Polipropileno se toma en cuenta algunas características para realizar la impresión de una manera correcta:

- En nuestro caso se usada la impresora Modelo Prusa I3.
- La base lisa con una capa de silicona líquida seca.
- La temperatura de la cama base deberá ser la temperatura ambiental.
- La temperatura del extrusor será de 228°C.

Este material plástico tiene un ligero inconveniente durante al adherencia a la base la cual se levanta por las contracciones del polipropileno al enfriarse. Una vez q se realizan las primeras capas se obtiene una impresión bastante buena.

3.7. Análisis de Resultados

A continuación se presentan los resultados de la extrusión utilizando diferentes configuraciones de la máquina extrusora.

3.7.1. Resultados de extrusión utilizando LDPE

Tabla 12-3. Resultados de extrusión de LDPE

PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN	RESULTADOS
48,8 rpm	Filamento con diámetro irregular y no presenta buena consistencia.
Boquilla 3 mm	
200 °C	
48,8 rpm	Filamento muy irregular y demasiado frágil.
Boquilla 3 mm	
210 °C	
48,8 rpm	Filamento con buen aspecto pero diámetro muy fino.
Boquilla 3 mm	
190 °C	
36,042 rpm	Filamento con diámetro por debajo del requerido (1,4 a 1,5 mm).
Boquilla 2 mm	
200 °C	
36,042 rpm	Filamento muy irregular y demasiado pegajoso.
Boquilla 2 mm	
210 °C	
36,042 rpm	Filamento muy fino pero con buen aspecto.
Boquilla 2 mm	
190 °C	

Fuente: Autores

En base a los resultados de las diferentes configuraciones el plástico LDPE no se utiliza como alternativa para fabricación de filamento para la impresora 3D.

3.7.2. Resultados de extrusión utilizando ABS

Tabla 13-3. Resultados de extrusión de ABS

PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN	OBSERVACIONES
48,8 rpm	Filamento uniforme al inicio pero luego sale muy irregular.
Boquilla 3 mm	
260 °C	

Tabla 13-3. (Continua) Resultados de extrusión de ABS

48,8 rpm	Filamento uniforme pero muy frágil inicialmente luego sale deforme.
Boquilla 3 mm	
250 °C	
48,8 rpm	Filamento con diámetro por debajo del requerido (2,5 a 2,6 mm).
Boquilla 3 mm	
230 °C	
36,042 rpm	Filamento con diámetro por debajo del requerido (1,4 a 1,5 mm).
Boquilla 2 mm	
260 °C	
36,042 rpm	Filamento muy frágil.
Boquilla 2 mm	
250 °C	
36,042 rpm	Filamento sale deforme y pegajoso.
Boquilla 2 mm	
230 °C	

Fuente: Autores

En base a los resultados de las diferentes configuraciones el plástico ABS no se utiliza como alternativa para fabricación de filamento para la impresora 3D.

3.7.3. Resultados de extrusión utilizando PP

Tabla 14-3. Resultados de extrusión de PP

PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN	OBSERVACIONES
48,8 rpm	Filamento con diámetro irregular y presenta problemas para bobinar.
Boquilla 3 mm	
190 °C	
48,8 rpm	Filamento regular pero no se enfría lo suficiente antes de bobinar.
Boquilla 3 mm	
180 °C	
48,8 rpm	Filamento con diámetro regular pero no se enfría lo suficiente antes de bobinar, se pega.
Boquilla 3 mm	
165 °C	

Tabla 14-3. (Continua) Resultados de extrusión de PP

36,042 rpm	Filamento con diámetro irregular y por debajo de lo esperado (1,4 y 1,5 mm).
Boquilla 2 mm	
190 °C	
36,042 rpm	Filamento con diámetro regular en ciertos tramos, se bobina correctamente.
Boquilla 2 mm	
180 °C	
36,042 rpm	Filamento con diámetro regular y buen aspecto, se utiliza en impresión 3D.
Boquilla 2 mm	
165 °C	

Fuente: Autores

La temperatura óptima de trabajo para el polipropileno es 165 °C y 36 rpm para obtener filamento de diámetro uniforme que se utiliza en la impresora 3D sin problemas.

En base a los buenos resultados obtenidos, se utiliza el polipropileno como materia prima para fabricar filamento, el ABS y LDPE no se utilizan ya que el filamento extruido presentó irregularidades en su forma haciendo imposible utilizarlo en la impresora 3D.

CAPÍTULO IV

4. ESTUDIO DE COSTOS

En este capítulo se presentan todos los costos de materia prima para la fabricación de todos los componentes de la maquina extrusora, el costo de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos. También se presentan demás costos del proyecto de titulación así como: costos directos e indirectos.

4.1. Costos Directos

A continuación tenemos costos tanto de:

- Materias primas
- Elementos eléctricos
- Elementos mecánicos
- Elementos comerciales

Tabla 1-4. Costos directos de fabricación

COSTOS DIRECTOS				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
Resistencia boquilla diámetro 32mm ancho 4 "	U	4	25	100
Resistencia boquilla diámetro 32mm ancho 2 "	U	1	15	15
Motor monofásico 1hp 1730 rpm	U	1	160	160
Caja reductora 40/1	U	1	90	90
Polea Aluminio PIC- 8"	U	1	9	9
Polea Aluminio PIC- 6"	U	1	5	5
Polea Aluminio PIC- 5"	U	1	6	6
Eje aluminio 3/4 ""	Metros	1,25	19	23,75
Rodamiento 6207	U	1	8	8
Chumacera UCF2	U	2	5	10
Pedazo de plancha 10mm	U	6	3	18
Pedazo de plancha 28mm	U	1	10	10
Juego de brocas BP 25 Piezas	U	1	19	19
Eje acero AISI - SAE 4140 diámetro 32mm	Metros	1	32	32

Tabla 1-4. (Continua) Costos directos de fabricación

Contactador serie gmc 18 A	U	2	20	40
Breaker R/DIN 16A	U	1	5	5
Breaker Riel DIN 25 A	U	1	5	5
Controlador de temperatura Toky, 110-220v	U	1	75	75
Termocupla tipo K Tornillo	U	1	7,5	7,5
Cable flexible #12	Metros	15	1	15
Duraplac Melamina 15mm Cerezo 2C	U	1	75	75
Bordo PVC Cerezo 18mm	U	1	5	5
Piezas impresas con láser	U	5	20	100
Construcción de mesa con tubos de 1 "	U	1	80	80
Tubo de acero de 1 1/4 " de diámetro	M	6	6	36
Construcción de tolva	U	1	50	50
Filamento PLA para impresión de piezas	Kg	1	50	50
Eje de aluminio de 2 1/2 "	U	2	35	70
Remaches	U	30	0,05	1,5
Arandela plana 5/16	U	6	0,11	0,66
Arandela de presión 5/16	U	2	0,02	0,04
Perno G8 5/16	U	2	0,4	0,8
Tuerca acero 5/16	U	3	0,03	0,09
Tuerca acero mm RG 8	U	2	0,04	0,08
Rodelas	U	42	0,05	2,1
Pernos 5/16	U	16	0,15	2,4
Esmalte líquido sintético	U	2	1	2
Motor de plumas IJ - 20	U	1	28	28
Nylon 20 mm 6SA Blanco	Metros	0,5	3	1,5
Varilla MT 7/16	Metros	1	3,5	3,5
Tuerca 7/16	U	2	0,03	0,06
Arandela plana 7/16	U	2	0,09	0,18
Banda A-79 MITSUBOSHI	U	1	5	5
Banda A-30 MITSUBOSHI	U	1	3	3
Prisionero 3/8 x 1 "	U	4	0,25	1
Perno G8 5/16 x 1 "	U	10	0,2	2
Mecanizado de tornillo	U	1	120	120
Luz Piloto 22mm amarillo 220v	U	1	1,5	1,5
Luz Piloto 22mm verde 220v	U	1	1,5	1,5
Luz Piloto 22mm azul 220v	U	1	1,5	1,5

Tabla 1-4. (Continua) Costos directos de fabricación

Zumbador 22mm Intemperie C/LED	U	1	1,5	1,5
Pulsador 22mm marcha-paro	U	1	4,5	4,5
Selector 2 tipos 22mm Metálico	U	2	2	4
Gabinete modular 40x30x20	U	1	25	25
Conductor CU Flexible #18	Metros	20	0,15	3
Pulsador 40M T/Hong Gir C/Ret	U	1	2,5	2,5
Relé térmico 16-22A MT32/3K	U	1	25	25
Enchufe Polarizado 110v plástico	U	1	2	2
Canaleta ranurada 25x25mm	U	1	4,5	4,5
Conductor CU Concéntrico	U	6	1,2	7,2
Cable de asbesto #14	Metros	2,5	10	25
Fuente reguladora de voltaje	U	1	23	23
Transformador 110 - 12v	U	1	12	12
Ventilador 12v	U	4	3,5	14
Motor 24v dc	U	2	80	160
			TOTAL	1610,86

Fuente: Autores

4.2. Costos Indirectos

En la Tabla 4-2 se muestran los costos indirectos durante la realización del trabajo de titulación.

Tabla 2-4. Costos indirectos de fabricación

COSTOS INDIRECTOS	
DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
Transporte	100
Alimentación	100
Imprevistos	200

TOTAL 400

Fuente: Autores

4.3. Costos Totales

Dado que los costos directos son \$1610,86 y los costos indirectos son \$400 tenemos un costo total del trabajo de titulación de:

$$\text{COSTO TOTAL} = \text{C. D.} + \text{C. I.}$$

$$\text{COSTO TOTAL} = \$ 1610,86 + \$ 400$$

$$\text{COSTO TOTAL} = \$ 2010,86$$

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se analizaron los componentes necesarios para el correcto funcionamiento de la extrusora y el diseño dio como resultados: diámetro del husillo 0,0277 m, longitud del husillo 0,557 m, número de filetes del husillo 20, potencia requerida 1 HP, revoluciones del husillo 36 rpm para obtener una producción de 3,3 kg/h de filamento de 3 mm de diámetro utilizando tapas de botellas trituradas como materia prima con una temperatura óptima de trabajo de 165 °C.
- Se determinó que el diseño horizontal es el más idóneo ya que presenta ventajas frente al diseño vertical como: se elimina el estiramiento debido al peso del filamento y la gravedad, la distancia hacia la zona de enfriamiento aumenta, el motor ya no se encuentra en la parte superior de la extrusora y la colocación de la tolva es más sencilla, siendo el dimensionamiento del equipo de 1 m de alto, 0,60 m de ancho y 1,5 m de largo.
- Se fabricó la maquina extrusora de filamento plástico para impresora 3D a partir del diseño realizado en SolidWorks utilizando el taller de máquinas herramientas de la Facultad de Mecánica para fabricar los componentes y soportes para posteriormente realizar la conexión eléctrica., el material utilizado para el husillo es acero AISI 4340 por su elevada resistencia a temperatura y corrosión, para la boquilla de extrusión se utilizó bronce por su fino acabado, el sistema de enfriamiento está compuesto por 4 ventiladores ya que al utilizar agua el filamento se deforma.
- Se logró extruir filamento plástico de 3 mm de diámetro, utilizando Polipropileno (PP) obtenido mediante la trituración de tapas de botellas; se debe configurar la máquina en un rango de 165 a 175 °C para que el filamento salga sin problemas, una temperatura mayor o inferior a la mencionada provoca problemas en la extrusión: a

150 °C presenta dificultades para extruir y a 190 °C el filamento sale demasiado pegajoso como para poder enrollarse en la bobina sin pegarse.

5.2. Recomendaciones

- No encender el motor de la extrusora antes de que se haya precalentado, se debe esperar un tiempo entre 45 y 60 min luego de encender los calentadores. Un arranque en frío puede provocar un accidente debido a que se puede encontrar material solidificado dentro del cilindro lo cual impide el giro del husillo.
- En caso de algún percance se debe pulsar la parada de emergencia de color rojo situada en el panel de control lo que apagará inmediatamente el motor de la extrusora.
- Para complementar el trabajo es necesario realizar el diseño y fabricación de una trituradora de tapas de botellas.
- Trabajar la máquina con material PP, es decir, con tapas de botellas trituradas para lograr un buen funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

ACEDO, José. *Instrumentación y control avanzado de procesos.* Madrid: Díaz de Santos, 2006. pp. 84.

ALCALDE, Pablo. *Electrotecnia.* Madrid: Paraninfo S.A., 2014. pp. 54.

BERRAL, Isidoro. *Equipos microinformáticos.* Madrid: Paraninfo, 2016. pp. 220.

Deport_T, Super. 2011. Reductores de velocidad. [en línea] 1 de Noviembre de 2011. [Consulta: 15 de Mayo de 2017.] Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/71101248/REDUCTORES-DE-VELOCIDAD>.

ESPULGAS, Santiago. *Fundamentos de transmisión de calor.* Barcelona: Universidad de Barcelona, 2005. pp. 7-14.

GARCÍA, Andrés. *El control automático en la industria.* Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla - La Mancha, 2005. pp. 95.

GARDNER, Edwin. *Cuadernos de Diseño 4.* Madrid: IED, 2014. pp. 90.

GROOVER, Mikell. *Fundamentos de Manufactura Moderna.* México: McGraw-Hill, 2007. pp. 74-298.

KALPAKJIAN, Serope. *Manufactura, ingeniería y tecnología.* México: Pearson Educación, 2008. pp. 191-584.

MALONEY, Timothy. *Electrónica industrial moderna.* México: Pearson Educación, 2006. pp. 394.

MARCILLA, Antonio. *Tecnología de Polímeros.* Alicante: Universidad de Alicante, 2012. pp. 107-117.

MELGAREJO, Luz. *Oferta y potencialidades de un banco de germoplasma del género theobroma.* Bogotá: Scripto Ltda., 2006. pp. 196.

MOTT, Robert. . *Diseño de elementos de máquinas.* México: Pearson Educación S.A., 2006. pp. 267, 268, 604.

OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de control moderna.* Madrid: Pearson Educación S.A., 2003. pp. 4.

OMEGA. 2010. Termopares. [en línea] 13 de Octubre de 2010. [Consulta: 15 de Mayo de 2017.] Disponible en: <http://es.omega.com/prodinfo/termopares.html>.

SAVGORODNY, V. K. *Transformación de plásticos.* Barcelona: Gustavo Gili, S.A., 1978. pp. 9-24.

TECNOLOGIA. AREA TECNOLOGIA. [en línea] 12 de Febrero de 2008. [Consulta: 15 de Mayo de 2017.] Disponible en: <http://www.areatecnologia.com/EL%20MOTOR%20ELECTRICO.htm>.

ZANAZZI, Elena. Rodamientos presentacion. [en línea] 23 de Octubre de 2008. [Consulta: 15 de Mayo de 2017.] Disponible en: <https://es.slideshare.net/carolinazanazzi/rodamientos-presentation>.

ANEXOS