

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Investigación

Diseño de extrusora para la fabricación de filamento a base de polímeros termoplásticos utilizados en el Fab Lab de la Universidad Continental Arequipa-2020

Olger Jeyson Cutipa Mamani
Edgar Arian Rodríguez Flores

Para optar el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Mecánica

Arequipa, 2020

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento especial a mis padres Claudio Cutipa y Marcosa Mamani por creer en mí, a la Universidad Continental por haber instruido estos 5 años, al ingeniero Roberto Quise por guiarnos en el proyecto de tesis y a mi compañero de estudio Edgar Rodriguez por realizar esto en equipo ya que sin ellos no hubiera logrado todo esto.

Olger J. Cutipa Mamani

Agradecimiento a la Universidad Continental por brindarnos la oportunidad de expandir nuestros horizontes y adquirir nuevos conocimientos, a los docentes que nos guían con su experiencia, sus consejos y enseñanzas, un agradecimiento especial a al ingeniero Roberto Quise por su guía y consejos en la elaboración de presente proyecto de tesis y a mi compañero Olger Cutipa Mamani por su dedicación y perseverancia en la elaboración de este proyecto de tesis.

Edgar A. Rodriguez Flores

DEDICATORIA

A mi padre Edgar A. Rodríguez Enríquez por todos estos años de enseñanza y conocimientos que me transmitió, por su apoyo constante y dedicación, por siempre estar cuando lo necesito y creer en todas mis metas y sueños.

Edgar A. Rodríguez Flores

A mi madre Edith A. Flores de Rodríguez, por siempre estar pendiente de mí y cuidarme cuando lo necesité, por formarme con buenos principios, valores y respetos, aconsejarme cuando lo necesito y siempre velar por mí para ser una persona de bien

Edgar A. Rodríguez Flores

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por guiarme por el buen camino, a mis padres quienes me apoyaron desde que inicie esta carrera profesional apoyándome económicamente y moralmente ya que sin ellos no hubiera logrado todo esto y a las personas que estuvieron conmigo todo este tiempo.

Olger J. Cutipa Mamani

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUCCIÓN	ix
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1 Planteamiento del problema	1
1.1.2 Formulación del problema.....	5
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivo General	5
1.2.2 Objetivos Específicos	5
1.3 Justificación e importancia.....	6
1.3.1 Justificación Práctica	6
1.3.2 justificación Teórica	6
1.3.3 justificación Metodológica.....	6
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes del problema.....	8
2.1.1 Antecedentes internacionales	8
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	11
2.2 Bases teóricas.....	12
2.2.1 Conformado de polímeros	12
2.2.2 Extrusora de Husillo	15
2.2.3 Componentes de la extrusora de husillo	16
2.2.4 Materiales de la máquina	41
2.2.5 Polímeros	44
2.2.6 Máquina trituradora de plástico.....	52
2.2.7 Componentes de la máquina trituradora	52
2.3 Definición de términos básicos	53
CAPÍTULO III METODOLOGÍA	54
3.1 Tipo de investigación.....	54
3.2 Nivel de investigación	54

3.3	Metodología aplicada para el desarrollo de la solución	55
3.3.1	Lista de exigencias	56
3.3.2	Estructura de funciones	56
3.3.3	Matriz morfológica.....	57
3.3.4	Evaluación técnica - económica.....	58
3.3.5	Análisis de la solución	58
CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.....		59
4.1	Estado del arte	59
4.2	Identificación de requerimientos.....	61
4.2.1	Lista de deseos y exigencias.....	61
4.2.2	Estructura de funciones	62
4.2.3	Matriz Morfológica	65
4.2.4	Concepto de soluciones	66
4.2.5	Evaluación Técnica – Económica	69
4.2.6	Comprensión de la solución.....	72
4.3	Diseño.....	73
4.3.1	Cálculo del husillo	73
4.3.2	Cálculo de esfuerzos del husillo.....	75
4.3.3	Cálculo del barril	79
4.3.4	Cálculo de la Tolva	80
4.3.5	Cálculo de calentadores.....	82
4.3.6	Cálculo de Aislamiento.....	86
4.3.7	Cálculo de Ventilador.....	88
4.3.8	Cálculo del eje de transmisión	92
4.3.9	Cálculo de la chaveta en el eje.....	94
4.4	Selección de Componentes Externos.....	96
4.4.1	Motor Eléctrico	96
4.4.2	Calentadores	96
4.4.3	Controlador de temperatura	97
4.4.4	Ventiladores.....	97
4.4.5	Placa Rompedora	98

4.4.6	Troquel	98
4.4.7	Motor Secundario	99
4.4.8	Rodete	100
4.4.9	Trituradora	100
CAPÍTULO V SIMULACIONES		103
5.1	Simulaciones.....	103
5.1.1	Simulación de esfuerzos del eje.....	103
5.1.2	Simulación del factor de seguridad	104
5.1.3	Simulación de Soporte para el barril	105
5.1.4	Simulación de transferencia de calor	106
5.1.5	Simulación del sistema eléctrico.....	108
5.2	Resultados	109
5.2.1	Resultados de la simulación del husillo	109
5.2.2	Resultados del soporte del barril	109
5.2.3	Simulación de los calentadores.	109
5.2.4	Simulación del sistema eléctrico.....	109
CONCLUSIONES		110
RECOMENDACIONES.....		111
REFERENCIAS.....		112
ANEXOS		116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Cuadro de ingresos por la compra de impresoras 3D 2016-2021.	2
Figura 2 Tiempo de impresión de un cubo de 3375 cm ³ . Elaboración propia	4
Figura 3 Impresoras 3D por extrusión: FFF..	13
Figura 4 Sistema del proceso de moldeo por inyección.	13
Figura 5 Proceso de moldeo por soplado.	14
Figura 6 Componentes de una máquina extrusora.	15
Figura 7 Sección de un cilindro con husillo de dos canales.	16
Figura 8 Diagrama de fuerzas de un husillo.	18
Figura 9 Número promedio de nussel para un cilindro horizontal. 1	28
Figura 10 Número de Nusselt según la sección transversal.	33
Figura 11 Ventilador TTC-CSC03TB.	34
Figura 12 Ventilador 6010HH12C EC de Diotronic	35
Figura 13 Ventilador XTECH XTA102 de Xtech.	37
Figura 14 Tratamientos y propiedades mecánicas de aceros.	42
Figura 15 Propiedades del aluminio.	44
Figura 16 polímeros Termoplásticos.	45
Figura 17 Estructura química del Poliacrilonitrilo.	46
Figura 18 Estructura química del Polibutadieno.	46
Figura 19 Estructura química del Poliestireno.	46
Figura 20 Estructura química del Poliestireno.	47
Figura 21 Estructura química del Ácido Láctico	50
Figura 22 . Diagrama de la Metodología. Fuente VDI2221-2225	55
Figura 23 Caja negra. Fuente: VDI2221-2225	56
Figura 24 Caja blanca. Fuente: VDI 2221-2225	57
Figura 25 Filabot EX2 Filamento Extruder.	59
Figura 26 Filastruder kit.	60
Figura 27 Máquina extrusora HYPET ZS65 / 132.	60
Figura 28 Caja Negra según Metodología VDI 2221. Elaboración propia.	62
Figura 29 procesos según Metodología VDI 2221. Elaboración propia.	64
Figura 30 Caja Blanca. Elaboración Propia	64
Figura 31 Concepto de solución N° 1. Elaboración Propia	67
Figura 32 concepto de solución N°2. Elaboración propia	68
Figura 33 Concepto de solución N°3. Elaboración propia	69
Figura 34 Evaluación Técnica - Económica	71
Figura 35 Solución Óptima. Elaboración propia	72
Figura 36 Husillo. Elaboración propia.	73
Figura 37 Diseño de husillo con los datos calculados. Elaboración propia.	74
Figura 38 Fuerza del husillo. Elaboración propia	75
Figura 39 Dimensión del barril. Elaboración propia	79
Figura 40 Diseño del barril. Elaboración Propia	80

Figura 41 dimensiones de la Tolva. Elaboración propia.....	80
Figura 42 Diseño de la Tolva. Elaboración Propia.....	82
Figura 43 Cambio de temperatura respecto al tiempo	86
Figura 44 Variación de temperatura con el aislador	88
Figura 45 Diseño de eje antes del husillo. Elaboración Propia.....	94
Figura 46 Diseño de la chaveta. Elaboración Propia	96
Figura 47 motorreductor de 90 watts - 1500 watts.	96
Figura 48 Calentador de 200 Watts.	97
Figura 49 Controlador de temperatura.....	97
Figura 50 Ventilador XTECH XTA102 de Xtech.	98
Figura 51 Diseño de la placa rompedora. Elaboración Propia.....	98
Figura 52 Diseño del troquel. Elaboración Propia.....	99
Figura 53 Motor de CC de 6 RPM.....	99
Figura 54 Rodete. Elaboración Propia.....	100
Figura 55 Máquina de trituración.	100
Figura 56 Ensamblaje final de la máquina extrusora vista 1	101
Figura 57 Ensamblaje final de la máquina extrusora vista 2	101
Figura 58 Ensamblaje final de la máquina extrusora vista 3	102
Figura 59 Ensamblaje final de la máquina extrusora vista 4	102
Figura 60 Tensión de von misses.....	103
Figura 61 Factor de seguridad.....	104
Figura 62 Simulación de soporte del barril.....	105
Figura 63 Temperatura de calentamiento del husillo.....	106
Figura 64 Temperatura de calentamiento del material	106
Figura 65 Transferencia de calor	107
Figura 66 Aislante térmico.....	107
Figura 67 Transferencia de color con el recubrimiento ceramico	108
Figura 68 Simulación del sistema de arranque del motor monofásico	108

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tecnologías de impresión 3D, acrónimos y su desarrollo.....	1
Tabla 2. Datos de uso de impresión del FabLab de la universidad Continental 2019-02.....	3
Tabla 3. Costos y cantidad totales de impresión.....	5
Tabla 4. Características del ventilador TTC-CSC03TB	35
Tabla 5. Características del ventilador 6010HH1C EC	35
Tabla 6. Ventajas y desventajas del enfriamiento por agua.....	37
Tabla 7. Propiedades Cualitativas del ABS	48
Tabla 8. Propiedades Cuantitativas del ABS	49
Tabla 9. Propiedades del PLA	50
Tabla 10. Propiedades de filamento del PLA	51
Tabla 11. Diferencia del PLA y ABS	51
Tabla 12. Tabla comparativa del PLA y ABS a 23°C	52
Tabla 13. Lista de exigencias.....	56
Tabla 14. Matriz morfológica	57
Tabla 15 Lista de deseos y exigencias según Metodología VDI 2221.	61
Tabla 16 Matriz morfológica según VDI 2221.....	65
Tabla 17. Evaluación Técnica.....	70
Tabla 18. Evaluación Económica	71
Tabla 19. Dimensiones del husillo.....	74
Tabla 20. Esfuerzos del husillo.....	79
Tabla 21. Dimensiones de la tolva.....	81
Tabla 22. Cálculo para la selección de calentadores.....	85
Tabla 23. Cálculo para la selección de ventilador	91
Tabla 24. Dimensiones de la chaveta.....	95
Tabla 25. Dimensiones de la chaveta con los cálculos	95

RESUMEN

La investigación presentada tiene el objetivo de diseño de una maquina extrusora capaz de procesar polímeros termoplásticos, así mismo la maquina cuenta la capacidad de triturar la merma que se genera en el FabLab de la universidad debido a las impresiones 3D, pudiendo así generar filamento PLA para las impresoras 3D. Utilizando la metodología VDI 2221 y 2225 se definió la estructura de la extrusora y sus componentes mecánicos y eléctricos, también se realizó una investigación del plástico PLA y ABS para realizar los cálculos y el debido diseño. Obteniéndose así una maquina extrusora con una potencia del motor principal de 111 Watts y una velocidad del husillo 13RPM necesaria para la producción de 2 kg/h de filamento PLA con un diámetro de 1.75 mm siendo este el diámetro usado por las impresoras 3D en el FabLab.

Palabras clave: Extrusora, filamento, conformado de plástico, transferencia de calor.

ABSTRACT

The research presented has the objective of designing an extruder machine capable of processing thermoplastic polymers, likewise the machine has the ability to crush the waste that is generated in the FabLab of the university due to 3D printing, thus being able to generate PLA filament for 3D printers. Using the VDI 2221 and 2225 methodology, the structure of the extruder and its mechanical and electrical components were defined, an investigation of PLA and ABS plastic was also carried out to carry out the calculations and the proper design. This obtaining an extruder with a main motor power of 111 Watts and a 13RPM screw speed necessary for the production of 2 kg / h of PLA filament with a diameter of 1.75 mm, this being the diameter used by 3D printers in the FabLab.

Keywords: Extruder, filament, plastic forming, heat transfer.

INTRODUCCIÓN

El trabajo presentado plantea el objetivo de diseñar una máquina extrusora capaz de generar filamento para impresión 3D que pueda ser usado en las impresoras 3D del FabLab de la Universidad Continental, se trabajara con el polímero termoplástico PLA, esto debido a sus características y a que es el más usado por las impresoras 3D del FabLab, la máquina extrusora contará con una pequeña máquina trituradora con el fin de poder procesar la merma que se genera por las impresiones 3D, esto debido a impresiones fallidas, piezas destruidas o dañadas y/o piezas que fueron descartadas por su uso, generando así una nueva máquina que implemente dos procesos de procesamiento de material con el fin de satisfacer el objetivo de generar nuevo material de trabajo y reducir la contaminación producida por la merma generada.

Para el diseño de la máquina extrusora se empleó el uso de fórmulas para conocer la geometría adecuada de cada componente mecánico y criterios de selección de materiales para que su desempeño sea el adecuado, así también se realizaron los cálculos correspondientes de los componentes eléctricos de la máquina y su selección dependiendo del desempeño, costo y los resultados dados, teniendo como resultado final una máquina extrusora que opera a 180 °C y puede generar 2Kg/h de filamento para impresión 3D con un diámetro de 1.75 mm a base del polímero termoplástico PLA o del triturado de piezas echas con este mismo material, con dimensiones que se adaptan al entorno del FabLab y cumpliendo con los objetivos que se plantearon.

En el capítulo uno se realizó el planteamiento del problema, el propósito de la investigación, requerimientos para poder realizar la investigación y la justificación del trabajo.

En el capítulo dos se hizo el planteamiento del estudio investigando antecedentes de trabajos pasados relacionados a nuestro trabajo y la información teórica necesaria para posteriormente realizar los cálculos necesarios.

En el capítulo tres se menciona la metodología que se va a utilizar que en este caso es la VDI 2221 Y 2225, y se explica todos los pasos a realizar.

En el capítulo cuatro se realizó la aplicación de la metodología, teniendo así una lista de exigencias, la estructura de funciones, definición del concepto de solución y la evaluación técnica económica, Además se hizo los cálculos necesarios para diseñar los componentes del sistema de los cuales los

más importantes fueron el husillo, el barril ya que de estos depende cuanto filamento se va a generar

En el capítulo cinco se realizó la simulación de esfuerzos en el husillo, simulación de los soportes para el eje, la transferencia de calor que se presenta en el sistema y una simulación del arranque del motor presentando así los resultados en la parte de esfuerzos en el husillo y la transferencia de calor que se genera.

En el capítulo seis se menciona las conclusiones del cual obtenemos las dimensiones de 100cmx30cmx30cm con una producción de 2kg/h su potencia de 111.8 watts y trabaja a 13 RPM, llegando a su temperatura de extrusión en 4 minutos.

En el capítulo siete da las recomendaciones para futuras investigaciones.

En el capítulo ocho se muestran las referencias bibliográficas las cuales nos sirvieron de guía

En el capítulo nueve se muestra los anexos en el cual se realiza los planos de la extrusora y las fichas técnicas de los componentes externos

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

La tecnología desarrollada actualmente a innovado en los métodos y procesos para el desarrollo y la obtención de componentes de manera más eficaz, precisas y económica.

La impresión 3d o también conocida como un proceso de adición la cual realiza piezas a través de capas, cuentan con más de 30 años de historia siendo la máquina pionera la estereolitografía en los años 80s como se aprecia en la tabla 1. Se ha ido desarrollando hasta el presente.

Tabla 1 *Tecnologías de impresión 3D, acrónimos y su desarrollo.*

Nombre	Acrónimo	Año de desarrollo
Estereolitografía	SLA	1986-1988
Curado sólido a tierra	SGC	1996-1998, desapareció en 1999
Fabricación de objetos laminados	LOM	1985-1991
Modelado por deposición fundida	FDM	1988-1991
Sinterizado por láser selectivo	SLS	1987-1992
Impresión 3D (goteo en cama)	3DP	1985-1997

Nota: Tabla de evolución de las impresiones 3D desde su primera referencia la Estereolitografía tomado de Miriam-Quemada et al., 2017, p. 2.

El uso de piezas creadas a base de impresión 3D se ha incrementado en un rango acelerado estos últimos años y cada vez son más requeridas ya sea para el uso industrial, comercial y personal debido a su facilidad de obtención y producción, se puede ver en la figura 1 el incremento anual de ingresos por la compra de impresoras 3D

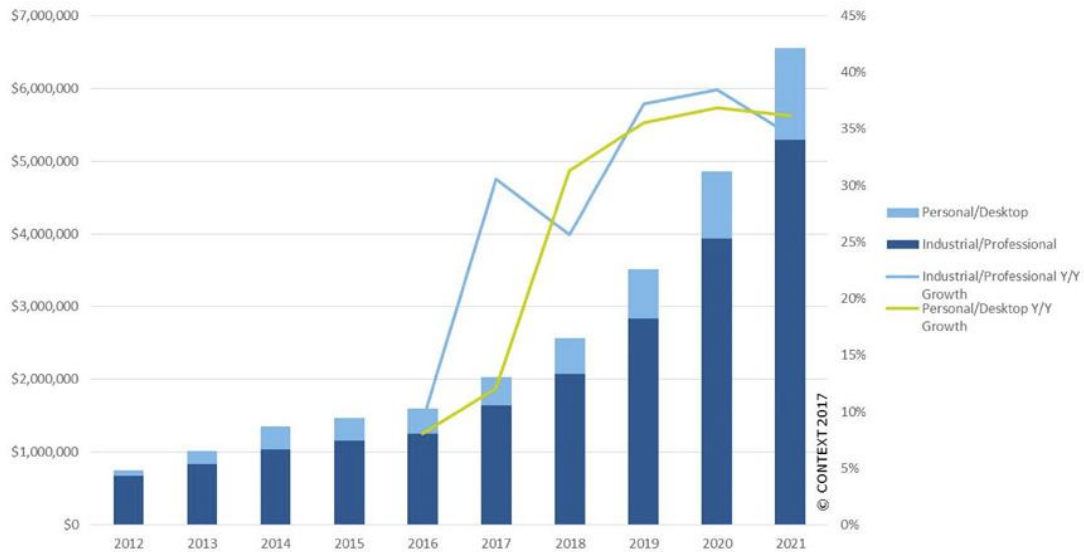


Figura 1 Cuadro de ingresos por la compra de impresoras 3D 2016-2021. Tomada de “Canales sectoriales”, por: <https://bit.ly/32OjQpv>

También cuentan con factores positivos como: las piezas de impresión terminadas ya están listas para ser usadas en una máquina, tiene una gran versatilidad para diseñar cualquier tipo de objeto: con hueco, selladas, formas rectas u orgánicas y la fácil utilización que tiene las impresoras, esto según Morataya (2015)

Para poder realizar impresiones 3D se necesita de un filamento, ya sea ABS, PLA o el requerido por el operario, siendo esta fabricada por una máquina extrusora el cual usa pellets del material y conlleva a un proceso donde se ingresa los pellets a una tolva y se eleva a una temperatura requerida para el material convirtiéndolo en masa y finalizando en una boquilla donde sale el filamento en diámetros de 1.75mm, 2.85 mm, 3 mm o el requerido para su uso.

Cuando se realizan trabajos con las impresoras 3D podemos notar dos grandes problemas, el primero es el desperdicio de material que genera ya sea por alguna falla

al momento de imprimir una pieza o por si el resultado final no fue el requerido o no se asemejaba al diseño principal, el segundo punto es la disposición del material para realizar la impresión, esto genera muchas veces dudas o replantea la idea de usar la impresión 3D como método para la elaboración de algún proyecto y máquina en concreto.

La universidad continental sede Arequipa desde el año 2018 cuenta un laboratorio FAB Lab en esta se realizan impresiones 3D, cortes y grabados láser y mecanizados CNC. Se sabe que el uso de esta ha ido creciendo de manera constante, siendo usada por los estudiantes e ingenieros de la sede generando variedad de piezas para sus trabajos, presentaciones y prototipos. el estar en constante uso requiere de una gran cantidad de filamento generando un fuerte gasto a la universidad.

Según datos obtenidos del FabLab de la Universidad continental en el periodo 2019-02 se ha realizado impresiones 3D con un costo de S/0.10 x minuto, obteniendo un costo total de S/ 1 727.70, los cuales se detallan de manera más precisa en la tabla número 2.

Tabla 2. Datos de uso de impresión del FabLab de la universidad Continental 2019-02

Código del alumno	Fecha de Pago	Monto S/	Cantidad en gramos	Tiempo de impresión en minutos
701328	18/09/2018	5.00	8.71	50
726389	13/05/2019	32.00	55.73	320
726389	15/05/2019	32.00	55.73	320
726389	07/06/2019	10.00	17.42	100
726389	10/06/2019	30.00	52.25	300
726389	13/06/2019	50.00	87.08	500
724676	18/07/2019	40.00	69.67	400
726389	27/07/2019	72.00	125.40	720
739036	04/09/2019	80.00	139.33	800
744313	05/09/2019	2.00	3.48	20
744313	05/09/2019	2.00	3.48	20
739036	09/09/2019	60.00	104.50	600
483974	12/09/2019	64.40	112.16	644
483974	12/09/2019	8.80	15.33	88
431770	12/09/2019	12.00	20.90	120
460457	12/09/2019	78.00	135.85	780
726389	23/09/2019	200.00	348.33	2000
726291	24/09/2019	1.50	2.61	15
713933	25/09/2019	35.00	60.96	350

726291	25/09/2019	35.00	60.96	350
734506	25/09/2019	81.00	141.08	810
729368	25/09/2019	5.00	8.71	50
460457	25/09/2019	126.00	219.45	1260
752395	26/09/2019	8.00	13.93	80
739036	30/09/2019	230.00	400.58	2300
460457	01/10/2019	237.00	412.78	2370
726291	03/10/2019	20.00	34.83	200
729368	03/10/2019	3.00	5.23	30
752395	03/10/2019	12.00	20.90	120
752395	03/10/2019	24.00	41.80	240
731063	14/10/2019	3.00	5.23	30
713933	21/10/2019	16.00	27.87	160
776794	21/10/2019	9.00	15.68	90
724676	21/10/2019	50.00	87.08	500
713933	29/10/2019	30.00	52.25	300
	30/10/2019	24.00	41.80	240
	TOTAL	1,727.70	3009.08	17277

Fuente: Universidad Continental



Figura 2 Tiempo de impresión de un cubo de 3375 cm³. Elaboración propia

La cantidad aproximada de material PLA es de 3009 gramos, de los cuales un 20% es el material de merma y este es equivalente a 601.82 gramos de PLA y generando S/345.54 del costo total durante el periodo 2019-02, se muestra esta información en la tabla 3.

Tabla 3. *Costos y cantidad totales de impresión*

Costo Total en soles(S/)	1,727.70
Cantidad Total (g)	3009.08
Cantidad Total de merma generada(g)	601.82
Costo de merma generada (S/)	345.54

Fuente: Universidad Continental

Como se pudo notar, el uso de la impresión 3D dentro del entorno universitario es solicitado así mismo la adquisición de filamento para la impresión va en aumento, contar con una máquina que pueda producir y reutilizar este filamento permitiría ampliar el uso de la impresión 3D y se podría aminorar los costos y el tiempo de adquisición de este, así también se daría paso la oportunidad de desarrollar nuevas tecnologías.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1 Problema General

- ¿Cómo diseñar una extrusora para la fabricación de filamento a base de polímeros termoplásticos?

1.1.2.2 Problema Especifico

- ¿Cuál será el diseño adecuado para poder cumplir con el proceso de extrusión?
- ¿Cuáles serán los componentes mecánicos y eléctricos necesarios para la máquina extrusora?
- ¿Cuáles serán las dimensiones del filamento al final del proceso de extrusión?
- ¿Qué tipos de polímeros termoplásticos podrán ser usados en la máquina?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Diseñar una extrusora para la fabricación de filamento a base de polímeros termoplásticos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Establecer un diseño que pueda cumplir el proceso de extrusión de partículas.
- Diseñar y seleccionar los componentes mecánicos y eléctricos necesarios para la máquina extrusora

- Determinar las dimensiones del filamento al final del proceso de extrusión.
- Determinar los tipos de polímeros termoplásticos que podrán ser usados en la máquina.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Justificación Práctica

El uso de nuevas tecnologías en los últimos años aumentó a un ritmo acelerado, el uso de nuevos procesos para la conformación de piezas conlleva en su mayoría a la facilitación de adquirir estas piezas, contamos con impresoras capaces de producir todo tipo de piezas a base de polímeros plásticos, las cuales deben contar con el material a su disposición, lo que muchas veces conlleva realizar grandes compras de estos para poder producir las piezas deseadas, contar con una máquina capaz de producir el material a usar, es decir, el filamento para la impresión 3D facilitará en gran medida la producción y reduciría tiempos de fabricación al no depender de la compra del material.

Se realiza esta investigación porque hay la necesidad de reducir el gasto excesivo en compra de materia prima y será una alternativa el poder tener una extrusora de filamento capaz de reutilizar las mermas de los polímeros y prototipos que ya no serán utilizados. va a beneficiar al área de Fab Lab de la universidad continental teniendo una utilidad de reutilización de materiales y piezas ya no usadas hechas en impresión 3D.

1.3.2 justificación Teórica

A través del desarrollo del diseño de una máquina extrusora se va a generar información sobre el cálculo y diseño de cada elemento para definirlos de manera concreta y así contar con elementos capaces de operar de manera óptima, a su vez se contará con simulaciones previas para el análisis de cada una para así sentar las bases de su construcción.

1.3.3 justificación Metodológica

Las extrusoras convencionales se excluye de incorporar un sistema de trituración capaz de volver a reutilizar las piezas, la merma que queda al momento de realizar la impresión 3D o una producción con fallas hecha por la misma máquina , el incluir esta nueva

metodología del principio de trituración a la extrusora va a reducir en parte la contaminación que genera la merma y a su vez va a ser posible reutilizar las piezas obsoletas ya que una máquina extrusora convencional requiere que la materia prima a utilizar se presente en partes pequeñas para ser procesada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

Esquivel, Jiménez-José y Mena-Adrián (2018). En su tesis de grado “Diseño de una Máquina Extrusora de Filamento Termoplástico Alimentada por Desechos Plásticos”, en la escuela de Post Grado Universidad de Costa Rica, menciona la necesidad de una máquina extrusora para el reciclaje de polímeros termoplásticos como lo son el ABS presente en las impresiones 3D y el PET que proviene de las botellas descartables, con el objetivo de Diseñar una máquina extrusora capaz de producir filamento termoplástico a partir de desechos plástico como materia prima para impresiones 3D. Utiliza una metodología de selección para clasificar los materiales que se pueden implementar en la impresión 3D y pueden ser procesados por la extrusora y cómo estos pueden ser aprovechados, también se clasifican los componentes que la máquina requiere para su funcionamiento, el diámetro final del filamento, la recolección de este luego de su extrusión y qué componentes son esenciales para evitar costos excesivos, se obtuvo como resultado una máquina capaz de procesar los polímeros termoplástico ya que estos se encuentran en gran cantidad, así también el costo de producción de la máquina es razonable y puede competir contra otro tipo de máquinas en el mercado y su diseño sirve como base para una mejora o una mayor investigación del funcionamiento de una máquina extrusora (10).

Morales (2018) en su tesis de grado “Diseño y construcción de una máquina recicladora y extrusora de plástico PLA para el observatorio astronómico de Quito de la EPN”, en la escuela de Post Grado Escuela Politécnica Nacional, se refiere a la generación de desperdicios por parte de la impresora 3D Makerbot de 5ta generación, esto debido a fallos en el proceso de impresión, la alimentación de filamento de la impresora o una mala calibración del equipo por parte de los operadores tiene como objetivo principal el diseñar y construir una máquina que pueda reciclar plástico PLA para el Observatorio Astronómico de Quito, el trabajo de tesis emplea una metodología de organización y desarrollo de métodos para su aplicación y cumplimiento de objetivos desarrollados mediante un diagrama de flujo donde se detalla los temas a abarcar por cada capítulo y el resultado esperado, obteniendo así el resultado de una máquina extrusora capaz de procesar plástico PLA, ABS, PVA y PET con mejores resultados con el plástico PLA, así también un diámetro del filamento de 1.7 mm que puede ser usado por la impresora 3D (17).

Dentro del proyecto de grado de Morataya (2015) denominado “Proceso de la impresión 3D como aporte al diseño gráfico”, en la facultad de Arquitectura y Diseño de la universidad Rafael Landívar, tuvo dos objetivos importantes el primero era explicar el proceso que es necesario en impresiones 3D ya sea materiales, maquinaria y software que usa para la programación y segundo tomó los factores a favor y en contra de las impresiones para que sean tomadas en cuenta por los próximos diseñadores. realizó el trabajo mediante un método cualitativo preguntando a 5 personas por ámbito y compañías de impresión 3D. Obtuvo los siguientes resultados: las impresiones a 3D son muy versátiles a utilizar en cuanto a formas, crear un impacto visual, en contra es el tiempo de producción que tiene, hay ciertos materiales que no deben ser usados por su fragilidad como el yeso. de este trabajo podemos tomar las sugerencias que nos dan y la información teórica respecto a las impresoras, los materiales que usan, filamentos, software y el uso que le podemos dar (18).

Esta investigación tiene el aporte de la parte de impresión 3D todo sobre esta desde cómo empezó hasta el uso más frecuente que tiene, también los puntos a favor y en contra que tendrían los futuros diseñadores.

De acuerdo a Parra(2017) en su tesis de investigación “Diseño de extrusora de filamento para impresión 3D a partir de plásticos reciclados” para obtener el título de ingeniero civil-mecánico de la Universidad técnica Federico Santa María, el cual tuvo como propósito el realizar una extrusora de filamentos para que puedan ser usadas en impresiones 3D, obteniendo el material de impresiones fallidas o material sobrante durante el proceso de impresión siendo una solución de reciclaje, usaron una metodología descrita por Morris Asimow el cual se enfocó en tres puntos: Diseño conceptual, diseño de detalle y el diseño de configuración, sus resultados fueron el ABS pudo extruir filamento con un diámetro de 1.75mm y para el PLA 3mm, un motor de rotación de 33 RPM y un torque de 7 Nm el cual esto les facilitó duplicar la producción, el costo del sistema de extrusión de 235 CLP (19).

Savgorodny(1978) en su libro “Transformación de plástico” tuvo como objetivo dar información respecto a la transformación de plásticos, como las maquinas extrusoras, prensas para plásticos termoestables, máquinas de moldeo, mecanizados y la producción de los plásticos, el primer capítulo menciona todo el proceso de como elaborar una extrusión brindando fórmulas para toda la elaboración de las piezas necesarias, la cual nos sirve para poder saber los pasos de elaboración de una maquina extrusora (22).

Chávez (2018) en su tesis “Diseño de extrusora de filamentos para impresora 3D fabricado a partir de polipropileno” para obtener el grado de Ingeniería en Diseño en la universidad Tecnológica la mixteca, tuvo como objetivos el crear una maquina extrusora capaz de crear filamento a a partir de polipropileno reciclado, el utilizó la metodología de “diseño y desarrollo de producto” de Ulrich y Eppinger, logrando resultados como el de obtener 0.250 kg/h, de esta investigación se rescata el uso de fórmulas y sus simulaciones para el trabajo realizado (7).

Del libro de Groover (2007) “Fundamentos de Manufactura Moderna” tiene como objetivo brindar los conocimientos necesarios sobre tres aspectos que se consideran importantes dentro de la ingeniería como los son: los materiales presentes en la industria de la ingeniera donde podemos destacar los metales como primer material usado para la fabricación, los cerámicos como innovación a los metales y los polímeros y materiales

compuestos, que vienen teniendo un gran impacto en el desarrollo de las industrias para la generación de nuevos productos, así también se dan a conocer los procesos de manufactura que se desarrollan en las empresas ya sean los métodos tradicionales o los nuevos métodos que implican tecnología para el desarrollo de nuevos productos cada vez más complejos, por último el libro tiene un enfoque actualizado al uso de la tecnología en la industria y a los procesos de manufactura que se usan hoy en día ahondando en el control de la producción y el diseño de máquinas y elementos (15).

Schey (2000) en su libro “Procesos de Manufactura” se enfoca en estudiar ampliamente una variedad de procesos de manufactura comúnmente usados en la ingeniería comenzando por el análisis de los materiales empleados en las industrias, sus componentes, su comportamiento y el tratamiento que requieren para poder ser conformados, separándolos por cuatro grupos los cuales son; los metales, los cerámicos, los polímeros y plásticos y por últimos los compuestos, luego de conocer cada tipo de material se conocen los distintos procesos de conformado de materiales ya sea en frío como el maquinado de componentes o en caliente como los procesos de extrusión y laminado, por último se mencionan los tratamientos que deben seguir los materiales luego de su conformado (23).

2.1.2 Antecedentes nacionales

Turpo (2019) en su tesis de grado “Reciclado de plásticos (PET) para la elaboración de adoquín mediante el proceso de extrusión”, en la escuela de Postgrado Universidad Peruana Unión, menciona que “En el Perú, casi 950 mil toneladas de plástico se consumen al año” y que el crecimiento poblacional ha aumentado el uso de plástico PET y que estos en su mayoría terminan por contaminar el ecosistema, también no se cuenta con una cultura y tampoco con un mercado disponible para el reusó de plástico PET, tiene como objetivo reutilizar el plástico PET que es desechado para generarle un segundo uso en este caso la elaboración de adoquines mediante empleando el proceso de extrusión, cuenta con una metodología cuantitativa para el análisis de datos estadísticos con el fin de reconocer patrones de desempeño y así comprobar las teorías establecidas a base de las dimensiones de los adoquines a elaborar así como el diseño de la máquina extrusora y su funcionamiento, tuvo como resultados una máquina

extrusora que opera con 1.5HP con un sistema de control de temperatura y extrusión automático manejado por Arduino Mega 2560 y adoquines a base de plástico PET y arena fina con una gran resistencia (28).

Lo relevante de este trabajo de investigación para este estudio es el diseño y los cálculos que se realizan para el proceso de fricción de una máquina trituradora lo cual aportará los conocimientos necesarios para la implementación de una trituradora en la máquina extrusora que pueda procesar los residuos que se generan al momento de realizar la impresión 3D en el FabLab de la Universidad Continental.

Según Porras(2018) en su trabajo de tesis “Diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamentos de plástico ABS para la impresión 3d”, para obtener el título de ingeniero mecánico en la Pontificia Universidad Católica del Perú tuvo como objetivos el diseño de una máquina automática para el uso de sus laboratorios usando como filamento principal el ABS piezas usadas anteriormente y convertirlas un nuevo filamento, lograron sus resultados el poder usar material reciclado ABS y convertirlo en filamento para imprimir a 3D, el factor de seguridad que da la máquina es de 1,5 por el cual le dan un mantenimiento más frecuente, la capacidad de su extrusora tiene una capacidad mínima de 0.5kg de ABS por hora, también obtuvo una dimensión final de la extrusora de 800mmx360mmx350mm el tener un tamaño pequeño hace que pueda estar en espacios relativamente reducidos, a pesar de obtener los diámetros de las boquillas de 1.75mm, 2.85mm y 3mm lograron obtener más variantes que se puedan encontrar en ese rango ya que usaron una boquilla intercambiable y el costo fue de S/ 13,500.00 x unidad (20).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Conformado de polímeros

2.2.1.1 Moldeado por inyección

El proceso de moldeo por inyección tiene como principio la elevación de la temperatura en un polímero plástico al punto que este alcance su estado plástico y se le fuerce a que fluya a alta presión por un molde ya definido, donde se solidifica. (15, p.275-276).

El moldeo por inyección es la técnica más difundida para crear configuraciones 3-D. Se utiliza para resinas termoplásticas y más recientemente también para resinas termoestables. (23, p585).

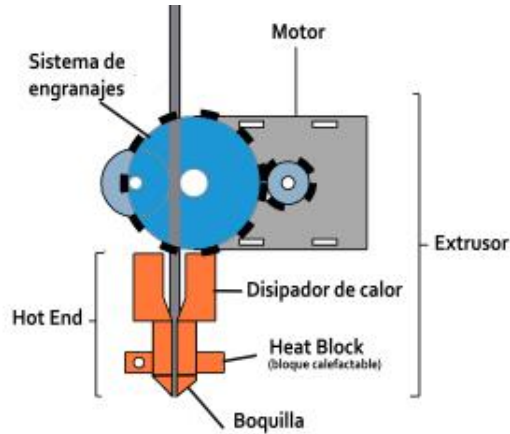


Figura 3 Impresoras 3D por extrusión: FFF. Tomada de “FRO3D”, Disponible en: <http://toninadal.frax3d.com/impresoras-3d-extrusion-fff>.

El moldeo por inyección de polímeros en la actualidad se encuentra presente en las impresoras 3D, siendo este mecanismo el encargado de alimentar la boquilla de la máquina para realizar el conformados de piezas 3D. Así mismo este proceso es usado para obtener formas complejas mediante moldes donde el material en su forma semi líquida ingresa por un orificio del molde y es forzado a llenar todos los espacios de este.

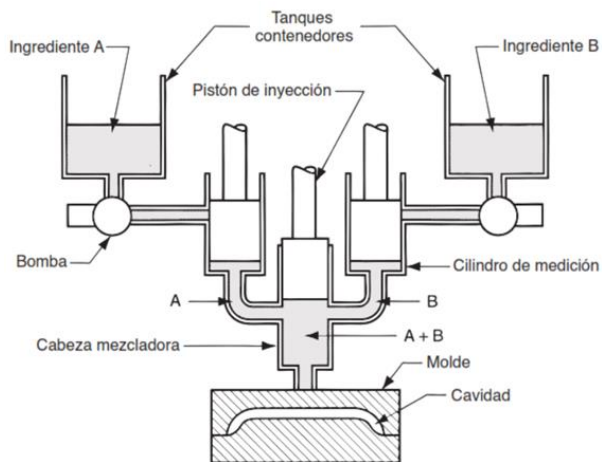


Figura 4 Sistema del proceso de moldeo por inyección. Tomada de “Fundamentos de Manufactura Moderna”, por Groveer. 2007, p185. Disponible en: <https://n9.cl/i8591>

2.2.1.2 Moldeado por soplado

En el moldeado por soplado se emplea aire a alta presión para inflar polímeros moldeables dentro de un molde ya establecido y a una temperatura de calentamiento previamente definida. Este proceso industrial es importante para la fabricación de piezas plásticas huecas o piezas sólidas, variando su espesor. (15, p.289)

Este proceso puede ser combinado con otros procesos como por inyección o extrusión donde una cantidad específica del material ingresa a un molde sin llenarlo para luego ser soplado por aire caliente para que así tome la forma de las paredes del molde, el producto final será una pieza hueca. En general se requiere de una preforma la cual es calentada mediante procesos de transferencia de calor, luego de eso la preforma es colocada en un molde hueco donde una varilla o pistón se encargará de inyectarle aire caliente a alta presión para así obtener una pieza hueca que puede ser usada como contenedor y tenga una geometría similar al molde donde fue conformada.

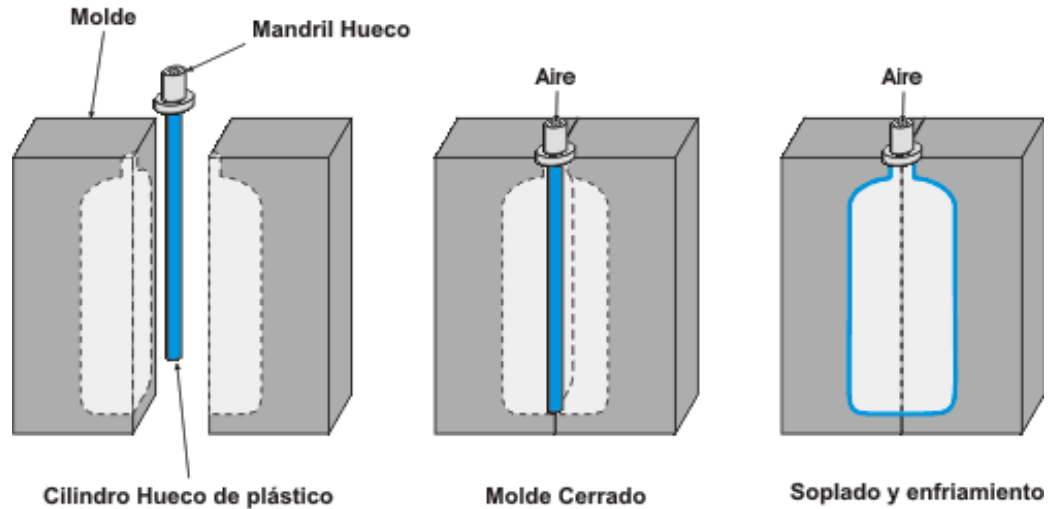


Figura 5 Proceso de moldeo por soplado. Tomada de “¡PLÁSTICOS PAMA!”. Disponible en: <https://n9.cl/vvy5>

2.2.1.3 Moldeado por extrusión

El moldeado por extrusión es un proceso de que se caracteriza por el uso de la fuerza sobre el material para hacerlo fluir a través de un orificio presentado por una herramienta llamada troquel con el fin de obtener un producto final de

dimensión continua, cuyas dimensiones variaran según el diseño presentado por el troquel. (15, p.261).

La extrusión se encuentra en la mayoría de los procesos de producción, su uso no sólo va desde la producción de barras, tubos, láminas y películas ya sea en aceros, materiales plásticos o cerámicos, sino también para realizar la combinación de distintos tipos de plásticos y agregados que se le den al nuevo material. (23, p576).

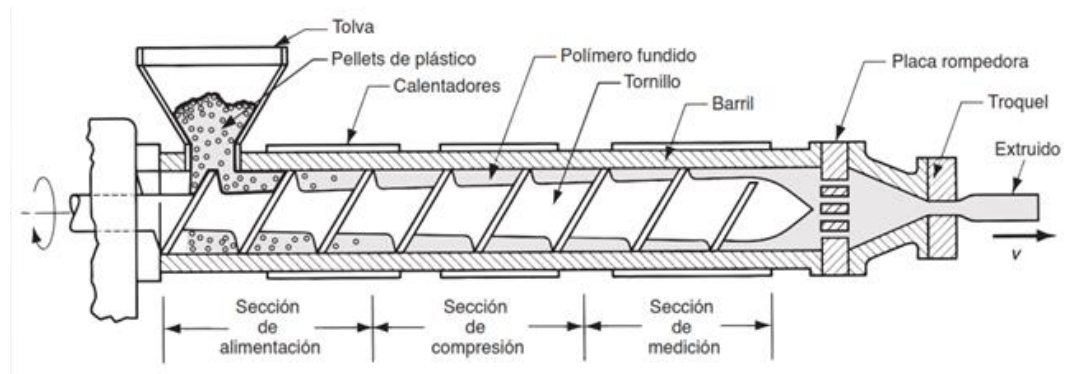


Figura 6 Componentes de una máquina extrusora. Tomada de “Fundamentos de Manufactura Moderna”, por Groveer. 2007, p262. Disponible en: <https://n9.cl/i8591>

2.2.2 Extrusora de Husillo

Una máquina extrusora de husillo se encarga de conformar polímeros termoplásticos con dimensiones pequeñas ya sea en forma de pellets, plástico triturado o en polvo, los cuales serán introducidos por una tolva a un barril el cual cuenta con un husillo sin fin que se encargara de juntar estas partículas para lo cual se requerirá de calentadores conectados directamente al exterior del barril y lo calentaran para que en su interior estos polímeros lleguen a su punto de fusión y puedan unirse formando una sola masa. El husillo sin fin se encargará de empujar esta masa uniforme por el troquel el cual tiene la forma requerida para la salida de esta, dando así la opción de tener diversos resultados.

Los elementos principales de una máquina extrusora son el barril y el husillo. Siendo el troquel una herramienta para el proceso y no un componente de la máquina; esta herramienta intercambiable se adiciona a la máquina y debe fabricarse según el perfil requerido a producir. Es común que el diámetro interno del barril del extrusor varíe entre

25 y 150 mm (1.0 a 6.0 in). El barril es más largo en medida que su diámetro, con razones L/D y por lo general esta relación varía entre 10 y 30. (15, p.261).

2.2.3 Componentes de la extrusora de husillo

2.2.3.1 Husillo

Uno de los dos componentes principales de la extrusora, su función es la de mezclar la materia prima, transportarla y convertirla en una masa homogénea la cual pasará por el troquel gracias al husillo.

Los parámetros más importantes para un buen producto son: paso de la rosca (t), Angulo del Filete (ϕ), Diámetro (D) y paso de la rosca (w) Longitud (L). En la Figura 7 se muestra el husillo de una extrusora y sus principales características. (19.p7)

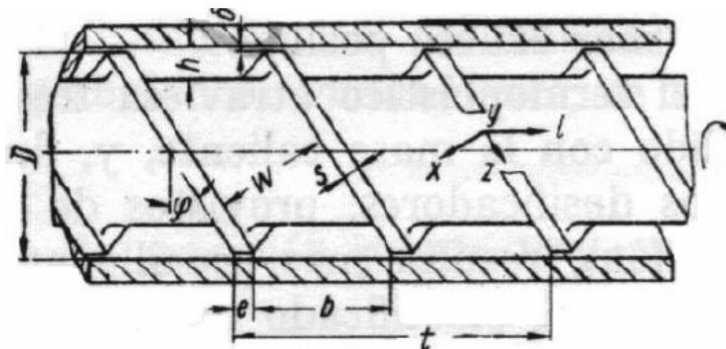


Figura 7 Sección de un cilindro con husillo de dos canales. Tomado de «Transformación de plásticos», por Savgorodny. 1978, p. 4

La geometría presente en el husillo para que el proceso de extrusión se lleve a cabo es la siguiente: al inicio este se encuentra a una longitud considerable del barril ya que en esta primera sección es donde el material se albergara y comenzara su proceso de transporte y calentado, en la parte media la distancia entre el husillo y las paredes del barril se acorta y la materia prima se comienza a mezclar hasta llegar a una homogeneidad, por último la punta del husillo se encuentra casi apegada a las paredes del barril y es aquí donde comienza el proceso de compresión del material al troquel donde llega a la placa rompedora y por ultimo al troquel.

- De acuerdo con Savgorodny para el cálculo de la Relación L/D recomienda que sea entre 20 y 30, esta relación es importante debido a que si se aumenta la longitud del husillo esta va a generar mas efecto de calor en el material y aumentar su producción de filamento

$$R = \frac{L}{D} \quad (2.2.1)$$

Donde:

R: Es la relación entre Longitud y diámetro

L: Es la longitud del Husillo

D: Es el diámetro del Husillo

- Para poder realizar el cálculo de paso del husillo se usó:

$$t = 0.8 * D \quad (2.2.2)$$

Donde:

t: Es el paso del husillo

D: es el diámetro del husillo

0.8: es una constante

- Para la profundidad del canal se utilizó:

$$h = 0.16 * D \quad (2.2.3)$$

Donde:

h: Es la profundidad del canal

D: es el diámetro del husillo

0.16: es una constante

- Para la anchura de la cresta del filete se utilizó:

$$e = 0.06 * D \quad (2.2.4)$$

Donde:

e: Es la anchura de la cresta

D: es el diámetro del husillo

0.06: es una constante

- Para calcular la holgura radial entre la cresta del filete del husillo y el cilindro:

$$\delta = 0.003 * D \quad (2.2.5)$$

Donde:

δ : Holgura radial entre la cresta del filete del husillo y cilindro

D: es el diámetro del husillo

0.003: es una constante

- Para poder Calcular la fuerza en el husillo:

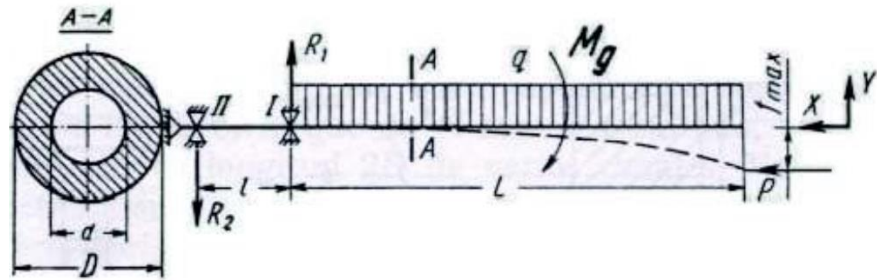


Figura 8 Diagrama de fuerzas de un husillo. Tomado de «Transformación de plásticos», por Savgorodny. 1978, p. 26

Donde:

P: Fuerza axial

M_g : Es el momento de giro

q: Carga uniforme repartida originada por el peso del husillo

- Para poder hallar cada punto se usa las siguientes formulas:

$$M_g = 9550 * \frac{N}{n} [N * m] \quad (2.2.6)$$

Donde:

N: es la potencia del motor en kW

n: es el número de RPM del husillo

- Para poder hallar las RPM se aplica la siguiente formula:

$$n = \frac{R}{2.3 * D^2 * h * G} \quad (2.2.7)$$

Donde:

n: es el número de RPM del husillo

R: Cantidad de material en libras por hora

D: Diámetro del husillo en pulgadas

h: Profundidad de sección de la dosificación en pulgadas

G: Gravedad especifica

- Para hallar la potencia requerida de acuerdo con morales (2018) se usó:

$$N = \frac{n * \pi * D^3}{K^2} \quad (2.2.8)$$

Donde:

n: es el número de RPM del husillo

K: es la constante de proporcionalidad=66.7

D: Diámetro del husillo

N: La potencia en Watts

- Primero se debe comprobar la esbeltez para calcular la fuerza en el husillo:

$$\lambda = \frac{\alpha * L}{R_i} \quad (2.2.9)$$

Donde:

λ : es la esbeltez del husillo

α : es una constante=2

L: Longitud del husillo en metros

R_i : Radio de inercia de la sección en metros

- Para hallar el radio de inercia de la sección:

$$R_i = \sqrt{\frac{J}{F}} \quad (2.2.10)$$

Donde:

J: momento de inercia de la sección transversal [m⁴]

F: superficie transversal del husillo en el corte A-A de la figura 8

- Para hallar el momento de inercia en la sección:

$$J = \frac{\pi * D^2}{64} * (1 - u^4) \quad (2.2.11)$$

Donde:

D: Es el diámetro del husillo

u: Relación existente entre los diámetros del husillo

- La relación existente entre los diámetros del husillo:

$$u = \frac{d}{D} \quad (2.2.12)$$

$$d = 0.6 * D \quad (2.2.13)$$

Donde:

d: es el diámetro del alma

- La superficie transversal del husillo:

$$F = \frac{\pi * D^2}{4} * (1 - u^2) [m^2] \quad (2.2.14)$$

- Luego de los cálculos, hallamos la fuerza axial:

$$P = F * p [N] \quad (2.2.15)$$

Donde:

F: Superficie de la sección transversal [m²]

p: Presión específica del material en la parte delantera del cilindro [MN/m²]

- Para calcular la presión aplicamos lo siguiente:

$$p = \frac{6 * \pi * D * L * n\# * \mu}{h^2 * \tan\varphi} \quad (2.2.16)$$

Donde:

D_x : Diámetro variable de canal del husillo

L : Longitud del husillo

$n\#$: son las revoluciones por segundo

μ : Viscosidad efectiva

h : Profundidad del canal en metros

φ : Angulo de la hélice del husillo

- Para calcular el Angulo de la hélice siguiente:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{t}{\pi * d} \quad (2.2.17)$$

- Esfuerzo cortante máximo sobre la superficie del husillo (τ)

$$\tau = \frac{16 * M_g}{\pi * D^3 * (1 - u^4)} \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (2.2.18)$$

- Carga repartida (q):

$$q = \frac{P_h}{L_h} \left[\frac{N}{m} \right] \quad (2.2.19)$$

$$P_h = p * g * S \quad (2.2.20)$$

Donde

P_h : Peso lineal del husillo

L_h : Longitud del husillo

p : densidad del material del husillo

g : gravedad

S : Sección transversal del husillo

- Para hallar la Tensión Normal (σ)

$$\sigma = \frac{P}{F} + \frac{M_f}{W_o} \quad (2.2.21)$$

Donde:

M_f : Momento de flexión máxima

$$M_f = \frac{q * L^2}{2} \quad (2.2.22)$$

W_o : Momento con respecto al eje neutro

$$W_o = \frac{\pi * D^3}{32} * (1 - u^4) \quad (2.2.23)$$

- Para calcular la solidez del husillo usaremos:

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 4 * \tau^2} \quad (2.2.24)$$

- La flecha máxima cuando se aplica la carga repartida:

$$f_{max} = \frac{q * L^4}{8 * E * J} \quad (2.2.25)$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad del material

- Para el factor de seguridad:

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_t} \quad (2.2.26)$$

Donde:

S_y : Resistencia de fluencia máxima en tracción

n_s : Factor de seguridad

2.2.3.2 Barril

Es una cámara cilíndrica de material metálico encargada de albergar al husillo y al material que es extruido, también es el encargado de conducir el calor inducido por los calentadores a la materia prima y al husillo para que se realice un efectivo proceso de extrusión.

En el diseño de los cilindros, siempre se busca: maximizar la durabilidad, minimizar el cambio dimensional debido a las temperaturas de trabajo y que el barril posea una alta transferencia de calor. (19.p 9)

- Para el cálculo del diámetro interior del barril usaremos:

$$D_i = D + 2 * \delta \quad (2.2.27)$$

Donde:

D_i : Diámetro interior del barril

δ : Holgura

D : Diámetro del husillo

- El espesor de la pared del barril se calcula mediante esta fórmula:

$$e_{min} = ri \left\{ \sqrt{\frac{2 * \pi}{\sigma_{adm} - 2 * \pi}} \right\} \quad (2.2.28)$$
$$e = ri * \left(1 - \sqrt{\frac{2 * P_i}{\sigma_T - 2 * P_i}} \right)$$

Donde:

e : Espesor de la pared del barril

ri : Radio interno del barril

σ_T : Esfuerzo máximo de fluencia del material

P_i : Presion interna del cilindro

2.2.3.3 Placa Rompedora

La placa rompedora es el elemento ubicado al final del cabezal que cumple la función de romper con el patrón de flujo en espiral causado por el husillo sobre el material, a su vez, esta contiene un conjunto de mallas con el fin de filtrar impurezas, aditivos, partículas y/o grumos, etc. Los filtros también sirven para mejorar el mezclado y homogeneizar el fundido. A medida que se ensucian los filtros, estos deben ser sustituidos para evitar caídas de presión y de flujo excesiva y disminución de la producción. (19.p13).

Según esto la placa rompedora debe ser capaz de resistir la corrosión y el desgaste es por eso que esta debe ser fabricada de acero inoxidable, debe cumplir una geometría circular agujereada con mallas de acero inoxidable que cumplan la labor de filtro y sus diámetros serán dadas según los del barril.

2.2.3.4 Troquel

Se encuentra en el extremo final de la maquina extrusora y se encarga de darle la forma final al material extruido luego de pasar por la placa rompedora, esta es considerada una herramienta o una parte móvil ya que puede ser retirada y debe ser diseñada según el modelo final que se desee.

Cabe destacar, que el diámetro de la boquilla del troquel no es el mismas que las del producto final extruido, debido a varias razones como: la contracción del material, los cambios de temperatura y el fenómeno de relajación, es por eso que el producto extruido cambie sus dimensiones. (19.p14).

Para la selección del troquel se debe tener en cuenta el diámetro final del material extruido ya que estas tienen una venta comercial y sus dimensiones dependerán del fabricante.

2.2.3.5 Tolva

Es un recipiente hueco en forma de cono con una boquilla más pequeña que la otra y puede tener o no esquinas, encargada de alimentar al barril con el material a procesar y esta debe cumplir con la misión de alimentar a la máquina de manera constante y con un flujo determinado.

El movimiento del material en la tolva es causado por la acción de la gravedad a las partículas, es decir, el material se mueve por la acción de su propio peso. La tolva debe tener las dimensiones apropiadas para ser funcional, ya que, si está mal diseñada, principalmente en el ángulo de bajada del material, el material se puede estancar y generar paros en la producción. (19.p 9)

- Calcularemos el volumen que soportara la tolva usando:

$$V_T = \frac{m}{d_e} \quad (2.2.29)$$

Donde:

V_T : Volumen de la tolva (m^3)

m : masa del material a extruir (Kg)

d_e : Densidad del polímero (Kg/m^3)

- Para calcular el volumen de alimentación:

$$V_a = \frac{h}{6} * [(2 * A + a) * B + (2 * a + A) * b] \quad (2.2.30)$$

Donde:

V_a : Volumen de alimentación (m^3)

h : Altura de la tolva (m)

A : Ancho de la tolva (m)

B : Largo de la tolva (m)

a : Ancho de la tolva en la cara angosta (m)

b : Largo de la tolva en la cara angosta (m)

- Para el conducto de alimentación:

$$L_a = 1.5 * D \quad (2.2.31)$$

$$A_a = 0.7 * D \quad (2.2.32)$$

Donde:

L_a : Largo del conducto de alimentación (m)

A_a : Ancho del conducto de alimentación (m)

2.2.3.6 Calentadores

Sistema encargado de elevar la temperatura interna del barril por medio de conducción térmica, estos son controlados para llegar a la temperatura óptima de fusión del material y del proceso de enfriamiento de este para tener buenos resultados al momento de que el material llegue al troquel.

Para determinar los calentadores utilizaremos las siguientes ecuaciones:

$$T_{(t)} = \left[1 - e^{-\frac{h \cdot A_c}{m_b \cdot c_p_b + m_h \cdot c_p_h} \cdot t} \right] * \left(\frac{Q}{h * A_c} \right) + C \quad (2.2.33)$$

Donde:

c_p_b : Calor específico del material del barril $\left(\frac{Kcal}{kg \cdot K} \right)$

m_b : Masa del barril (kg)

h : Coeficiente de transferencia de calor $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$

m_h : Masa del husillo (kg)

c_p_b : Calor específico del material del husillo $\left(\frac{Kcal}{kg \cdot K} \right)$

A_c : Área de transferencia de calor = S (m^2)

T_a : Temperatura ambiente (C)

Q : La energía que ingresa al sistema

$T(t)$: Temperatura del Barril, variable con el tiempo

- Para calcular el coeficiente de transferencia de calor usaremos la siguiente fórmula:

$$h = h_c + h_r \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (2.2.34)$$

Donde:

h_c : Coeficiente de convección $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

h_r : Coeficiente de radiación $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

- Para calcular el coeficiente de convección:

Se va a requerir de varias fórmulas para realizar ambos cálculos de las cuales fueron tomadas del libro de transferencia de calor y masa de Cengel.

$$T_f = \frac{(T_s + T_a)}{2} [K] \quad (2.2.35)$$

Donde:

T_s : Temperatura de superficie del barril.

T_a : Temperatura ambiente

T_f : Temperatura Media de película

Se necesitará de constantes determinadas con esta temperatura media de película las cuales son:

Pr: Numero de Prandtl

γ : Viscosidad Cinemática

K: Conductividad Térmica

- El número de Grashof:

$$Gr = \frac{\beta * g * \Delta T * D^3}{\gamma^2} \quad (2.2.36)$$

Donde:

g : Es la gravedad

D : Diámetro del barril

ΔT : La variación de temperatura

β : Coeficiente de expansión volumétrica $\left(\frac{1}{T}\right) [K]$

- La variación de Temperatura:

$$\Delta T = T_s - t_a \quad (2.2.37)$$

- El número de Rayleigh:

$$Ra: Pr * Gr \quad (2.2.38)$$

- Con los anteriores cálculos podemos determinar el número de Nussel de acuerdo con Cengel:

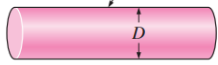
<p>Cilindro horizontal</p> 	D	$Ra_D \leq 10^{12}$	$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$
--	-----	---------------------	---

Figura 9 Número promedio de nussel para un cilindro horizontal. Tomado de «Transferencia de calor y masa», por Cengel. 2007, p. 511

$$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{[1 + (\frac{0.559}{Pr})^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (2.2.39)$$

- Nussel para convección libre, y poder despejar el coeficiente:

$$h_c = \frac{Nu * k}{D} \left[\frac{W}{m^2 - K} \right] \quad (2.2.40)$$

- Cálculos para el Coeficiente de radiación:

De acuerdo con Cengel el coeficiente depende de la emisividad del material(ϵ)

$$q = S * \epsilon_1 * \sigma * (T_s^4 - T_a^4) \quad (2.2.41)$$

Donde:

q= Pérdidas por radiación

S=Área de transferencia de calor

ϵ_1 : Emisividad de la superficie

σ Constante de Stefan-Boltzmann := $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

T_s : Temperatura absoluta de la superficie [K]

T_a : Temperatura Ambiente [K]

- Los cálculos para hallar el coeficiente de radiación es el siguiente:

$$h_r = \frac{\epsilon_1 * \sigma * (T_s^4 - T_a^4)}{(T_s - T_a)} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (2.2.42)$$

- Los cálculos para la perdida de calor por convección:

$$Q_c = h_c * \Delta T * S \quad (2.2.43)$$

- Para poder hallar el Área de transferencia de calor

$$S = \pi * D * L \quad (2.2.44)$$

Donde:

D: Diámetro de la carcasa

L: Longitud de la carcasa

- Los cálculos para la perdida de calor por radiación:

$$Q_r = S * \epsilon_1 * \sigma * (T_s^4 - T_a^4) \quad (2.2.45)$$

- El incremento de la energía interna del polímero

$$Esp = \frac{d_m}{d_t} * Cp * (T_s - T_a) \quad (2.2.46)$$

Donde:

Esp : Cantidad de calor agregado al polímero [kcal/h]

$\frac{d_m}{d_t}$: Flujo masico del polímero en la zona

Cp : Calor especifico del polímero

- La energía total que sale del sistema es:

$$Es = Q_r + Q_c + Qn \quad (2.2.47)$$

Donde:

Qn : Es el incremento de energía interna en Watts

- Para hallar la Potencia requerida se aplica la ecuación (2.2.41), y para hallar el calor real (Q) aplicamos:

$$Q_{real} = Q - Q_r - Q_c \quad (2.2.48)$$

2.2.3.7 Aislamiento

Para mejorar el sistema de extrusión se contará con un aislamiento el cual cubrirá el barril y desempeñará la función de evitar la pérdida de calor en el sistema y podrá mantener una temperatura optima evitando la necesidad de realizar cambios en la temperatura de los calentadores.

- Para calcular el Calor de salida con resistencias usaremos

$$Q_{sa} = \frac{\Delta T}{R_{total}} \quad (2.2.49)$$

Donde:

ΔT : Variación de la temperatura

R_{total} : Resistencia total

- La resistencia total se calcula mediante la suma de la resistencia por convección más la resistencia por conducción

$$R_{total} = R_{cond} + R_{conv} \quad (2.2.50)$$

- Usaremos la ecuación de (Cengel) para calcular el radio crítico

$$R_{cr} = \frac{k_{mat}}{h_c} \quad (2.2.51)$$

- En base al cálculo del radio crítico determinaremos el espesor de la capa de aislante necesario y estableceremos un r_2

La resistencia por conducción se calcula con:

$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 * \pi * L * K_{mat}} \quad (2.2.52)$$

Donde:

r_1 : Radio exterior del cilindro

r_2 : Radio del cilindro con la resistencia

L : Longitud del cilindro

K_{mat} : Conductividad termica del material

Y la resistencia por convección se calcula con:

$$R_{conv} = \frac{1}{h_c * (\pi * r_2 * L)} \quad (2.2.53)$$

2.2.3.8 Ventiladores

Los ventiladores cumplen con la tarea de enfriar el material que sale del proceso de extrusión y adecuar su temperatura para así poder realizar el proceso de hilado del polímero extruido.

- Para conocer el enfriador que se requiere para un buen proceso de hilado recurriremos a las siguientes formulas
- Primero calcularemos la temperatura de película:

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (2.2.54)$$

Donde:

T_s : Temperatura de salida del material

T_∞ : Temperatura ambiente

- Calcularemos la razón de pérdida de temperatura del material.

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (2.2.55)$$

- Número de Grashof- Gr

$$Gr = \frac{\beta * g * \Delta T * D^3}{\gamma^2} \quad (2.2.56)$$

Donde:

g : Gravedad

ΔT : Variación de temperatura

D_m : Diámetro del material extruido

- Número de Nusselt- Nu

Se usará la siguiente fórmula mencionada anteriormente según los criterios de (Cengel)

$$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 * Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (2.2.57)$$

- Calcularemos el coeficiente de transferencia de calor h_c

$$h_c = \frac{Nu * k}{D} \quad (2.2.58)$$

- Se calculará el área superficial A_s según la longitud que se desea enfriar L

$$A_s = \pi * D_m * L \quad (2.2.59)$$

- Con este valor calcularemos la potencia calorífica que se pierde por convección natural Q_n .

$$Q_n = h_c * A_s * \Delta T \quad (2.2.60)$$

Según este dato podremos determinar si se requiere de enfriadores para realizar el proceso de hilado del material, esto se realizará mediante ventiladores eléctricos que aplicaran una corriente de aire continua.

Para conocer el flujo de aire requerido para enfriar el material primero calcularemos el número de Reynold.

$$Re_2 = \frac{V * D}{\gamma} \quad (2.2.61)$$

Donde:

V= Velocidad del aire de los ventiladores

- Según el resultado de este cálculo determinaremos la ecuación adecuada para el cálculo del número de Nusselt guiándonos de la tabla de Cengel (6).

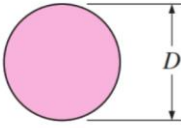
Círculo 	Gas o líquido	0.4-4	$Nu = 0.989Re^{0.330} Pr^{1/3}$
		4-40	$Nu = 0.911Re^{0.385} Pr^{1/3}$
		40-4 000	$Nu = 0.683Re^{0.466} Pr^{1/3}$
		4 000-40 000	$Nu = 0.193Re^{0.618} Pr^{1/3}$
		40 000-400 000	$Nu = 0.027Re^{0.805} Pr^{1/3}$

Figura 10 Número de Nusselt según la sección transversal. Tomado de «Transferencia de calor y masa», por Cengel. 2007, p. 414

$$Nu_2 = 0.683 * Re^{0.466} * Pr^{1/3} \quad (2.2.62)$$

- Calcularemos su coeficiente de transferencia de calor h_{c2}

$$h_{c2} = \frac{Nu_2 * k}{D} \quad (2.2.63)$$

- Usaremos el área superficial calculado para conocer la potencia calorífica del ventilador

$$Q_v = h_{c2} * A_s * \Delta T \quad (2.2.64)$$

- Para el cálculo de calor total transferido desde el filamento Q_{total}

Determinaremos la masa m

$$m = \rho * \frac{1}{6} * \pi * D^3 \quad (2.2.65)$$

Donde:

ρ : Densidad del material

- Entonces el calor total sería.

$$Q_{total} = m * cp * \Delta T \quad (2.2.66)$$

- Teniendo todos estos valores calcularemos el tiempo que se requiere para enfriar el filamento usando la siguiente formula.

$$\Delta T = \frac{Q_{total}}{Q_v} \quad (2.2.67)$$

a) Selección de ventilador

La selección de ventilador es importante ya que este enviara el flujo al material extruido y así poder enfriarlo, se tiene tres principales ventiladores por sus características los cuales son:

- Ventilador TTC-CSC03TB: es un ventilador de 12v se puede observar en la figura 11 sus características se aprecian en la tabla 4



Figura 11 Ventilador TTC-CSC03TB. Tomada de "Titan-CD",
por: <https://www.titan-cd.com/es/product/TTC-CSC03-Series.html>

Tabla 4. Características del ventilador TTC-CSC03TB

Dimensión del esquema: 40 x 40 x 12.5 mm	Flujo de aire: 6.58 CFM
Dimensión del ventilador: 40 x 40 x 7,5 mm	Presión estática: 0,08 pulgadas H ₂ O
Voltaje nominal: 12V DC	Nivel de ruido: <25dBA
Corriente nominal: 0,18 A	Conector: 3 pines
Consumo de energía: 2,16 W	Tipo de rodamiento: una bola y una manga
Velocidad nominal: 5250 RPM	Tiempo de vida: 35.000 hora

Adaptado de “Titan-CD”, recuperado de: <https://www.titan-cd.com/es/product/TTC-CSC03-Series.html>

- Ventilador 6010HH12C EC de Diotronic un ventilador de 60x60x10 de 12v se puede observar en la figura 12



Figura 12 Ventilador 6010HH12C EC de Diotronic. Tomada de “Diotronic”, por: https://diotronic.com/ventilador-60x60x10-12v-3p-30d_9319/

Sus características se aprecian en la tabla 5

Tabla 5. Características del ventilador 6010HH1C EC

Ventilador de alto rendimiento de sustitución con apoyo central apretado lubricados de por vida y extra silencioso (menos de 19 dBA).
No hay fricción entre las piezas móviles para garantizar una vida útil de hasta 60.000 horas
Feeds de conector de 3 hijo (+12 V, y el velocímetro retorno en masa)
Crucero a 4500 rpm
Dimensiones: 60 x 60 x 10 mm

Adaptado de “Diotronic”, por: https://diotronic.com/ventilador-60x60x10-12v-3p-30d_9319/

- Ventilador XTECH XTA102
 - Sus características son:
 - ✓ 90x90x25 mm
 - ✓ Alimentación de 12V
 - ✓ Consumo 0.96W

- ✓ Velocidad 1500 RPM
- ✓ Caudal:18.80 CFM

Se puede considerar el enfriamiento por agua, pero este presenta varias desventajas presentes en la tabla 6

Tabla 6. *Ventajas y desventajas del enfriamiento por agua*

Ventajas	Desventajas
Se obtiene un enfriamiento rápido	Ocupa demasiado espacio
	Se necesita del diseño de un tanque para mantener el agua de enfriamiento
	Se necesita de una toma de manguera cercana para la instalación del equipo

Nota: mayor desventaja con enfriamiento por agua. Tomada de <https://bit.ly/3m9xkT8> por Chávez J. 2018

En la figura 13 se muestra el ventilador



Figura 13 Ventilador XTECH XTA102 de Xtech. Tomada de “Intercompras.com”, por: <https://bit.ly/34DJ7UB>

2.2.3.9 Eje de transmisión

El eje de transmisión es el encargado de transmitir la potencia suministrada por el motor al husillo para realizar el proceso de extrusión.

- Diámetro mínimo del eje

$$d^3 \geq \frac{32 * n}{\pi * S_y} * \sqrt{\left(M_f + F_a * \frac{d_h}{8}\right)^2 + T^2} \quad (2.2.68)$$

Donde

d = Diámetro mínimo del eje [m]

n = Factor de Seguridad

S_y = Límite de fluencia del material [Pa]

M_f = Momento Flector [Nm]

F_a = Fuerza Axial de operación [N]

d_h = Diámetro Husillo [m]

T = Momento Torsor [Nm]

• Diámetro según Vom Misses

$$d^3 \geq \frac{32 * n}{\pi * S_y} * \sqrt{\left(M_f + F_a * \frac{d_h}{8}\right)^2 + 3 * \left(\frac{T}{2}\right)^2} \quad (2.2.69)$$

Donde

d = Diámetro mínimo del eje [m]

n = Factor de Seguridad

S_y = Límite de fluencia del material [Pa]

M_f = Momento Flector [Nm]

F_a = Fuerza Axial de operación [N]

d_h = Diámetro Husillo [m]

T = Momento Torsor [Nm]

• factor de seguridad por fatiga del diámetro calculado

$$\left(\frac{\sigma'_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma'_m}{S_y}\right)^2 = \frac{1}{n^2} \quad (2.2.70)$$

Donde

n = Factor de Seguridad

S_e = Límite de resistencia a la fatiga del elemento [Pa]

S_y = Límite de resistencia a la tracción [Pa]

σ'_a = Resistencia Alternante [Pa]

σ'_m = Resistencia media [Pa]

• Límite de resistencia a la fatiga

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S_e' \quad (2.2.71)$$

Donde

S_e' = Límite de resistencia a la fatiga de la muestra [Pa]

k_a = Factor de superficie

k_b = Factor de tamaño o forma

k_c = Factor de Carga

k_d = Factor de Temperatura

k_e = Factor de Efectos Diversos

• Límite de resistencia a la fatiga de la muestra

$$S_e' = 0.504 * S_u \quad (2.2.72)$$

• Factor de superficie

$$k_a = a * S_u^b \quad (2.2.73)$$

Donde

a = Factor dependiente de la resistencia a la tracción

b = Factor dependiente de la resistencia a la tracción

S_u = Límite de resistencia a la tracción del material [Pa]

- Factor de tamaño o forma

$$k_b = \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.1133} \quad [\text{mm}] \quad (2.2.74)$$

para $2,79 \leq d \leq 51$

- La resistencia alternante

$$\sigma'_a = \frac{M_f * 32}{\pi * d^3} \quad (2.2.75)$$

- La resistencia media

$$\sigma'_m = \sqrt{3} * \left(\frac{T * 16}{\pi * d^3}\right) \quad (2.2.76)$$

2.2.3.10 Chaveta en el eje

La chaveta cumple el papel de juntar el eje del husillo al sistema de transmisión de potencia del motor para eso calcularemos la fuerza

$$F = \frac{Mt}{r} \quad (2.2.77)$$

Donde:

Mt: Momento de giro

r: Radio del eje

- La falla por corte se aplicará a lo largo(*l*), el S_y del acero SAE 1020 es de 393 Mpa. Entonces *L* será

$$l > \frac{F * n}{h/2 * S_y} \quad (2.2.78)$$

Donde:

n: Ancho de la chaveta según tablas de diseño

h: Alto de la chaveta según tablas de diseño

2.2.3.11 Motor de hilado

Este motor se encargará de hacer girar el rodete donde se hilará el filamento extruido, para lo cual se requiere una velocidad de giro, utilizando V la velocidad de salida en rpm y $d_{carrete}$ el diámetro del carrete.

$$n = \frac{V * 1000 * 60}{\pi * d_{carrete}} \quad (2.2.79)$$

2.2.4 Materiales de la máquina

2.2.4.1 Aceros

El acero es una aleación de hierro que contiene carbono con un porcentaje variando desde 0.02% hasta 2.11%. El acero incluye diversos ingredientes de aleación: manganeso, cromo, níquel y molibdeno; gracias al carbono el hierro se convierte en acero (15. p 103).

- Acero de bajo carbono: Son los más usados en la industria para el uso de herramientas y piezas, contienen un 0.20% de carbono.
- Acero de medio carbono: contiene entre 0.20 y 0.50% de carbono. Se usa cuando el componente requiere mayor resistencia.
- Acero de alto carbono: Con un porcentaje mayor al 0.50% de carbono, son usados para componentes que requieren un alto nivel de rigidez y resistencias.
- Acero inoxidable: Es altamente resistente a corroerse. Compuesto principalmente de cromo, por lo general arriba del 15%. (15. P 105)

Código	Tratamiento ^a	Resistencia a la tensión		Elongación, %
		MPa	lb/in ²	
1010	HR	304	44 000	47
1010	CD	366	53 000	12
1020	HR	380	55 000	28
1020	CD	421	61 000	15
1040	HR	517	75 000	20
1040	CD	587	85 000	10
1055	HT	897	130 000	16
1315	Ninguno	545	79 000	34
2030	Ninguno	566	82 000	32
3130	HT	697	101 000	28
4130	HT	890	129 000	17
4140	HT	918	133 000	16
4340	HT	1 279	185 000	12
4815	HT	635	92 000	27
9260	HT	994	144 000	18
HSLA	Ninguno	586	85 000	20

Figura 14 Tratamientos y propiedades mecánicas de aceros. Tomada de “Fundamentos de Manufactura Moderna”, por Groveer. 2007, p107

En la figura 14 podemos observar la resistencia de los diferentes tipos de aceros comerciales con su código y su tratamiento para su fabricación siendo HR: Rolado en caliente, CD: Estirado en frío y HT: tratamiento térmico que involucra calentamiento y enfriamiento por inmersión, según (15). Esto nos ayudara a la selección del acero para el barril, el husillo y la placa rompedora.

- AISI 4340: Este acero es una aleación al cromo-níquel-molibdeno, se usa principalmente para los componentes mecánicos como lo son los ejes, cigüeñales, cilindros de motor, rotores, tuercas y pernos, los cuales son sometidos a un gran impacto y torsión, soporta las temperaturas de 200° C y puede llegar hasta los 1220 °C, su esfuerzo de fluencia máxima esta entre los 855 Mpa y 1586Mpa dependiendo del estado en el que se encuentre, además es resistente al desgaste y a la corrosión
- AISI 316: Es un acero inoxidable con un mínimo de 10.5% de cromo con una dureza Brinell ente 160 – 190 y una resistencia a la tracción de 460 – 860 MPa, este acero es resistente a las picaduras y resistencia a la corrosión es mayor al AISI 430 y al AISI 304.

- AISI 1020 este es un acero de bajo contenido al carbono, presenta una facilidad de maquinado y soldado, se usa comúnmente en chavetas, pernos, pasadores y componentes forjados.

2.2.4.2 Alúmina

La alúmina es un material cerámico compuesto de óxido de aluminio (Al_2O_3) y Sílice (SiO_2) y es utilizado en la ingeniería para el aislamiento de calor debido a su baja conductividad térmica siendo buen aislante térmico y evitando los choques térmicos. Su composición y grado de pureza puede variar de entre el 88% al 99%, también presenta un alto grado de dureza y es altamente resistente al desgaste.

Debido a esto la alúmina será usada en las mantas cerámicas sirviendo como aislante para la máquina extrusora, estas mantas cerámicas contienen un grado de composición de alúmina de entre 90 a 96%, siendo resistentes a altas temperaturas y al desgaste.

Material	Conductividad térmica, $W/m \cdot K$	Coefficiente de dilatación térmica a $20^\circ C$ $\mu m/m \cdot K$
Plata	428	19.7
Cobre	390	16.5
Oro	318	14.2
Aluminio	240	23.6
Hierro	74	11.7
Invar (Fe-36Ni)	11	0.6-0.3
Kovar (Fe-28Ni-18Co)	16.7	4.4
Acero inoxidable 304	15	16.5
Acero inoxidable 410	24	10.0
Alúmina	17	6.6
Berilia	218	8.5
Vidrio-E	1.7	6.0
Sílica fundida	1.4	0.6-0.9
Silicio	1.5	2.6-3.6

Tabla. *Propiedades térmicas. Tomado de "Procesos de manufactura", por Schey 2000, p 117*

2.2.4.3 Aluminio

El aluminio es un material con muy buena conductividad eléctrica y térmica, con una alta resistencia a la corrosión gracias a que se forma una película en su superficie compuesta de óxido. Este metal es dúctil y moldeable y se pueden obtener diversas formas deseadas. (15, p 113)

El aluminio puro presenta una baja resistencia a la corrosión, pero este puede ser tratado térmicamente y adicionarle otros componentes para poder competir con distintos aceros, teniendo en consideración el peso que se quiera manejar. (15, p 113)

Aluminio Serie 1000: Este tipo de aluminio cuenta con un 99% de pureza, destaca por resistir a la corrosión, es maleable y brinda un buen acabado además de no ser toxico.

El aluminio será usado para la construcción de la tolva y la estructura exterior de la extrusora.

Símbolo: Al	Mineral principal: Bauxita (mezcla impura de Al_2O_3 y $Al(OH)_3$).
Número atómico: 13	Elementos de aleación: Cobre, manganeso, silicio y zinc.
Gravedad específica: 2.7	Aplicaciones comunes: Contenedores (latas de aluminio), láminas para envolturas, conductores eléctricos, vasijas y cacerolas, piezas para construcción, aeroespaciales automotrices y otros usos en los que el poco peso es importante.
Estructura cristalina: FCC	
Temperatura de fusión: 660 °C (1 220 °F)	
Módulo de elasticidad: 69 000 MPa (10×10^6 lb/in ²)	

Figura 15 Propiedades del aluminio. Tomada de “Fundamentos de Manufactura Moderna”, por Groveer. 2007, p107

2.2.4.4 Latón

El latón pertenece a la familia de aleaciones con cobre, compuesto por cobre y zinc este material es utilizado en la industria para diversos componentes teniendo presentaciones en planchas, tubos y perfiles con porcentajes diversos de zinc mayormente con índices inferiores al 50%, con un punto de fusión de 980°C.

Debido a su gran maquinabilidad y ductilidad en frío este material será usado para la creación del troquel y no presenta deformaciones por altas presiones y soporta temperaturas de hasta 200°C antes de sufrir cambios leves en su geometría.

2.2.5 Polímeros

En el año de 1930 empezó a surgir la ciencia de los polímeros, este material es construida por la repetición de unidades químicas formando una molécula, suelen tener una repetición lineal o interconectadas formando retículos tridimensionales (3).

2.2.5.1 Polímeros termoplásticos



Figura 16 polímeros Termoplásticos. Tomada de «¿Qué es un termoplástico?, Usos y características», por CodeBox. 2019 en: <https://bit.ly/340MF1A>

Los polímeros termoplásticos son materiales plásticos que al variar su temperatura se pueden volver deformables o flexibles, se funden y se endurecen cuando entran a un estado de transición vítrea al momento de enfriarse lo suficiente, empieza a cambiar gradualmente sus propiedades por fundición o el reusó continuo y disminuye sus propiedades al darle este proceso (27).

Existen variedad de Polímeros Termoplásticos, pero nos enfocaremos en dos principalmente:

a) **ABS**

El Acrilonitrilo, Butadieno y estireno o también denominado por sus siglas ABS es un plástico el cual tiene una elaboración y proceso más compleja que los demás plásticos, al estar constituido por tres monómeros presenta varias propiedades: El acrilonitrilo da al plástico alta rigidez, haciéndolo fuerte ante agresiones químicas, as su vez permite poder soportar temperaturas elevadas y una buena dureza, el butadieno al ser un polímero con propiedades elásticas genera una tenacidad a varios niveles de temperatura, siendo un punto ventajoso para climas fríos, el estireno genera sinergia que es la combinación entre la rigidez y resistencia mecánica.(1)

- **Elementos del ABS**

El poliacrilonitrilo se genera mediante un procedimiento desarrollado en fases o niveles de vapor donde se genera la oxidación del amoniaco y el propileno con el uso de catalizadores, su estructura química se puede ver en la figura 17.

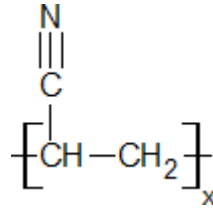


Figura 17 Estructura química del Poliacrilonitrilo. Tomada de «ABS», por Textos científicos. 2005.

Existe otros métodos para poder oxidar el amoniaco y el propileno. Este es un método comercial que con un reactor de lecho fluye estos componentes a su vez un catalizador se pone en contacto con el aire a temperaturas entre 400° C y los 500°C y la presión varía entre los 0.5 atm y 2 atm. El Polibutadieno lo generan normalmente de una parte en el vapor de cracking de hidrocarburos (1).

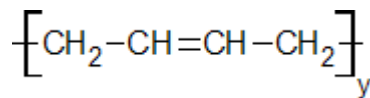


Figura 18 Estructura química del Polibutadieno. Tomada de «ABS», por Textos científicos. 2005

El poliestireno este proceso se realiza normalmente por el proceso de la a deshidrogenación del etilbenceno

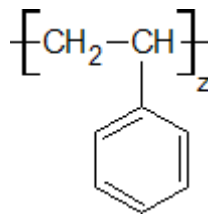


Figura 19 Estructura química del Poliestireno. Tomada de «ABS», por Textos científicos. 2005

- **Conformación del ABS**

El ABS es la mezcla del estireno – acrilonitrilo (llamado esto como copolímero vitreo) y el butadieno. Su estructura de fase elastómera inmersa en una rígida y dura matriz llamada SAN la cual se observa en la figura 20, haciendo así al ABS en el plástico más fuerte ya que el poliestireno al contener grupos nitrilos llegan a ser polares por lo cual se empiezan a atraer y dan paso a que sus cargas opuestas de esos grupos logren estabilizarse correctamente haciendo así que esta atracción logre que las cadenas del ABS sea sostenida firmemente, también su componente polibutadieno al tener una apariencia de caucho se vuelve más resistente que el poliestireno(26).

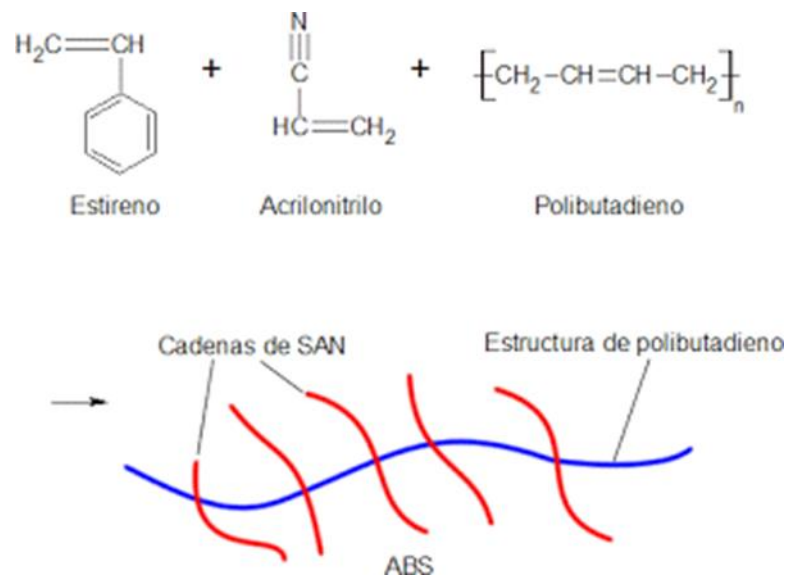


Figura 20 Estructura química del Poliestireno. Tomada de «ABS», por Textos científicos. 2005.

- **Propiedades del ABS**

Al poseer tres monómeros distintos, el ABS posee importantes Propiedades ya mencionadas anteriormente. Las propiedades cualitativas del ABS se observan en la Tabla 7:

Tabla 7. *Propiedades Cualitativas del ABS*

Resistencia a la abrasión	Alta
Permeabilidad	Todos los grados son considerados impermeables al agua, pero ligeramente permeables al vapor.
Propiedades relativas a la fricción	No los degradan los aceites son recomendables para cojinetes sometidos a cargas y velocidades moderadas
Estabilidad dimensional	Es una de las características más sobresalientes, lo que permite emplearla en partes de tolerancia dimensional cerrada. La baja capacidad de absorción de la resina y su resistencia a los fluidos fríos, contribuyen a su estabilidad dimensional
Pigmentación	La mayoría de estas resinas, están disponibles en colores estándar sobre pedido, se pueden pigmentar, aunque requieren equipo especial.
Facilidad de unión	Se unen fácilmente entre sí y con materiales plásticos de otros grupos mediante cementos y adhesivos
Cap. de absorción	Baja
Propiedades ambientales	La exposición prolongada al sol produce una capa delgada quebradiza, causando un cambio de color y reduciendo el brillo de la superficie y la resistencia a la flexión. La pigmentación en negro provee mayor resistencia a la intemperie
Resistencia química	Generalmente buena, aunque depende del grado de la resina, de la concentración química, temperatura y esfuerzos sobre las partes. En general no son afectadas por el agua, sales inorgánicas, álcalis y por muchos ácidos. Son solubles en ésteres, acetona, aldehídos y en algunos hidrocarburos clorados
Formado	Se adaptan bien a las operaciones secundarias de formado. Cuando se calientan, los perfiles extruidos, se pueden doblar y estampar.
Facilidad de maquinado	Sus características son similares a las de los metales no ferrosos, se pueden barrenar, fresar, torneear, aserrar y troquelar
Acabados superficiales	Pueden ser acabados mediante metalizado al vacío y electroplateado
Resistencia a la fatiga	Se presenta para cargas cíclicas o permanentes mayores a 0.7 Kg mm ²
Recocida	Se mantiene 5° C arriba de la Temperatura. de distorsión durante 2 a 4 h.

Nota: Tomada de Textos científicos, ABS. 2005

Las Propiedades Cuantitativas se observan en la tabla N ° 8:

Tabla 8. *Propiedades Cuantitativas del ABS*

Propiedades	Método ASTM	Unidad	Grados de ABS			
			Alto impacto	Impacto medio	Bajo Impacto	Resistente al calor
Mecánicas a 23°C						
Resistencia al impacto, prueba Izod	D2546	J / m	375-640	215-375	105-215	105-320
Resistencia a la tensión	D638	Kg / mm ²	3,3 - 4,2	4,2-4,9	4,2-5,3	4,2-5,3
elongación	D638	%	15-70	Oct-50	May-30	May-20
Módulo de tensión	D638		173-214	214-255	214-265	214-265
Dureza	D785	HRC (Rockwell)	88-90	95-105	105-110	105-110
Peso específico	D792		1,02-1,04	1,04-1,05	1,05-1,07	1,04-1,06
Térmicas						
Coefficiente de expansión térmica	D696	X 10 ⁵ cm / cm* °C	9,5-11,0	7,0-8,8	7,0-8,2	6,5-9,3
Distorsión por calor	D648	°C a 18,4 Kg /cm ²	93-99	96-102	96-104	102-112

Nota: Tomada de Textos científicos, ABS. 2005

El ABS es el material más usado en filamentos de impresión 3D. A su vez es un plástico duro y muy resistente al impacto, con una larga vida útil, que lo hace ideal para aplicaciones mecánicas (19).

b) PLA

El PLA o ácido Poliláctico pertenece al grupo de los poliésteres termoplásticos, que se obtiene partir de recursos biodegradables como la caña de azúcar o almidón, Este poliéster es inodoro y permanente. También tiene características semejantes al poliestireno como la claridad y su color brillante, tiene una gran resistencia a la humedad y grasa, hoy en día se ha ido incrementando su uso constantemente en la industria química plástico, textil alimenticia y ahora en las impresiones 3D (32).

Una de su grande ventaja del PLA es que al ser obtenido de recursos biodegradables este no genera gases nocivos y no necesita muchos requisitos para su fabricación

- Componentes del PLA

El punto inicial para poder hacer el PLA es el Ácido Láctico una de sus formas para obtenerla es por vías de fermentación y tiene de 4 etapas: Fermentación, Hidrolisis de lactato de calcio, Esterificación y destilación y la hidrolisis del éster, En la figura 21 se logra apreciar su estructura química. (25).

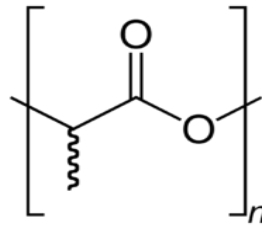


Figura 21 Estructura química del Ácido Láctico, por Tecnología de los plásticos, 2011.

- Propiedades del PLA

Alguna de sus principales propiedades del PLA es que esta puede ser transparente, tiene un buen nivel de dureza y una facilidad de producción.

Tabla 9. Propiedades del PLA

Masa Molecular	% Cristalinidad	Viscosidad (dL/g)	Densidad (g/cm ³)
L-PLA. 50 a 756	15 a 74	0,61 a 8,2	1.25
D.L. PLA 21 a 550	0	0,25 a 2,01	1.29
PLA-PGA. 20 a 145	46 a 52	0.5 a 1.6	1.50 a 1.64

Nota: Propiedades del PLA dependiendo de su proporción de D (-) y L (+), Tomado de Yamunaqué, 2015 p. 32

Tabla 10. *Propiedades de filamento del PLA*

PLA	
Fuerza	Alta
Flexibilidad	baja
Durabilidad	Media
Dificultad de uso	baja
Temperatura de impresión	180 °C - 230 °C
Temperatura De la cama	20°C - 60°C
Deformación	Mínima
Soluble	no

Nota: Propiedad del filamento de PLA para impresiones 3D, tomada de Rohringer. 2020

2.2.5.2 Diferencia entre el ABS y PLA

Tanto ABS como PLA son usados para filamentos de impresión 3D, el ABS al ser un filamento altamente resistente y duro, permite realizar mecanizados en su estructura. el PLA es más usado por su facilidad de uso ya que llega es un filamento más frágil, ahora el ABS se recomienda que tenga un uso industria, mientras que el PLA más para un uso doméstico o académico, en la siguiente tabla se observan las diferencias entre ambos filamentos, la temperatura de extrusión del PLA oscila entre los 160° C y 200°C en la siguiente tabla se puede observar una diferencia entre ambos termoplásticos.

Tabla 11. *Diferencia del PLA y ABS*

ABS	PLA
Temperatura de extrusión: ~ 240 ° C	Temperatura de extrusión: ~ 200 ° C
Requiere cama caliente > 70 ° C	Poca temperatura de cama caliente
Funciona bastante bien sin refrigeración de capa.	Se beneficia enormemente de refrigeración de capa durante la impresión
Peor adherencia, se necesita cinta de poliámida o laca.	Buena adherencia a una gran variedad de superficies
Resistente a temperaturas altas	Poco resistente a temperaturas altas
Propenso a las grietas, delaminación, y deformación	Propenso a la ondulación de las equinas y salientes
Más flexible	Más frágil
Se pueden unir piezas usando adhesivos o disolventes (acetona o MEK)	Se poden unir piezas usando adhesivos específicos
Los humos son desagradables y nocivos en áreas cerradas	Humos no nocivos y olor más agradable
Plástico derivado del petróleo	Plástico de origen vegetal

La siguiente tabla muestra una comparación entre ambos plásticos a una temperatura ambiente.

Tabla 12. Tabla comparativa del PLA y ABS a 23°C

	Método de prueba ASTM	ABS	PLA
Resistencia a la tracción (MPa)	D638	26.4 - 50	48.8 - 56.19
Alargamiento en la Rotura (%)	D638	1-57	0.5 - 9.2
Módulo de tracción (GPa)	D638	1.7 - 2.82	2 - 3.54
Densidad (g/cm ³)	D792	1.03 - 1.11	1 1.24
Temperatura de Transición vítrea	E1356	90 - 102	55 - 60
Reciclable	---	SI	NO
Biodegradable	---	NO	SI

Nota: Propiedades Mecánicas de los plásticos a 23 °C, 2018 tomado de Porras

2.2.6 Máquina trituradora de plástico

Una máquina trituradora de plástico tiene como propósito el reducir componentes plásticos en pequeñas partes las cuales puedan ser recicladas de manera más óptimas, cuenta con un funcionamiento simple de admisión de material esto se realiza mediante una tolva, el triturado del material que es un conjunto de elementos rotatorios cortantes capaces de aplicar la fuerza suficiente para cortar el plástico y por último se cuenta con una tolva que entregara el material triturado, todo este proceso se realiza por medio de gravedad y no se requiere un sistema electrónico para transportar el material por medio del proceso.

2.2.7 Componentes de la máquina trituradora

2.2.7.1 Cuchillas de corte

Son discos maquinados con bordes afilados los cuales interactúan entre sí aplastando el material y cortándolo para así obtener plástico en pequeñas partes.

2.2.7.2 Motor eléctrico

Es un motor de corriente alterna, será el encargado de transmitir la potencia de corte necesaria para triturar el plástico de forma directa si se usan cuchillas de corte o mediante un eje si se usan rodillos dentados

2.2.7.3 Bóveda

Es la encargada de albergar el material a triturar y alimentar a la tolva de la extrusora de material triturado sus dimensiones se darán conforme al diámetro de las cuchillas de corte o la cantidad de rodillos dentados y el eje de transmisión.

2.3 Definición de términos básicos

- Conformado de polímeros: Es un proceso por el cual el polímero es calentado hasta su temperatura plástica y forzado a fluir a una alta presión por una cavidad o molde.
- Triturado de polímeros Proceso que consta de reducir el volumen y las dimensiones de un polímero mediante cortes a alta presión.
- Holgura: Es el espacio vacío que queda entre el husillo y el barril.
- Resistencia a la abrasión: Cavitación: Es un fenómeno producido cuando el material plástico no puede o tiene dificultades al momento de ingresar al husillo. Es una propiedad que permite a la superficie poder resistir el desgaste por rasguños o abolladuras.
- Resistencia a la tracción: Es el esfuerzo máximo que soporta un objeto hasta antes de romperse.
- Elongación: la elongación es una magnitud capaz de medir el aumento de su longitud que un material cuando se le somete a un esfuerzo de tracción.
- Temperatura de Transición vítrea: Es la temperatura a la que se le da una pseudotransición termodinámica.
- Esfuerzo cortante: o también conocido como esfuerzo cortante es el que viene dado por la resultante de las tensiones cortantes.
- Manta cerámica: Resistencia térmica compuesta principalmente por Alúmina y Sílice, cumple la función de aislar el calor en la máquina y evitar el choque térmico.
- Filamento: Hilo plástico con un diámetro determinado por el troquel y una longitud continua, es el resultado de la extrusión del plástico PLA

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

Una investigación tecnológica tiene como fin aplicar los conocimientos científicos obtenidos mediante la investigación, para solucionar diferentes problemas y que así se beneficie a la sociedad (9).

El tipo de investigación desarrollada para este proyecto es de tipo tecnológica teniendo como finalidad el solucionar un problema o una situación aplicando el conocimiento científico y la tecnología para beneficiar así a la sociedad y su entorno aportando nuevos conceptos de solución y desarrollo.

3.2 Nivel de investigación

La investigación es de nivel aplicada. La investigación aplicada, es también llamada diseño o innovación, presenta el objetivo de aplicar los resultados de la investigaciones experimentales para el diseño tecnologías de aplicación inmediata con el fin de solucionar los problemas de la sociedad, buscando eficiencia y productividad (9).

Una investigación aplicada busca generar soluciones o conocimiento mediante la aplicación directa de la solución del problema en base de los conocimientos obtenidos mediante la investigación

3.3 Metodología aplicada para el desarrollo de la solución

Para el proyecto de investigación utilizaremos la Norma VDI 2221 y la VDI 2225, una de sus características es que no es necesario la experiencia del diseñador. La norma VDI 2221 fue creada en Alemania por “La sociedad de ingenieros profesionales” (Verein Deutscher Ingenieure) (4).

De acuerdo con Blanco esta norma se va a basar en siete etapas: La primera etapa es la que refiere a todos los requisitos del diseño, siendo esta la que puede sufrir varios cambios en todo el proceso de realización, la segunda etapa es realizar diagramas para definir funciones y actividades, la tercera etapa se empieza a hacer las posibles soluciones las cuales van en una matriz morfológica, la cuarta etapa nos lleva a separar el proceso en módulos dependiendo del tipo de investigación que se realice, la quinta fase se realiza los diseños preliminares a mano alzada, en la sexta etapa se define por completo el diseño llegando así a la última etapa donde se documenta el diseño, la construcción y pruebas del producto.

Usaremos la norma VDI 2225 para realizar la evaluación Técnica-económica. “Esta norma consiste en un método de decisión optimizado al mínimo coste” (14). Se va a evaluar cada criterio para el proyecto lo cual nos llevara a escoger el diseño más optimo la tabla se muestra en el punto 3.3.5

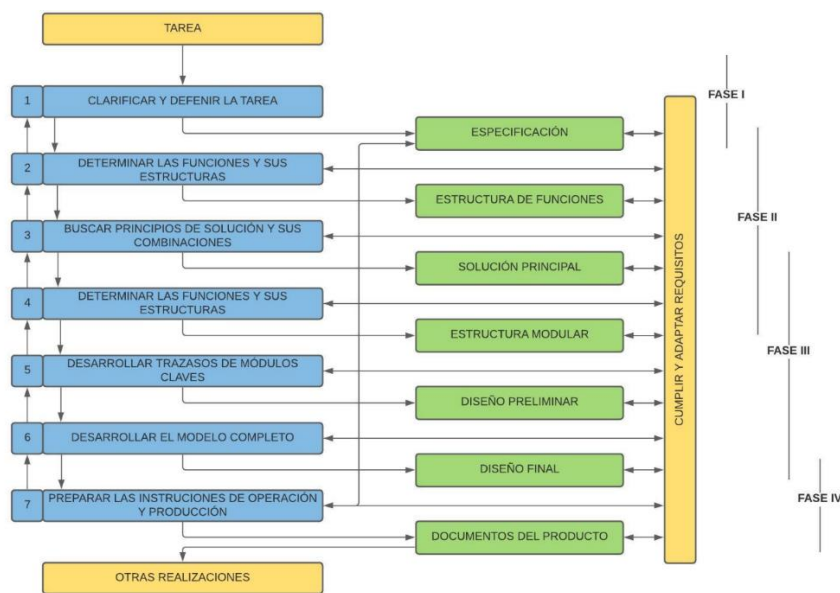


Figura 22 . Diagrama de la Metodología. Fuente VDI2221-2225

3.3.1 Lista de exigencias

La lista de exigencias contempla todos aquellos componentes y parámetros que se requieren como mínimo para el diseño de la máquina extrusora, así también contempla los deseos que se tiene de esta de manera estética o poco relevante ya que estos no deben afectar el resultado final si no se llegan a cumplir.

Tabla 13. *Lista de exigencias*

LISTA DE EXIGENCIAS			Página 1
			Edición 1
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	Diseño de extrusora para la fabricación de filamento a base de polímeros termoplásticos de la universidad Continental sede Arequipa		Fecha: 02-10-2020
			Revisado:
ENTIDAD	UNIVERSIDAD CONTINENTAL		Ejecutado por: R.F.E.A. C.M.O.J.
FECHA:	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable

Fuente VDI 2221-2225

3.3.2 Estructura de funciones

3.3.2.1 Caja Negra

La caja negra representa el proceso general que consiste en: las entradas que es todo aquello que puede dar inicio al proceso o componente que va a ser sometido a un proceso y las salidas que son los resultados de todo este proceso.

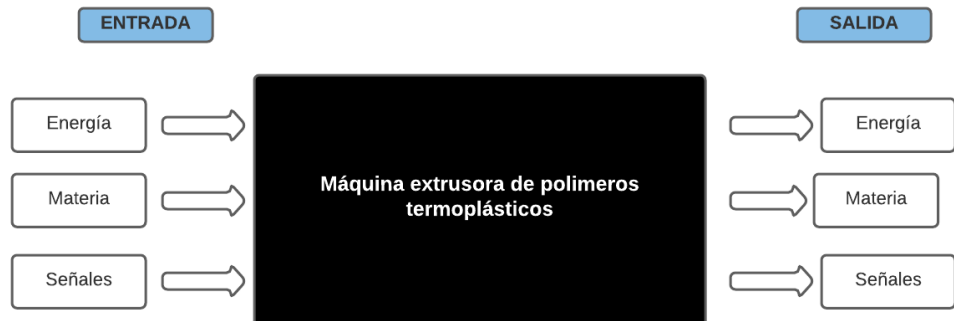


Figura 23 Caja negra. Fuente: VDI2221-2225

3.3.2.2 Procesos

Se menciona cada proceso a seguir que debe realizar la máquina desde el encendido de esta hasta su apagado o entrega del producto final. Es por lo que en este punto encontraremos todas las operaciones principales de la máquina en correlación incluyendo operaciones secundarias y terciarias que dan asistencia o completan el proceso que se debe seguir.

3.3.2.3 Caja blanca

En la caja blanca se detallan los procesos que se llevan a cabo dentro de la caja negra para la obtención del producto final.

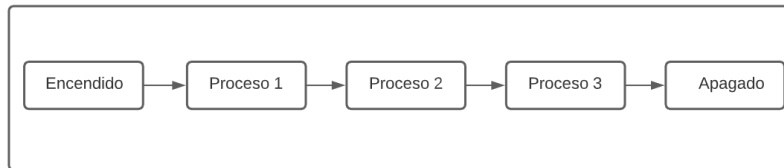


Figura 24 Caja blanca. Fuente: VDI 2221-2225

3.3.3 Matriz morfológica

La matriz morfológica contempla todas aquellas soluciones posibles para el dimensionamiento de la máquina, así como todas las combinaciones de elementos posibles, en esta matriz debemos detallar todos los elementos que la máquina requiere para funcionar y realizar el proceso y se debe tener en cuenta un criterio de selección para que todo pueda encajar y funcionar sin presentar algún percance.

Tabla 14. Matriz morfológica

	Portadores de Funciones			
Funciones	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución n
Función 1	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente n
Función 2	Componente n	Componente n		
		.		
Función n	Componente n	Componente n	Componente n	

Fuente: VDI2221-2225

3.3.4 Evaluación técnica - económica

Con la evaluación técnica económica podremos evaluar cuál de las propuestas de solución es la adecuada para el diseño de la máquina mediante criterios que se establecerán como importantes para el desarrollo de esta.

Tabla 15: *Evaluación de proyectos*

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTOS							PROYECTO	
Proyecto: Máquina extrusora de polímeros								
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos								
Variante de concepto/proyectos			Solución 1		Solución 2		Solución n	
N°	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp

Fuente VDI2221-2225

3.3.5 Análisis de la solución

Se iniciará con un diseño básico el cual cumpla con el objetivo deseado y contemple todos los componentes y funciones establecidas, es aquí donde especificaremos que función cumple cada parte de la máquina y se procederá a realizar los cálculos correspondientes de esta donde se conocerá las dimensiones reales de cada uno de los componentes, así como su comportamiento al momento de que estos estén en contacto y se simulara su funcionamiento para así tener un diseño en 3D que sirva como guía de cómo se verá la máquina y como es que actuará.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

4.1 Estado del arte

Teniendo en cuenta el problema que se quiere solucionar, se procederá a analizar las diferentes máquinas extrusoras presentes en el mercado las cuales serán competencia directa a la máquina extrusora que se quiere diseñar y servirán como base de datos de información.

- **Filabot EX2 Filamento Extruder**

La filabot es una maquina extrusora diseñada para para fabricar filamento, cuenta con un Husillo de extrusión compactado con tres capas de acero inoxidable, tiene las siguientes características: una potencia de 500 Watts, su temperatura máxima de trabajo es de 450 °C. El Husillo de extrusión gira a 35 RPM, genera filamento de 1.75, 2.85 y 3.0 mm, con una producción de 0.1 kg/h, el costo de esta máquina es de \$2,699.00, el diseño de esta es compacta se observa en la figura 25 (8).



Figura 25 Filabot EX2 Filamento Extruder. Tomada de «Filabot», disponible en: <https://www.filabot.com/collections/filabot-core>

- **Filastruder Kit**

Esta extrusora trabaja más con ABS, pero si admite los demás polímeros, tiene una potencia de 50 watts, su temperatura de trabajo es hasta los 260 °C, su husillo trabaja con una velocidad de 8 RPM produciendo 0.16 kg/h, y haciendo filamento de 1.75 y 3.0 mm, su costo es de \$299.00, como se puede ver en la figura 26 esta tiene unas dimensiones de 45 x 15 x 10 cm.



Figura 26 Filastruder kit. Tomada de «Filastruder», disponible en: <https://bit.ly/2TmXypn>

- **Máquina extrusora HYPET ZS65 / 132**

Esta máquina extrusora cuenta con dos Husillos de extrusión y es capaz de generar de 280 a 320 kg/h de plástico extruido ya sea PVC, UPVC o WPC, trabaja de manera automatizada y cuenta con calentadores cerámicos y un enfriamiento del plástico extruido por aire acondicionado trabajando con una potencia de 37 KW.



Figura 27 Máquina extrusora HYPET ZS65 / 132. Tomado de «SHEHZHEN HYPET». Disponible en: <https://n9.cl/qmu1o>

4.2 Identificación de requerimientos

4.2.1 Lista de deseos y exigencias

Tabla 15 Lista de deseos y exigencias según Metodología VDI 2221.

LISTA DE DESEOS EXIGENCIAS			Página 1
			Edición 1
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	Diseño de extrusora para la fabricación de filamento a base de polímeros termoplásticos utilizados en el Fab Lab de la Universidad Continental sede Arequipa-2020		Fecha: 20-10-2020
			Revisado:
ENTIDAD	UNIVERSIDAD CONTINENTAL		Ejecutado por: R.F.E.A. C.M.O.J.
FECHA:	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
10/20/2020	E	Dimensiones: 110 cm x 40 cm x 60 cm	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Función: La máquina debe extruir filamento PLA con una producción de 2kg x hora	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Función: La máquina debe triturar las mermas y reducirlas en pequeñas partes	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Energía: Fuente de 220V, potencia 3 hp	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Ergonomía: La máquina debe estar a una altura mínima de 150 cm	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Seguridad: se va a proteger todas las entradas de la maquina y el sistema eléctrico	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Seguridad: las personas deberán cumplir con todas las EPPS para la fabricación de la maquina	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Facilidad para la limpieza de la máquina	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Fabricación: los elementos tienen que ser fáciles de adquirir	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Fabricación: la maquina se va a fabricar en el campus de la universidad continental Arequipa	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Montaje: el ensamble de piezas seguirá el orden planteado al momento de hacer el diseño	R.F.E.A. C.M.O.J.

10/20/2020	E	Montaje: las piezas podrán ser removidas con uso de las herramientas adecuadas	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Operación: será operada por el encargado del FabLab	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Operación: No requerirá de complejos conocimientos para su operación	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Mantenimiento: Se realizará un mantenimiento mensual, con un costo mínimo	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Mantenimiento: la máquina va a tener un manual de instrucciones	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	E	Costos: El costo de fabricación de la maquina debe ser menor a su costo comercial	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	D	protector en los bordes de la mesa	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	D	El filamento tendrá un color neutral	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	D	La máquina será de color amarillo y rojo	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	D	Luces led	R.F.E.A. C.M.O.J.
10/20/2020	D	Indicadores de fin de proceso	R.F.E.A. C.M.O.J.

Elaboración propia

4.2.2 Estructura de funciones

4.2.2.1 Caja Negra



Figura 28 Caja Negra según Metodología VDI 2221. Elaboración propia

A. Entrada

- Energía: Energía eléctrica 220 V suministrada por la red local
- Materia: pellets y merma de impresora 3D
- Señales: encendido del motor, calentadores y ventilador

B. Salida

- Energía Mecánica: Obtenida del motor monofásico
- Calor: Saliente de los calentadores
- Filamento: PLA de 1.75 mm
- Señales: Apagado

4.2.2.2 Procesos

- Encendido de la máquina: para poder iniciar el funcionamiento de la máquina se inicia con este paso que es el encendido de todo el sistema.
- Triturado: se colocan todas las mermas o piezas que ya no se utilizaran para poder reducir su tamaño y sea más fácil de fundir en el proceso.
- Calentadores: Es muy importante este paso, para poder elevar la temperatura del husillo y así calentar los materiales hasta que llegue al punto de elasticidad para que pueda fundirse.
- Rotación del eje: después de tener una temperatura para el material empieza a girar el husillo haciendo el proceso principal.
- Procesamiento del material: el material triturado empieza a volverse masa y así poder generar filamento plástico.
- El filtrado de impurezas es para evitar que se generen grumos de plástico, aditivos o pigmentos, a su vez esto sirve para poder mejorar la mezcla y homogenizarla correctamente.
- Extrusión del polímero: empieza a salir el filamento de la boquilla con el diámetro especificado 1.75 mm.
- Hilado: al momento de generar la mezcla se requiere de este proceso para poder extraer el filamento.
- Apagado: finalizado todo el proceso, sigue el apagado de todo el sistema

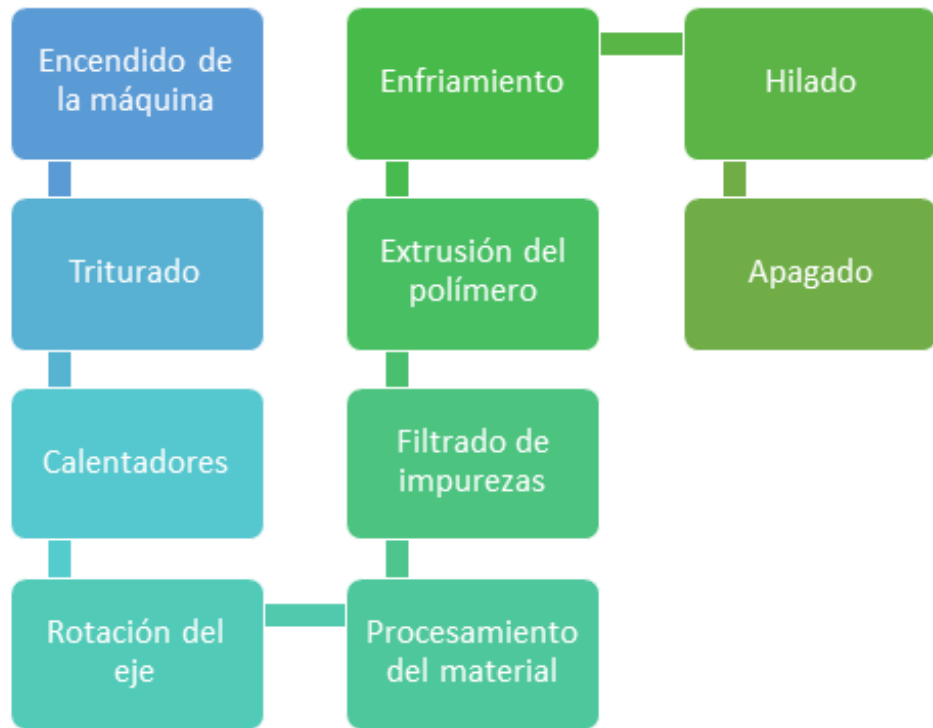


Figura 29 procesos según Metodología VDI 2221.Elaboración propia

4.2.2.3 Caja blanca

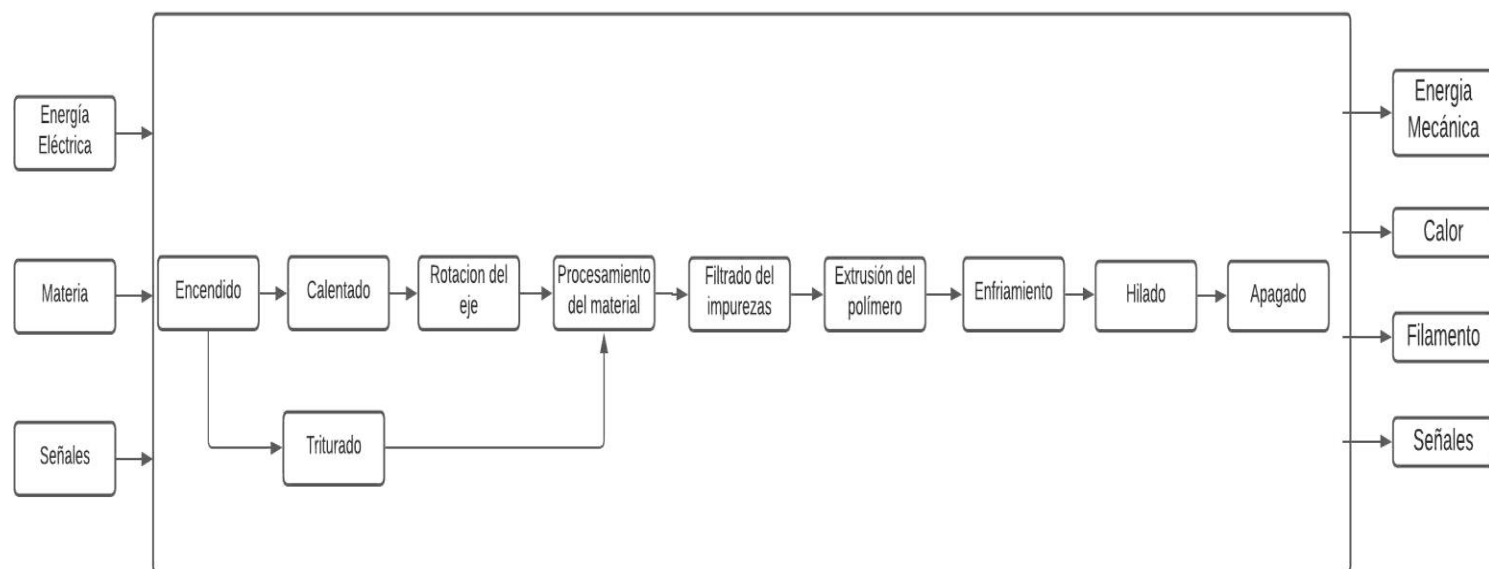
















Figura 30 Caja Blanca. Elaboración Propia

4.2.3 Matriz Morfológica

Tabla 16 Matriz morfológica según VDI 2221.

Funciones	Portadores de Funciones		
	Solución 1	Solución 2	Solución 3
Encendido de la máquina	Interruptor 	Botón 	Palanca 
	Trituradora 	Martillo 	Cuchillas 
Calentamiento	Calentadores con control térmico 	Calefactor eléctrico 	
	Manivela 	Motor 	Pedal 
Procesamiento del material	Doble tornillo de extrusión 	Tornillo de extrusión 	
	Placa Rompedora 	Malla de alambre 	
Filtrado de impurezas			

Extrusión del polímero	Troquel cónico	Troquel cilíndrico	
			
Enfriamiento	Ventilador	Aplicador de líquidos	
			
Hilado	Motor		
			
Apagado	Interruptor	Botón	Palanca
			

Elaboración Propia

4.2.4 Concepto de soluciones

- **Concepto Solución 1**

En la solución 1 se usará para el encendido un interruptor la parte de triturado va a hacer de forma manual con un martillo para poder reducir la merma, va a tener un calentador de banda para la extrusión la rotación del eje va a utilizar un pedal capaz de poder mover el husillo doble, al momento de salir contará con una boquilla escalonada y se enfriará mediante agua con un pequeño motor eléctrico para poder hilar el material, su apagado será de la misma manera que el encendido, todo esto se observa en la figura 31. Esta solución va a requerir del esfuerzo humano ya que va a usar el pie para que funcione, en parte esto no es conveniente ya que el husillo no girará de manera uniforme, también está el uso de un martillo donde no nos asegura que el material va a estar apto para poder fundirlo, otro factor desfavorable es el uso del enfriamiento mediante agua ya que al aplicar esto va a requerir todo un sistema

de drenaje y aumentará el costo de fabricación de la máquina. En aspectos positivos el más importante es el uso de dos husillos que se ya que este logra homogenizar de mejor manera el material, el no usar una trituradora es reducción de costos para la fabricación de la máquina.

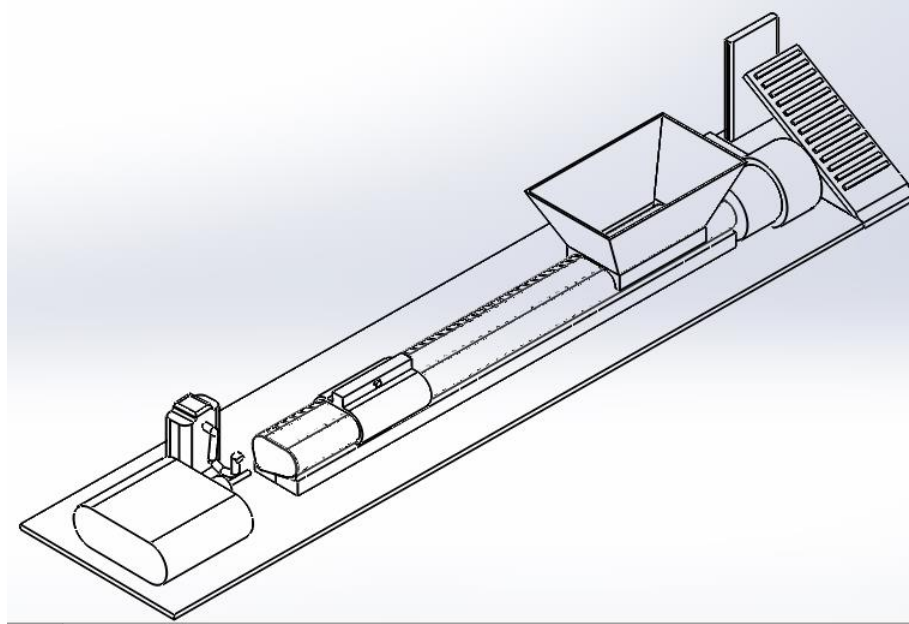


Figura 31 Concepto de solución N° 1. Elaboración Propia

- **Concepto de Solución 2**

Para la solución 2 se optará por el uso de botones para el encendido y apagado de la máquina, contara con una trituradora de dientes intercambiables para el procesado del material, para comenzar el proceso de extrusión se usaran calentadores que recubrirán la parte exterior de la máquina y acondicionaran la temperatura interna, se usara un husillo conectado a un motor eléctrico para procesar el material y llevarlo a la parte del filtrado donde se eliminaran impurezas mediante una malla metálica, se usara un troquel plano con punta cónica para darle la dimensión final al material y para su proceso de hilado y almacenamiento se contara con un ventilador eléctrico en la parte final de la máquina para aclimatar el material a temperatura ambiente, por ultimo un motor eléctrico con un rodete se encargara de recolectar el filamento.

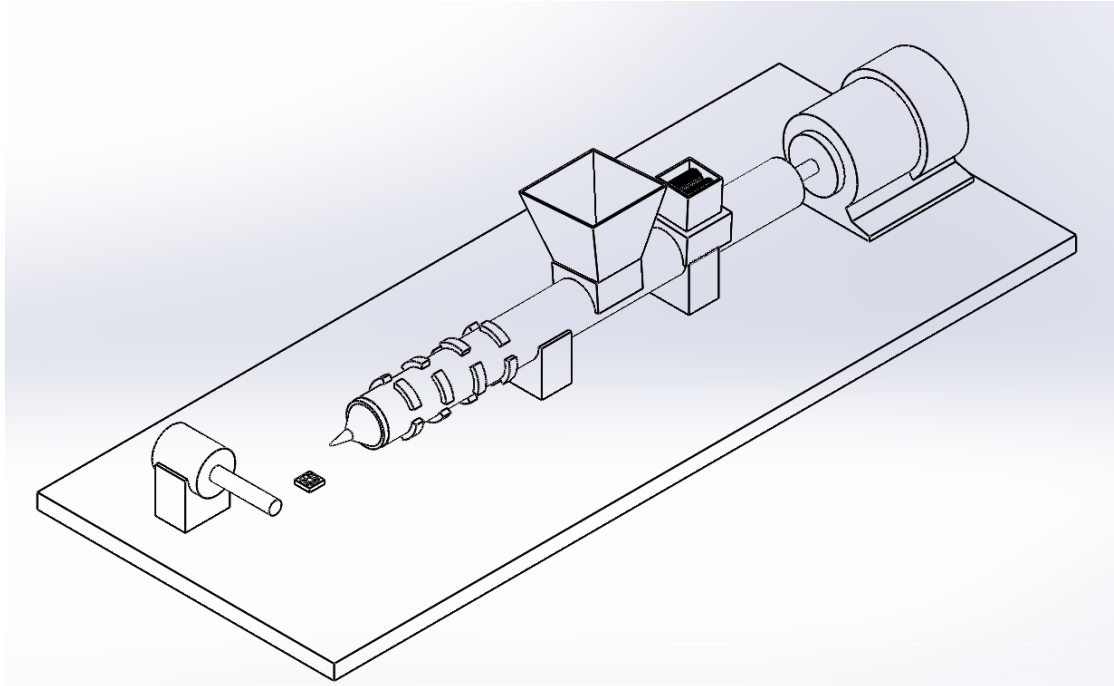


Figura 32 concepto de solución N°2. Elaboración propia

- **Concepto de Solución 3**

La solución 3, para el inicio y fin de marcha se usarán botones por palanca para el inicio y fin de marcha de la máquina, contara con cuchillas de corte para realizar el proceso de triturado, para acondicionar el material a la temperatura de extrusión se usaran calefactores de cuarzo, se requerirá de fuerza humana para realizar el giro del eje y el husillo mediante una manivela, las impurezas se filtraran gracias a una placa metálica agujereada y se usara un troquel cónico para darle forma al filamento, en la parte externa se tendrá ubicado un ventilador eléctrico para acondicionar el material a temperatura ambiente y un motor eléctrico se encargara de hilar el filamento en un carrete.

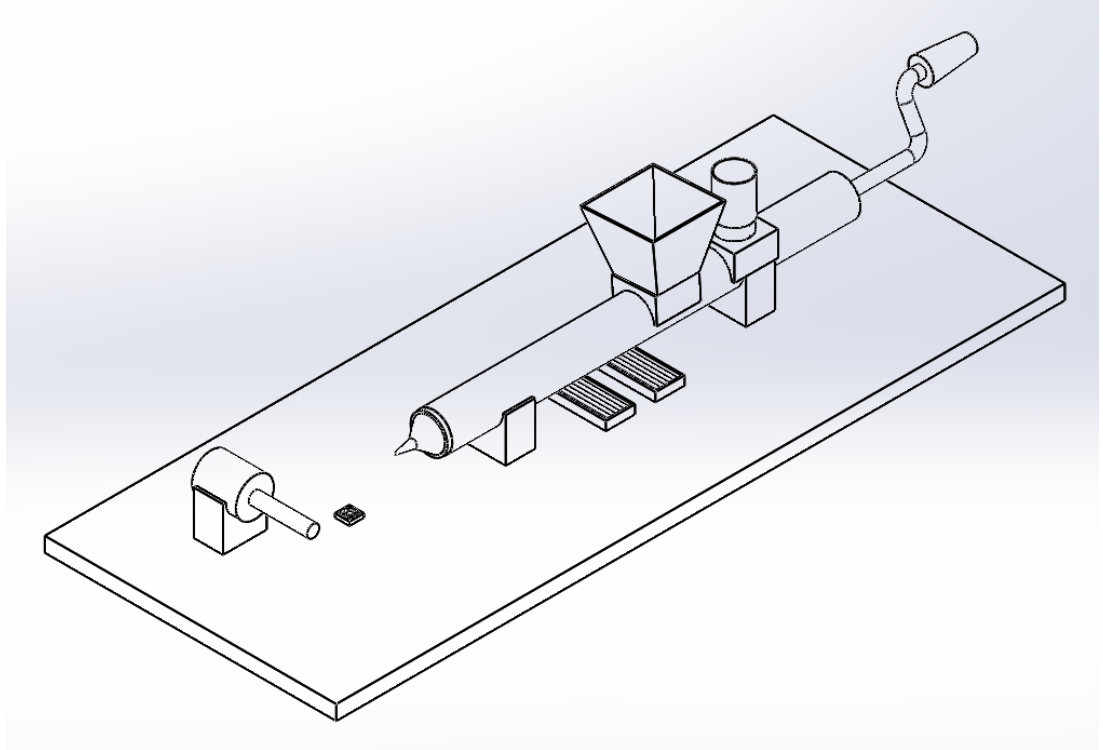


Figura 33 Concepto de solución N°3. Elaboración propia

4.2.5 Evaluación Técnica – Económica

Se realizará la evaluación técnica considerando los parametros de selección de la lista de deseos y exigencias respetando siempre el fin del funcionamiento de la máquina y buen uso de los componentes de esta, la evaluación económica determinará cuál de los modelos planteados es el que menor inversión o costo represente.

Tabla 17. Evaluación Técnica

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTOS Valor técnico (xi)							Universidad Continental Ingeniería Mecánica			
Proyecto: Máquina extrusora de polímeros										
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)										
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos										
Variante de concepto/proyectos			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
N°	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Buen uso de fuerza	3	3	9	2	6	3	9	4	12
2	Seguridad	4	2	8	4	16	3	12	4	16
3	Rapidez	4	2	8	4	16	2	8	4	16
4	Estabilidad	4	2	8	3	12	3	12	4	16
5	Rigidez	4	4	16	3	12	4	16	4	16
6	Manipulación	3	3	9	3	9	3	9	4	12
7	Confiabilidad	4	2	8	3	12	3	12	4	16
8	Complejidad	4	3	12	3	12	3	12	4	16
10	Fabricación	4	3	12	3	12	3	12	4	16
11	Mantenimiento	4	3	12	4	16	4	16	4	16
12	Montaje	4	2	8	3	12	2	8	4	16
13	Diseño	4	2	8	3	12	3	12	4	16
14	Ergonomía	4	3	12	4	16	2	8	4	16
15	Influencia del medio ambiente	3	2	6	3	9	3	9	4	12
Puntaje Maximo $\sum gp$			136		172		155		212	
Valor tecnico xi			0.64		0.81		0.73		1.0	

Elaboración Propia

Tabla 18. Evaluación Económica

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTOS Valor económico(yi)							Universidad Continental Ingeniería Mecánica				
Proyecto: Máquina extrusora de polímeros											
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (Ideal). g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.											
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos											
Variante de concepto/proyectos			Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
N°	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Número de piezas	4	2	8	3	12	3	12	4	16	
2	Costo de materiales	4	3	12	2	8	2	8	4	16	
3	Fácil adquisición de materiales	4	3	12	3	12	2	8	4	16	
4	Facilidad de montaje	4	3	12	4	16	3	12	4	16	
5	Facilidad de mantenimiento	4	3	12	4	16	2	8	4	16	
Puntaje Máximo $\sum gp$			56			64		48		80	
Valor económico yi			0.70			0.80		0.60		1.0	

Elaboración propia

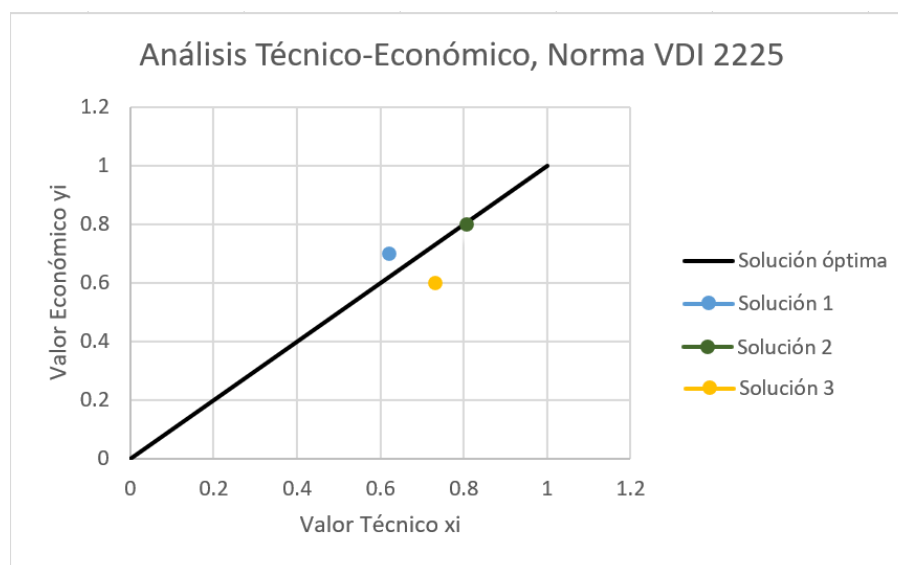
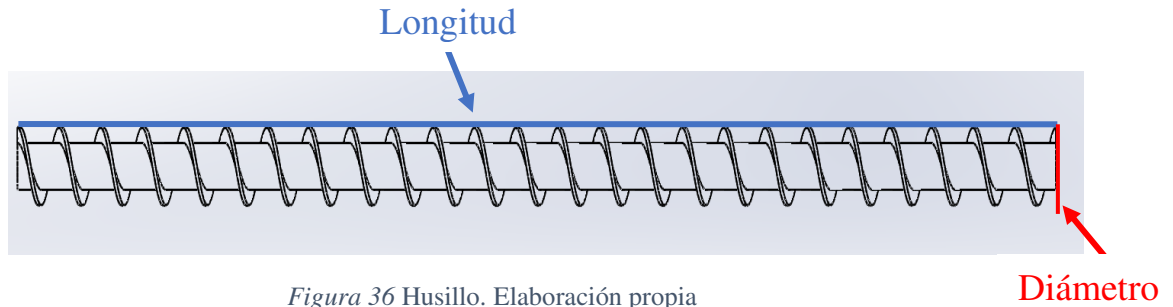


Figura 34 Evaluación Técnica - Económica

4.3 Diseño

4.3.1 Cálculo del husillo



- De acuerdo con Savgorodny nos menciona que tanto el diámetro y longitud deben estar en una relación entre 20 y 30 por lo tanto se define para el husillo un diámetro (D) de 23 mm y la longitud (L) de 460 mm, con estos datos hallaremos la relación de L/D

$$R = \frac{460}{23} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.1) \text{ pg. 17}$$

Obteniendo la relación, la cual se encuentra en los parámetros requeridos que es:

$$R = 20$$

- Para hallar paso del husillo:

$$t = 0.8 * 23 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.80) \text{ pg. 17}$$
$$t = 18.4 \text{ mm}$$

- Para la profundidad del canal se usó:

$$h = 0.16 * 23 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.3) \text{ pg. 17}$$
$$h = 3.68 \text{ mm}$$

- la anchura de la cresta del filete según:

$$e = 0.06 * 23 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.4) \text{ pg. 17}$$
$$e = 1.38 \text{ mm}$$

- la holgura radial entre la cresta del filete del husillo y el cilindro, utilizando:

$$\delta = 0.003 * 23 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.5) \text{ pg. 18}$$

$$\delta = 0.069 \text{ mm}$$

Conclusión:

Como conclusión se determinó un husillo de 460 mm de longitud y un diámetro de 23mm, estos resultados se detallan en la tabla 19 y el diseño en la figura 37

Tabla 19. Dimensiones del husillo

Longitud	460 mm
Diámetro	23 mm
Paso del husillo	18.4 mm
Profundidad del canal	3.68 mm
Anchura de la cresta del filete	1.38 mm
Holgura	0.069 mm

Elaboración Propia

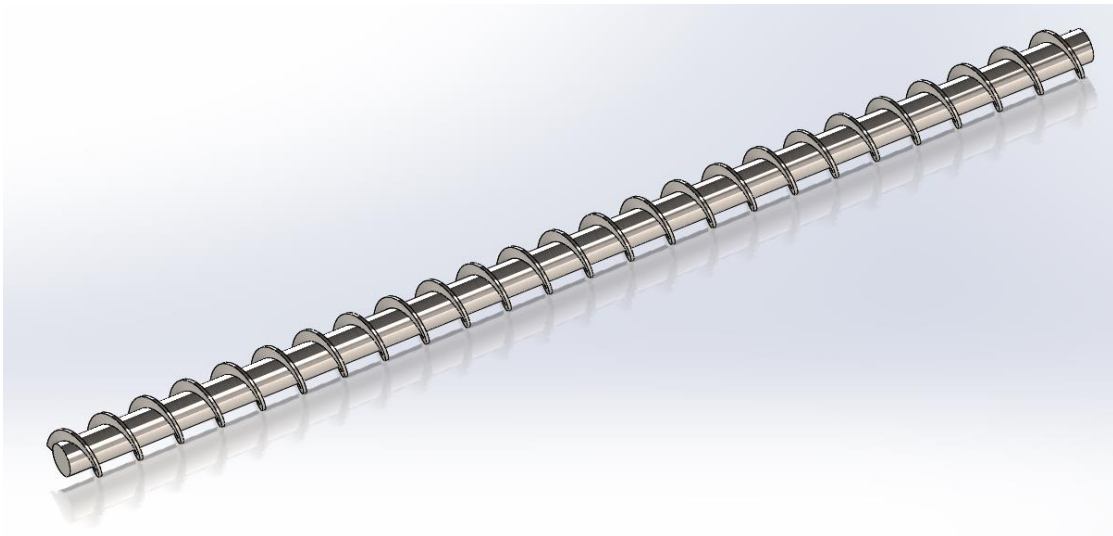


Figura 37 Diseño de husillo con los datos calculados. Elaboración propia

4.3.2 Cálculo de esfuerzos del husillo

Para hallar la fuerza del Husillo se definió que la extrusora va a procesar 2 kg equivalente a 4.4 lb y la gravedad específica del material en este caso PLA es de 1.24 cm³ entonces usamos las siguientes ecuaciones, el material del husillo debe tener una alta dureza para poder minimizar el desgaste generado por las partículas abrasivas.

De acuerdo con parra (2017) se considera el material bajo los siguientes parámetros:

- Temperatura de trabajo
- Disponibilidad y maquinabilidad
- Condiciones de operación
- Resistencia a la torsión

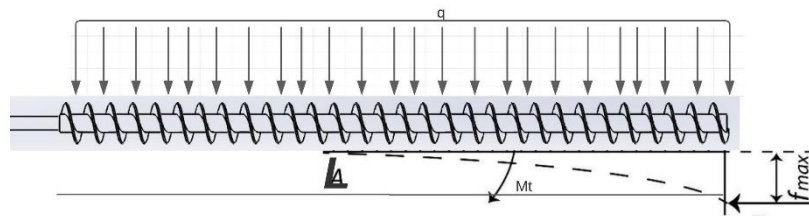


Figura 38 Fuerza del husillo. Elaboración propia

para poder adecuarse al libro de Savgorodny (1978). Se utilizó el sistema de medida inglés para este cálculo, se obtiene primero las RPM necesarias

$$n = \frac{4.4}{2.3 * 0.9^2 * 0.14 * 1.24} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.7) \text{ pg. 19}$$

$$n = 13 \text{ RPM}$$

- La potencia requerida:

$$N = \frac{13 * \pi * 23^3}{66.7^2} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.8) \text{ pg. 19}$$

$$N = 111.8 \text{ watts}$$

- Para hallar la relación de diámetros se aplica:

$$u = \frac{13.8}{23} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.12) \text{ pg. 20}$$

$$u = 0.6$$

- Diámetro del alma

$$d = 0.6 * 23 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.13) \text{ pg. 20}$$

$$d = 13.8 \text{ mm}$$

- Se calcula la superficie de la transversal del husillo con la ecuación:

$$F = \frac{\pi * 0.023^2}{4} * (1 - 0.6^2) [m^2] \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.14) \text{ pg. 20}$$

$$F = 2.66E^{-4} m^2$$

- Para hallar el momento de inercia en la sección se aplicó la ecuación:

$$J = \frac{\pi * 0.023^4}{64} * (1 - 0.6^4) \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.11) \text{ pg. 20}$$

$$J = 1.19E^{-8} m^4$$

- Para hallar el radio de inercia se utilizó la ecuación

$$R_i = \sqrt{\frac{1.19E^{-8}}{2.66E^{-4}}} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.10) \text{ pg. 20}$$

$$R_i = 6.7 E^{-3} m$$

- para comprobar la esbeltez del Husillo se aplicó la ecuación:

$$\lambda = \frac{2 * 0.46}{6.7 E^{-3}} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.9) \text{ pg. 19}$$

$$\lambda = 137.3$$

- calculó del Angulo de la hélice con la ecuación

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{18.4}{\pi * 23} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.17) \text{ pg. 21}$$

$$\varphi = 14.29^\circ$$

- Para calcular la presión aplicamos la ecuación

$$p = \frac{6 * \pi * 0.023 * 0.46 * (13/60) * 700}{0.00368^2 * \tan 14.29} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.16) \text{ pg. 21}$$

$$p = 8768669.43 N/m^2$$

$$p = 8.76 \frac{MN}{m^2} = 8.76 MPa$$

- Después de calcular la presión y la superficie de la sección transversal del husillo hallamos la fuerza axial en este:

$$P = 2.66E^{-4} * 8768669.43 [N] \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.15) \text{ pg. 20}$$

$$p = 2332 N$$

- Para hallar el momento de giro del Husillo aplicamos la ecuación

$$Mg = 9550 * \frac{0.111}{13} [N * m] \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.81) \text{ pg. 18}$$

$$Mg = 82.05 [N * m]$$

- Para calcular el Esfuerzo cortante máximo sobre la superficie del husillo aplicamos la ecuación

$$\tau = \frac{16 * 81}{\pi * 0.023^3 * (1 - 0.6^4)} \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.18) \text{ pg. 21}$$

$$\tau = 39.4 \left[\frac{MN}{M^2} \right]$$

- Para hallar el peso lineal del husillo aplicamos la ecuación

$$P_h = 7850 * 9.81 * 0.0002659 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.20) \text{ pg. 21}$$

$$P_h = 20.47 N$$

- Carga repartida (q):

$$q = \frac{20.47}{0.53} \left[\frac{N}{m} \right] \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.19) \text{ pg. 21}$$

$$q = 38.62 \left[\frac{N}{m} \right]$$

- Momento de flexión máxima con el material escogido

$$M_f = \frac{38.62 * 0.46^2}{2} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.22) \text{ pg. 22}$$

$$M_f = 4.08 \left[\frac{N}{m} \right]$$

- Momento con respecto al eje neutro

$$W_o = \frac{\pi * 0.023^3}{32} * (1 - 0.6^4) \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.23) \text{ pg. 22}$$

$$W_o = 1.04E^{-6} m^3$$

- Con los dos cálculos hallamos la Tensión Normal (σ)

$$\sigma = \frac{2332}{2.66E^{-4}} + \frac{4.08}{1.04E^{-6}} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.21) \text{ pg. 22}$$

$$\sigma = 12.68 \left[\frac{MN}{m} \right]$$

- Entonces se determina el esfuerzo cortante

$$\sigma_T = \sqrt{12.68^2 + 4 * 39.4^2} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.24) \text{ pg. 22}$$

$$\sigma_T = 79.81 \left[\frac{MN}{m^2} \right]$$

Se determina la flecha máxima cuando se aplica la carga repartida usando la elasticidad del material escogido

$$f_{max} = \frac{7850 * 9.81 * 0.0002659 * 0.46^4}{8 * 200E^9 * 1.19E^{-8}} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.25) \text{ pg. 22}$$

$$f_{max} = 4.79E^{-5} [m]$$

Al tener una flecha máxima menor que la holgura, no habrá interferencia entre el husillo y el eje al momento de su accionamiento.

- Se Determina el Factor de seguridad, con la resistencia de fluencia en tracción (Sy) 1110 MPa del material AISI 4340

$$n_s = \frac{1110 MPa}{79.81 MPa} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.26) \text{ pg. 22}$$

$$n_s = 14$$

Conclusiones:

Se obtiene un factor de seguridad aceptable de 14 basado en el esfuerzo cortante calculado, la potencia generada por el husillo es de 111.8 watts y 13 RPM, por lo

cual el motor a escoger deberá tener estas condiciones, esto y demás resultados se puede apreciar en la tabla 18.

Tabla 20. *Esfuerzos del husillo*

Revoluciones Por Minuto	13 RPM
Potencia requerida por el husillo	111.8 Watts
Diámetro del alma	13.8 mm
Presión Especifica	8.76 MPa
Fuerza axial	2332 N
Momento de giro	82.05 N.m
Carga repartida	38.62 N.m
Flecha máxima	4.79E-5 m
Esfuerzo von misses	79.81 MPa
Momento Flector	4.08 N/m
Factor de seguridad	14

Elaboración Propia

4.3.3 Cálculo del barril

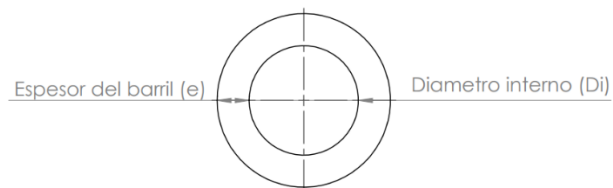


Figura 39 Dimensión del barril. Elaboración propia

Para el cálculo del barril se escogió un material acero AISI/SAE 316 debido a sus características de Fuerza de producción de 205 GPa y una resistencia a la tracción de 515 GPa y su resistencia a la corrosión.

- Diámetro Interior del barril:

$$D_i = 23 + 2 * 0.069 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.27) \text{ pg. 23}$$

$$D_i = 23.14 \text{ mm}$$

- Espesor mínimo del barril:

$$e = 0.01 \left\{ \sqrt{\frac{2 * \pi}{205 - 2 * \pi}} \right\} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.28) \text{ pg. 23}$$

$$e = 0.007 [m]$$

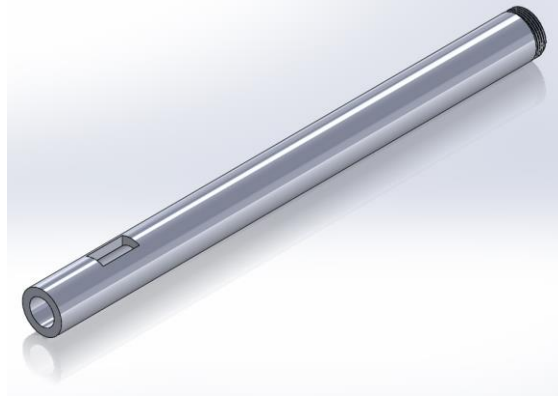


Figura 40 Diseño del barril. Elaboración Propia

Conclusión

para poder diseñar el barril se necesitará un acero AISI/SAE 316 que es acero inoxidable con un diámetro interno de 23.14 mm y un espesor de 7 mm

4.3.4 Cálculo de la Tolva

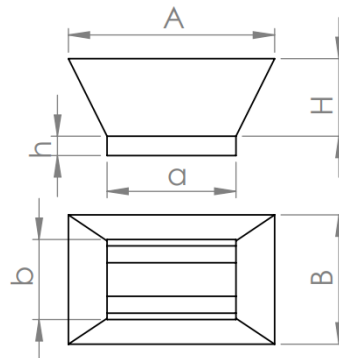


Figura 41 dimensiones de la Tolva. Elaboración propia

- Primero determinamos el volumen del material en la tolva

$$V_T = \frac{2}{1250} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.29) \text{ pg. 25}$$

$$V_T = 0.0016 [m^3]$$

- Para el conducto de alimentación

$$L_a = 1.5 * 23.14 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.31) \text{ pg. 25}$$

$$L_a = 34.17 \text{ mm}$$

$$A_a = 0.7 * 23.14 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.32) \text{ pg. 25}$$

$$A_a = 16.20 \text{ mm}$$

- primero se escogió los datos para las dimensiones las cuales se aprecian en la tabla N° 21 y para calcular el volumen de alimentación en la tolva se usó la siguiente ecuación:

$$V_a = \frac{0.2}{6} * [(2 * 0.1708 + 0.0342) * 0.162 + (2 * 0.1708 + 0.0342) * 0.0162]$$

$$\text{Ec. N}^\circ (2.2.30) \text{ pg. 25}$$

$$V_a = 0.0022 [m^3]$$

Conclusión

Las dimensiones “A” fue cinco veces más grandes que “a” y “B” diez veces más grande que “b”, H fue la mitad de h se escogieron así para poder tener una proporcionalidad en el diseño y la longitud de la apertura(La) y ancho de apertura (Aa) se adecuando a las dimensiones del barril y su capacidad de volumen, en la tabla N°21 se aprecian las dimensiones asignadas, el volumen que puede soportar la tolva satisface al volumen del material que se quiere procesar, en la figura 42 se aprecia el diseño de la tolva.

Tabla 21. Dimensiones de la tolva

a= 0.0342 m	A= 0.171 m
b= 0.016 m	B= 0.16 m
h= 0.1 m	H=0.2 m
La= 0.034.17 m	Aa= 0.016 m

Elaboración propia

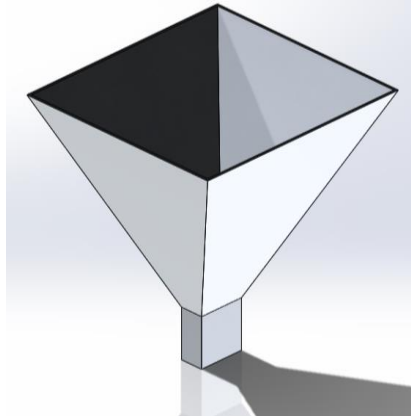


Figura 42 Diseño de la Tolva. Elaboración Propia

4.3.5 Cálculo de calentadores

4.3.5.1 Cálculo del coeficiente de convección

- Primero hallamos la Temperatura de película con la ecuación N°, Se considera la Temperatura ambiente promedio de 23°C ya que es la temperatura comúnmente registrada en el ambiente donde se realizará el proceso de extrusión y la temperatura final del material PLA será 180°C un promedio entre los 160 °C y 200 °C una temperatura adecuada para que el material fluya de manera uniforme, la variación de temperatura entre °C y K es la misma:

$$T_f = \frac{(180 + 23)}{2} \quad \text{Ec. N° (2.2.35) pg. 27}$$

$$T_f = 102^\circ [C]$$

Los siguientes datos se determinando con el software EES con la presión atmosférica de 101.35 [kPa]

Temp_f=374.5 [K]

P_atm=101.325 [kPa]

k=Conductivity (Air_ha, T=Temp_f, P=P_atm)

Pr=Prandtl (Air_ha, T=Temp_f, P=P_atm)

γ =Kinematic Viscosity (Air_ha, T=Temp_f,P=P_atm)

Número de Prandtl: 0.7004

Viscosidad Cinemática: $23.3 E^{06} [\frac{m^2}{s}]$

Conductividad Térmica: $0.03171 \left[\frac{W}{m-K} \right]$

- se calcula el coeficiente de expansión volumétrica

$$\beta = \frac{1}{374.5} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.55) \text{ pg. 32}$$

$$\beta = 2.67E^{-03}$$

- La variación de la temperatura se determina con la ecuación

$$\Delta T = 180 - 23[^\circ\text{C}] \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.37) \text{ pg. 28}$$

$$\Delta T = 157 [C]$$

- Determinamos el Numero de Grashof

$$Gr = \frac{2.67E^{-03} * 9.81 * 157 * 0.038^3}{23.3E^{06^2}} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.36) \text{ pg. 27}$$

$$Gr = 41.52 E^4$$

- Para el número de Rayleigh se aplica:

$$Ra = 0.7004 * 41.52E^4 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.38) \text{ pg. 28}$$

$$Ra: 2.91E^5$$

- Con los anteriores cálculos podemos determinar el número de Nussel de acuerdo con Cengel de la figura 9, se usa:

$$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 * (2.91E^5)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{0.7004} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.39) \text{ pg. 28}$$

$$Nu = 10.32$$

- Con estos datos determinamos el Coeficiente de convección:

$$h_c = \frac{10.32 * 0.3171}{0.038} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.40) \text{ pg. 28}$$

$$h_c = 8.61 \left[\frac{W}{m^2 - K} \right]$$

4.3.5.2 Cálculo del coeficiente de radiación

- Para calcular el Coeficiente de radiación se usó la ecuación N°, La emisividad del acero AISI 316 (ϵ_1) es de 0.27

$$h_r = \frac{0.27 * 5.67 \times 10^{-8} * (453^4 - 293^4)}{(453 - 293)} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.42) \text{ pg. 29}$$

$$h_r = 3.36 \left[\frac{W}{m^2 - K} \right]$$

4.3.5.3 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor (h)

- Ya teniendo los coeficientes de radiación y convección determinamos el coeficiente total con la ecuación

$$h = 8.61 + 3.36 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.34) \text{ pg. 26}$$

$$h = 12 \left[\frac{W}{m^2 - K} \right]$$

4.3.5.4 Cálculo de pérdida de calor

- Primero para poder hallar el Área de transferencia de calor

$$S = \pi * 0.038 * 0.46 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.44) \text{ pg. 29}$$

$$S = 0.055 m^2$$

- Se calcula la pérdida de calor por convección con la ecuación:

$$Q_c = 8.61 * 157 * 0.055 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.43) \text{ pg. 29}$$

$$Q_c = 74.34 [W]$$

- Se calcula la pérdida de calor por radiación

$$Q_r = 0.055 * 0.27 * 5.67 \times 10^{-8} * (453^4 - 293^4) \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.45) \text{ pg. 29}$$

$$Q_r = 29.25 [W]$$

- Se determina el incremento de la energía interna del polímero, el Cp del polímero es de 0.2820[kCal/kg-C]

$$Esp = 2 * 0.2820 * (453 - 293) \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.46) \text{ pg. 29}$$

$$Esp = 88.55 \left[\frac{kcal}{h} \right]$$

$$Esp = 103 [Watts] = Qn$$

- Se calcula la energía que sale del sistema:

$$E_s = 29.25 + 74.34 + 103 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.47) \text{ pg. 30}$$

$$E_s = 206.59 \text{ [Watts]}$$

- Se determina la potencia requerida, El calor Q es el calor entregado por las resistencias 800 [Watts]:

$$Q_{real} = 800 - 29.25 - 74.34 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.48) \text{ pg. 30}$$

$$Q_{real} = 696.41 \text{ [Watts]}$$

- Luego de los cálculos se halla la variación de la temperatura con respecto al Tiempo, la masa del barril (mb) es 2.4 kg y la masa del husillo (mh) es 0.6 kg, el cp del husillo (cph) y el barril (cpb) es 0.12 [kCal/kg-K]:

$$T_{(t)} = \left[1 - e^{-\frac{8.61 \cdot 0.055}{2.4 \cdot 0.12 + 0.6 \cdot 0.12} t} \right] * \left(\frac{696.41}{8.61 * 0.055} \right) + 296$$

$$\text{Ec. N}^\circ (2.2.33) \text{ pg. 26}$$

Conclusión

Se usará 4 calentadores de 200 Watts haciendo un total de 800 watts, estos deben cumplir dos papeles importantes, suministrar el calor necesario a la máquina y cubrir la suficiente área para que el material logre su temperatura de trabajo y moldeado, de la potencia requerida para el proceso es de 696.41 Watts, los resultado se ven en la tabla N° 22

Tabla 22. *Cálculo para la selección de calentadores*

Coefficiente de transferencia de calor	12 $\left[\frac{W}{m^2-K} \right]$
Perdida de calor por radiación	29.25 [Watts]
Perdida de calor por Convección	74.34 [Watts]
Potencia requerida	696.41 [Watts]
Potencia de 4 calentadores	800 [Watts]

Elaboración Propia

Con la ecuación N° 2.2.23 determinamos el aumento de temperatura respecto al tiempo la cual se aprecia en la figura 43

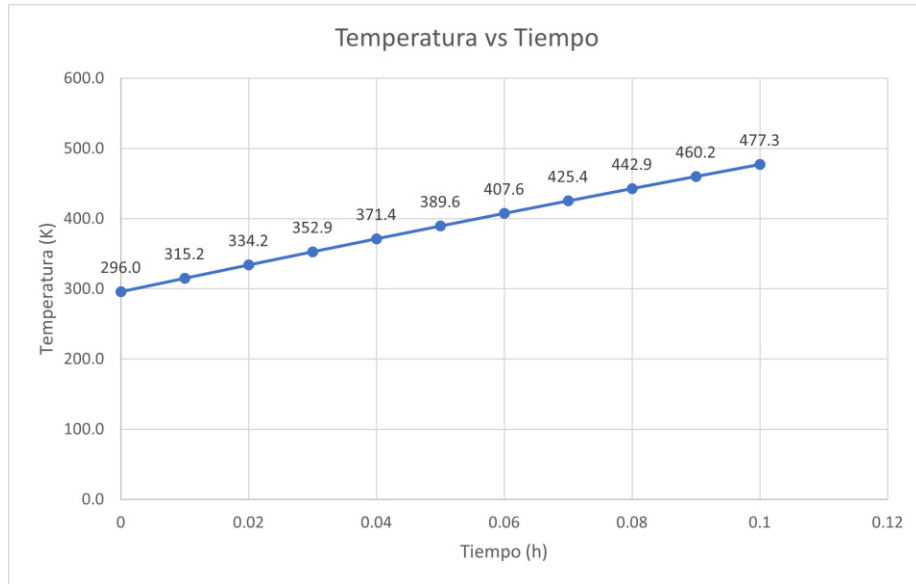


Figura 43 Cambio de temperatura respecto al tiempo

Conclusión:

Se puede observar que con los calentadores la temperatura en el husillo va a llegar a 453 [K] en 0.085 h que es equivalente a 5 minutos. En el siguiente punto se calculará aislantes para saber si se puede reducir este tiempo.

4.3.6 Cálculo de Aislamiento

Debido a que el proceso de calentamiento tarda alrededor de 5 min, utilizaremos aisladores para poder reducir este tiempo, el material del aislamiento es fibra cerámica de 2 pulgadas.

Conductividad térmica de la fibra cerámica: k: 0.45 [W/m-K]

Calor específico de la fibra de la fibra cerámica: Cp.: 1130 [J/kg-K]

- Para el cálculo del radio crítico del aislamiento, se utiliza:

$$R_{cr} = \frac{k_{mat}}{h_c} \quad \text{Ec. N° (2.2.51) pg. 30}$$

$$R_{cr} = \frac{0.45}{8.61}$$

$$R_{cr} = 0.05 \text{ m}$$

- El radio critico es de 50 mm, pero para mayor facilidad se consideró un aislamiento de 2 pulgadas

r1:0.019 [m]

r2:0.069 [m]

L:0.46 [m]

- Se determina la resistencia por conducción

$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{0.069}{0.019}\right)}{2 * \pi * 0.46 * 0.038} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.52) \text{ pg. 31}$$

$$R_{cond} = 11.74$$

- Y la resistencia por convección se calcula:

$$R_{conv} = \frac{1}{8.61 * (\pi * 0.069 * 0.46)} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.53) \text{ pg. 31}$$

$$R_{conv} = 1.16$$

- El cálculo de la resistencia total es la sumatoria de las dos resistencias:

$$R_{total} = 11.74 + 1.16 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.50) \text{ pg. 30}$$

$$R_{total} = 12.9$$

- Entonces se calcula el calor de salida con las resistencias:

$$Q_{sa} = \frac{453 - 296}{12.9} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.49) \text{ pg. 30}$$

$$Q_{sa} = 12.09 \text{ [Watts]}$$

- Se reemplaza el calor de salida de las resistencias

$$Q_{real} = 800 - 29.35 - 12.09 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.48) \text{ pg. 30}$$

$$Q_{real} = 758.56 \text{ [Watts]}$$

- Y el resultado se reemplaza en:

$$T(t) = \left[1 - e^{-\frac{12 * 0.055}{2.4 * 0.12 + 0.6 * 0.12} * t} \right] * \left(\frac{758.56}{12 * 0.055} \right) + 296$$

$$\text{Ec. N}^\circ (2.2.33) \text{ pg. 26}$$

Conclusión

Al aumentarle un aislante se obtiene un nuevo calor real de 758.56 watts, al momento de hacer la comparación con el calor anterior se observa que en la figura 44 el aumento de temperatura respecto al tiempo es mínimo 0.08 h, por lo cual no es necesario el uso de aislante para calentar el barril, sin embargo, son necesarios para mantener la temperatura de trabajo y evitar la transferencia de calor al ambiente.

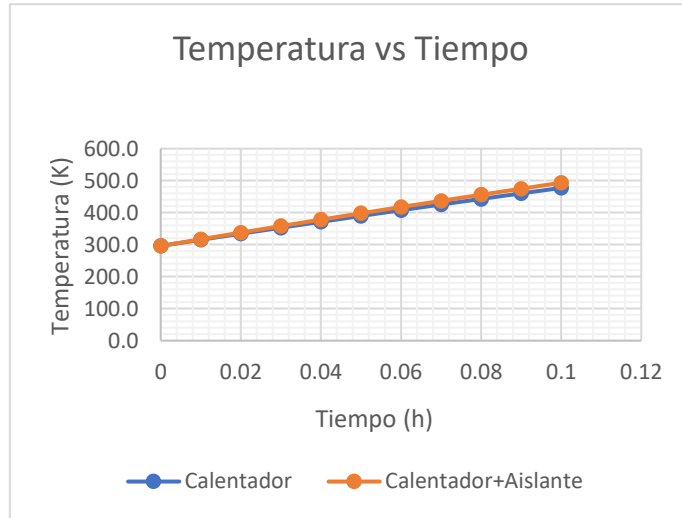


Figura 44 Variación de temperatura con el aislador

4.3.7 Cálculo de Ventilador

- Antes de del cálculo del ventilador se establece la temperatura de salida del material a 185°C con un caudal de $5.55 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ y la temperatura Ambiente a 23°C, Se considerará como temperatura de película de acuerdo con la siguiente ecuación

$$T_f = \left(\frac{185 + 23}{2} \right) \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.54) \text{ pg. 31}$$

$$T_f = 104^\circ [C] = 377 [K]$$

- Los siguientes datos se determinando con el software EES con la presión atmosférica de 101.35 [kPa]

$$\text{Temp}_f = 377 [K]$$

$$P_{\text{atm}} = 101.325 [kPa]$$

k=Conductivity (Air_ha, T=Temp_f, P=P_atm)

Pr=Prandtl (Air_ha, T=Temp_f, P=P_atm)

γ =Kinematic Viscosity (Air_ha,T=Temp_f,P=P_atm)

Pr: Número de Prandtl: 0.7002

γ :Viscosidad Cinemática: $23.57 E^{-06} [\frac{m^2}{s}]$

K: Conductividad Térmica: $0.03189 [\frac{W}{m-K}]$

- se calcula el coeficiente de expansión volumétrica

$$\beta = \frac{1}{377} \quad \text{Ec. N° (2.2.55) pg. 32}$$

$$\beta = 2.65E^{-3} [k^{-1}]$$

- La variación de la temperatura se determina con la ecuación

$$\Delta T = 185 - 23 [^{\circ}C]$$

$$\Delta T = 162 [C]$$

- Determinamos el Numero de Grashof

$$Gr = \frac{2.65E^{-03} * 9.81 * 162 * 0.00175^3}{23.57E^{-06^2}} \quad \text{Ec. N° (2.2.56) pg. 32}$$

$$Gr = 40.62$$

- Para el número de Rayleigh la siguiente ecuación:

$$Ra: 0.7002 * 40.62$$

$$Ra: 28.45$$

- Con los anteriores cálculos podemos determinar el número de Nussel de acuerdo con Cengel de la figura 9, se usa:

$$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 * 28.45^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{0.7002} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad \text{Ec. N° (2.2.57) pg. 32}$$

$$Nu = 1.35$$

- Con estos datos determinamos el Coeficiente de convección:

$$h_c = \frac{1.35 * 0.03189}{0.00175} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.58) \text{ pg. 32}$$

$$h_c = 24.60 \left[\frac{W}{m^2 - K} \right]$$

- Se calculará el área superficial A_s según la longitud que se desea enfriar $L=15\text{cm}$

$$A_s = \pi * 0.00175 * 0.10 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.59) \text{ pg. 32}$$

$$A_s = 0.00055[m^2]$$

- Con este valor calcularemos la potencia calorífica que se pierde por convección natural Q_n en esta sección:

$$Q_n = 24.60 * 0.00055 * 162 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.60) \text{ pg. 33}$$

$$Q_n = 2.19 [Watts]$$

- Para conocer el flujo de aire requerido para enfriar el material primero calcularemos el número de Reynold

Se toma como ventilador el modelo XTECH XTA102

Con una velocidad de aire en el ventilador de: 14 [m/s]

Y el Flujo masico en el ventilador de; 18.80 [CFM]

$$R_{e_2} = \frac{14 * 0.00175}{23.57E^{-6}} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.61) \text{ pg. 33}$$

$$R_{e_2} = 1039.46$$

- Con este cálculo determinamos el número de nussel de acuerdo con la figura 10.

$$Nu_2 = 0.683 * 1039.46^{0.466} * 0.7002^{1/3} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.62) \text{ pg. 31}$$

$$Nu_2 = 15.44$$

- Se calcula el coeficiente de transferencia de calor h_{c2} .

$$h_{c2} = \frac{15.44 * 0.03189}{0.00175} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.63) \text{ pg. 33}$$

$$h_{c2} = 281.36 \left[\frac{W}{m^2 - K} \right]$$

- Para conocer la potencia calorífica del ventilador se usa:

$$Q_v = 281.36 * 0.00055 * 162 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.64) \text{ pg. 33}$$

$$Q_v = 25.1 \text{ [Watts]}$$

- Se determina la masa m del filamento con el siguiente calculo:

$$m = 1.25 * \frac{1}{6} * \pi * 0.00175^3 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.65) \text{ pg. 34}$$

$$m = 3.5E^{-9} \text{ [kg]}$$

- Entonces el calor total sería, cp del filamento PLA es $1.18E^3 \text{ [J/kg-C]}$

$$Q_{total} = 3.5E^{-9} * 1.18E^3 * 162 \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.66) \text{ pg. 34}$$

$$Q_{total} = 0.000669 \text{ [J]}$$

- Teniendo todos estos valores calcularemos el tiempo que se requiere para enfriar el filamento usando la siguiente formula.

$$\Delta T = \frac{0.000669}{25.1} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.67) \text{ pg. 34}$$

$$\Delta T = 0.0000266 \text{ [s]}$$

Conclusión:

el ventilador escogido es el adecuado para poder enfriar el filamento, esta demora 0.000026 segundos para que el filamento vuelva a estar en una temperatura ambiente sus características del ventilador se observan en la tabla N° 6, los resultados de este punto se observan en la siguiente Tabla.

Tabla 23. *Cálculo para la selección de ventilador*

Coeficiente de transferencia de calor $\left[\frac{W}{m^2-K}\right]$	281.36
Potencia calorífica del ventilador [Watts]	25.1
Número de Reynold	1039.46
Calor total [J]	0.000669
Potencia calorífica del ventilador [Watts]	25.1

Elaboración Propia

4.3.8 Cálculo del eje de transmisión

- Para poder diseñar el eje de transmisión se usó la teoría de esfuerzo cortante máximo y la teoría de Von Mises, considerando un esfuerzo admisible del material acero AISI 4340 es 1110 MPa

- Teoría de esfuerzo cortante máximo

Factor de seguridad(n): 3

Momento torsor (Mg): 82.05 Nm

Fa: 2332 N

Mf: 4.08 Nm

$$d^3 = \frac{32 * 3}{\pi * 1110E6} \sqrt{\left(4.08 + 2332 * \frac{0.023}{8}\right)^2 + 82.05^2} \quad \text{Ec. N° (2.2.68) pg. 37}$$

$$d < 0.014 \text{ m}$$

- Teoría de Von mises

$$d^3 = \frac{32 * 3}{\pi * 110E6} \sqrt{\left(4.08 + 233 * \frac{0.023}{8}\right)^2 + 3 * \left(\frac{82.05}{2}\right)^2} \quad \text{Ec. N° (2.2.69) pg. 37}$$

$$d < 0.015 \text{ m}$$

- Se calcula Se' (Límite de resistencia a la fatiga de la muestra)
- El Su de acuerdo con el material AISI 4340 es de 1110 MPa, como nuestro Su es menor a 1380 se usa la siguiente formula

$$S_e' = 0.504 * 1110 \quad \text{Ec. N° (2.2.72) pg. 39}$$

$$S_e' = 547.84 \text{ MPa}$$

- Se calcula Ka

$$K_a = 4.45 * 1087^{-0.265} \quad \text{Ec. N° (2.2.73) pg. 39}$$

$$K_a = 0.70$$

- Para el cálculo de Kb

$$K_b = \left(\frac{15}{7.62}\right)^{-0.1133} \quad \text{Ec. N° (2.2.74) pg. 40}$$

$$K_b = 0.93$$

- Para el cálculo de K_c , se toma una confiabilidad del 50% por lo tanto

$$K_c = 1$$

- Para el cálculo de K_d , según la temperatura máxima de trabajo de 180°, Shigley y Mitchell recomiendan utilizar $K_d = 1$ si la Temp < 450° C:

$$K_d = 1$$

- Para el cálculo de k_e , se considera que va a haber un proceso de manufactura, Esfuerzos residuales, se considera un

$$K_e = 1$$

- Se calcula el factor del límite de resistencia a la fatiga del elemento

$$S_e = 0.70 * 0.93 * 1 * 1 * 1 * 547.84 \quad \text{Ec. N° (2.2.71) pg. 39}$$

$$S_e = 356.64 \text{ MPa}$$

- La resistencia alternante y media

$$\sigma'_a = \frac{4.08 * 32}{\pi * 0.015^3} \quad \text{Ec. N° (2.2.75) pg. 40}$$

$$\sigma'_a = 12.31 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{3} * \left(\frac{82.05 * 16}{\pi * 0.015^3} \right) \quad \text{Ec. N° (2.2.76) pg. 40}$$

$$\sigma'_m = 80.42 \text{ MPa}$$

- Estimación de factor de seguridad por fatiga del diámetro calculado, calculado por el criterio de la forma elíptica de la norma ASME

$$\left(\frac{12.31}{356.64} \right)^2 + \left(\frac{80.42}{1110} \right)^2 = \frac{1}{n^2} \quad \text{Ec. N° (2.2.70) pg. 38}$$

$$n = 12.25$$

Conclusión

se obtuvo que el eje va a tener un diámetro de 15 mm y una longitud de 70 mm, con un factor de seguridad de 12.25, el diseño se observa en la figura 45.

Tabla 24. Dimensiones de la chaveta

Diámetro del árbol d, mm	Medida nominal de la chaveta, mm		Medida nominal del chavetero, mm				
	bxh	Chafilán S		Profundidad		Radio r	
		Max	Min	En el árbol, t1	En el cubo, t2	Max	Min
6 a 8	2x2	0,25	0,16	1,2	1	0,16	0,08
8 a 10	3x3			1,8	1,4		
10 a 12	4x4			2,5	1,8		
12 a 17	5x5	0,4	0,25	3	2,3	0,25	0,15
17 a 22	6x6			3,5	2,5		
22 a 30	7x7			4	3,3		
22 a 30	8x7			4	3,3		
30 a 38	10x8	0,6	0,4	5	3,3	0,4	0,25
38 a 44	12x8			5	3,3		
44 a 50	14x9			5,5	3,8		
50 a 58	16x10			6	4,3		
58 a 65	18x11			7	4,4		
65 a 75	20x12	0,8	0,6	7,5	4,8	0,6	0,4
75 a 85	22x14			9	5,4		
85 a 95	25x14			9	5,4		
95 a 110	28x16			10	6,4		
1110 a 130	32x18	1,2	1	11	7,4	1	0,7
130 a 150	36x20			13	8,4		
150 a 170	40x22			13	9,4		
170 a 200	45x25			15	10,4		
200 a 230	50x26			17	11,4		

Nota: Tomado de: Parra 2018

- La falla por corte se aplicará a lo largo(l), el Sy del acero SAE 1020 es de 393 Mpa. Entonces L será

$$l > \frac{10940 * 2 * 3}{5 * 393} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.78) \text{ pg. 40}$$

$$l > 33.4 \text{ mm}$$

En conclusión, se determina los resultados en la tabla 25 y el diseño en la figura 46.

Tabla 25. Dimensiones de la chaveta con los cálculos

b	5 mm
h	5 mm
Lmin	33.4 mm
t1	3 mm
t2	2.3 mm

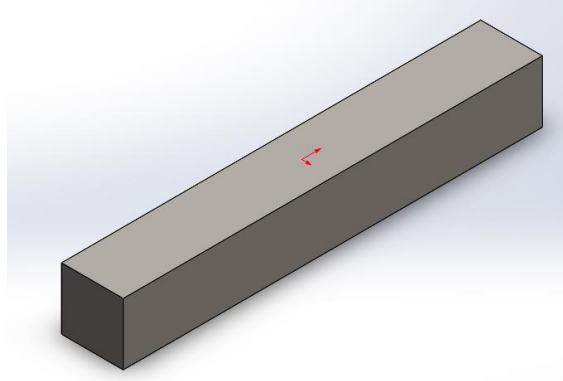


Figura 46 Diseño de la chaveta. Elaboración Propia

4.4 Selección de Componentes Externos

Se realizó una selección de los componentes externos dado los resultados de los cálculos obtenidos

4.4.1 Motor Eléctrico

Para el motor principal se tuvo de resultado que deberá ser de 111 Watts y que tenga una velocidad 13 RPM, es por esto por lo que se seleccionó un motorreductor de 24 V con velocidad regulable, una potencia del motor que va de 90 Watts a 15 kW, con un diámetro del eje de 10 mm a 31 mm, a comparación de un motor eléctrico el motorreductor te permite trabajar con unas RPM específicas y sin perder potencia, también al tener una transmisión de potencia esta mejora su eficiencia.



Figura 47 motorreductor de 90 watts - 1500 watts. Tomado de <https://bit.ly/3p7FkXu>

4.4.2 Calentadores

Siguiendo el criterio de solución de la solución N° 2, se usarán cuatro calentadores de tipo mordaza de latón de 200 watts cada uno con un diámetro regulable desde 25mm

hasta 150 mm, un rango de altura de 25 mm a 70 mm, estos parámetros son modificables según lo requerido.

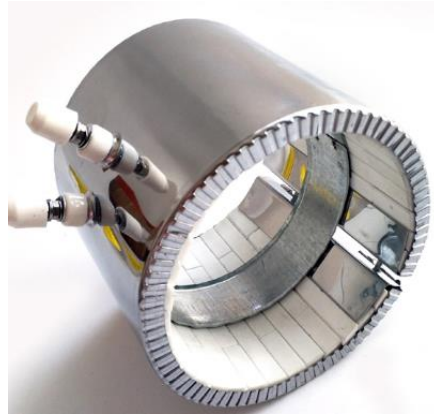


Figura 48 Calentador de 200 Watts. Tomado de <https://n9.cl/rxey>

4.4.3 Controlador de temperatura

Para automatizar el sistema de calentamiento de la extrusora y controlar la temperatura de los calentadores usaremos un controlador de temperatura digital el cual cuenta con un sensor de temperatura y un administrador de potencia monitoreado por el sistema de control de temperatura el cual suministrara la energía requerida a los calentadores.



Figura 49 Controlador de temperatura. Fuente: <https://n9.cl/7ouui>

4.4.4 Ventiladores

De acuerdo con los cálculos obtenidos para el enfriamiento del filamento se optó por un ventilador de 1500 RPM con un diámetro de 90 mm y una altura de 25 mm



Figura 50 Ventilador XTECH XTA102 de Xtech. Tomada de “Intercompras.com”, por: <https://bit.ly/34DJ7UB>

4.4.5 Placa Rompedora

Para la placa rompedora se tomará el diámetro externo e interno del barril y se aplicará un roscado exterior al barril y un interior a la placa rompedora, el diámetro es de 38 mm, material acero. Para los filtros el material será acero inoxidable

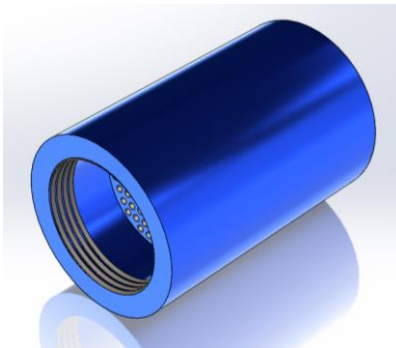


Figura 51 Diseño de la placa rompedora. Elaboración Propia

4.4.6 Troquel

Debido a que se requiere que el filamento tenga un diámetro de 1.75 mm se debe seleccionar un troquel que proporcione el diámetro requerido y pueda soportar la fuerza de descarga, tendrá una entrada de 1 cm y una salida de 1.75 mm, el interior será cónico, pero tendrá la forma cilíndrica en su exterior para evitar deformaciones.



Figura 52 Diseño del troquel. Elaboración Propia

4.4.7 Motor Secundario

Para el motor secundario se necesita saber la velocidad de salida del filamento, de acuerdo con Parra las velocidades de salida para el PLA en un diámetro de 1,75 mm son de 0.0279 y para 3 mm es de 0.02, y un diámetro externo del rodete de 9 cm por lo tanto los rpm necesarios se calculada de:

$$n = \frac{0.0279 * 1000 * 60}{\pi * 90 \text{ mm}} \quad \text{Ec. N}^\circ (2.2.79) \text{ pg. 40}$$

$$n = 5.9 \text{ [rpm]}$$

Por consiguiente, se escogió un motor de corriente continua de 6 rpm, con un diámetro del eje de 6 mm.



Figura 53 Motor de CC de 6 RPM. Tomado de <http://www.superrobotica.com/s330144.htm>

4.4.8 Rodete

Para el rodete se seleccionará un rodete con un diámetro interno de 30 mm y un diámetro para el eje del motor de 6 mm, según los cálculos que se hizo para la selección de los rpm del motor secundario

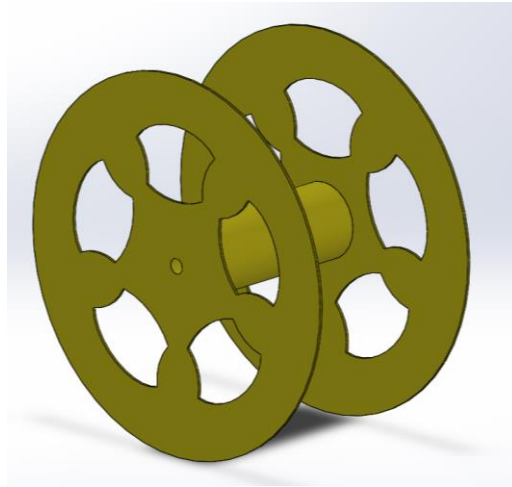


Figura 54 Rodete. Elaboración Propia

4.4.9 Trituradora

Para la selección de la tritura se analizó los datos obtenidos de Porras (2018) donde concluye lo siguiente: para una capacidad de producción de 0.5 kg por hora, se necesita una velocidad de 15 RPM y una potencia de 335 Watts para Termoplásticos de impresión 3D, por lo cual se empleará una trituradora pequeña la cual suplirá la necesidad del procesar la merma generada por las impresoras 3D.



Figura 55 Máquina de trituración. Tomado de: <https://n9.cl/5jqw>

Conclusión de componentes externos:

Luego de realizar la selección de los componentes adicionales para la maquina extrusora se realizó el diseño final de toda la estructura, la cual se puede apreciar en las siguientes figuras

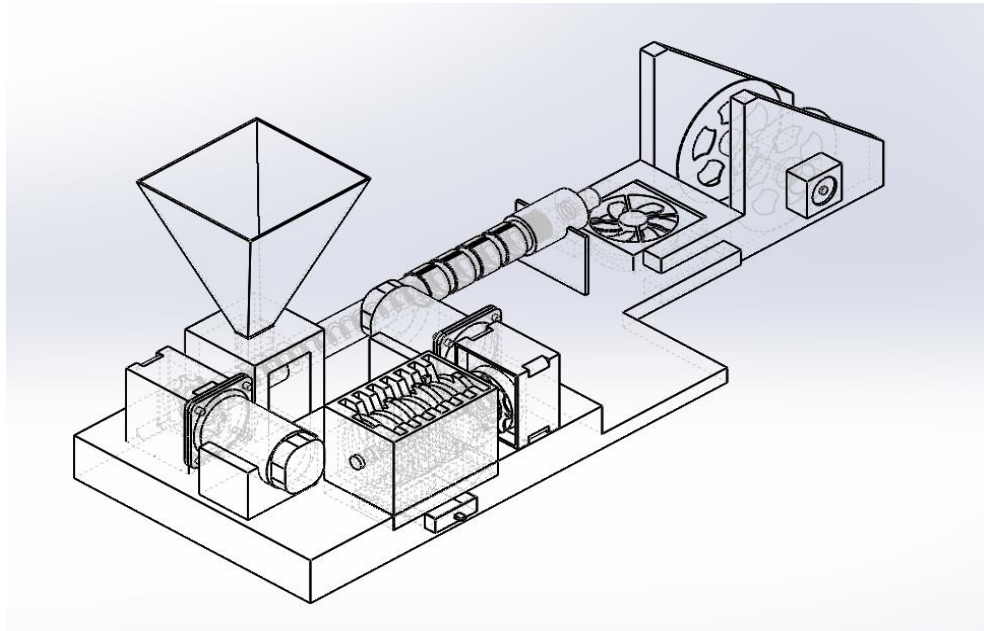


Figura 56 Ensamblaje final de la máquina extrusora vista 1

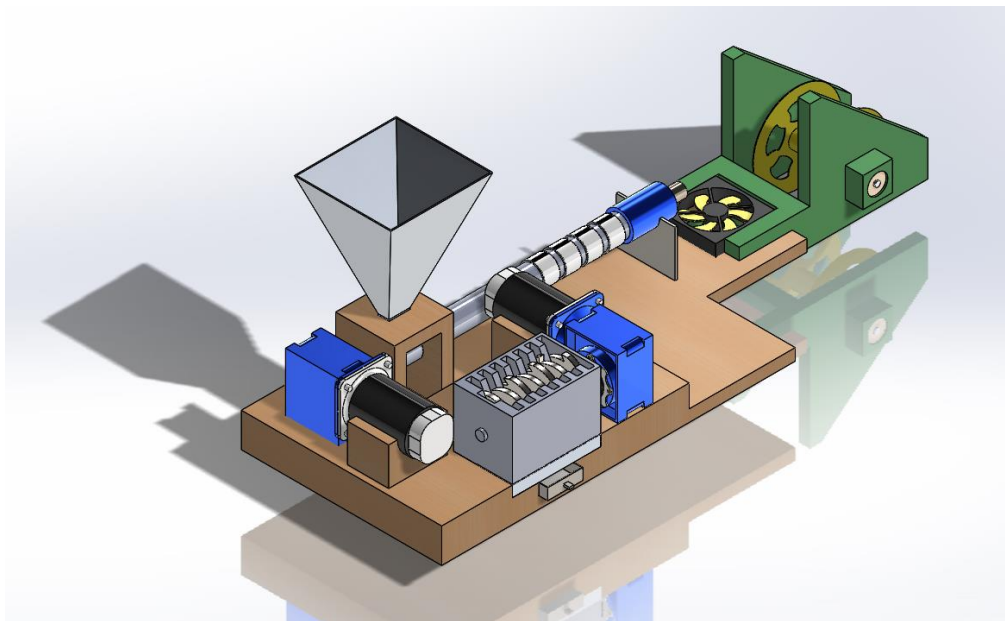


Figura 57 Ensamblaje final de la máquina extrusora vista 2

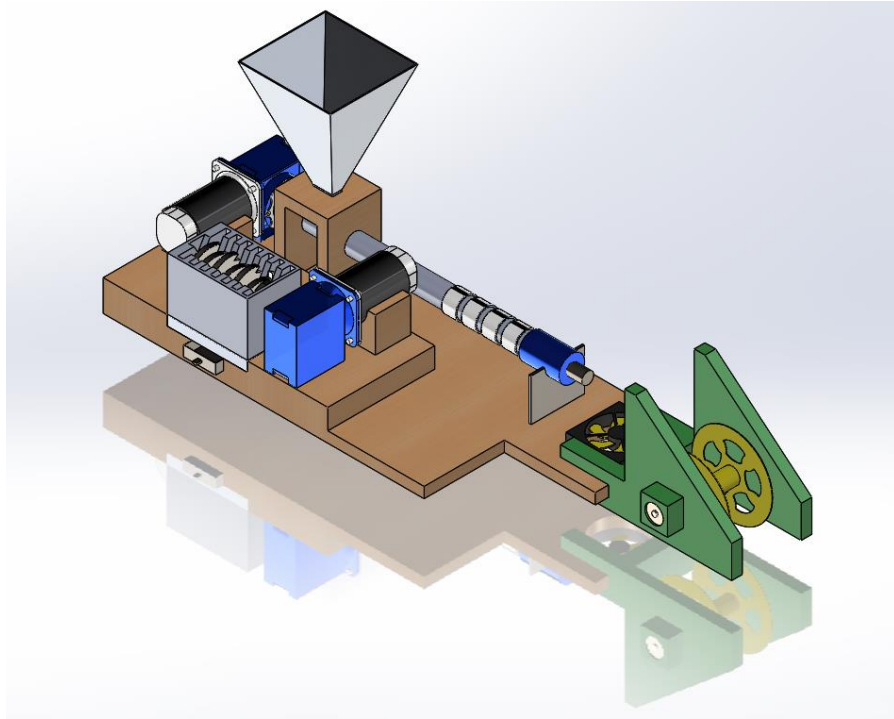


Figura 58 Ensamblaje final de la máquina extrusora vista 3

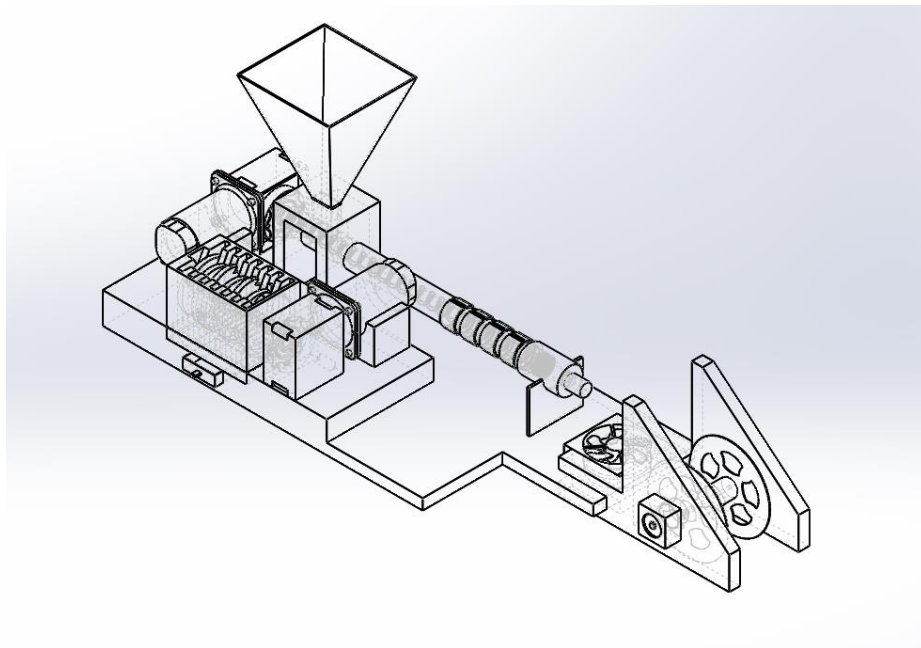


Figura 59 Ensamblaje final de la máquina extrusora vista 4

CAPÍTULO V SIMULACIONES

5.1 Simulaciones

5.1.1 Simulación de esfuerzos del eje

Con el material SAE/AISI 4340 teniendo en cuenta su densidad, resistencia de fluencia en tracción (S_y) y el esfuerzo último en tracción (S_u), ya realizado los cálculos de manera analítica, obteniendo:

- El momento flector: 4.08 N/m
- El momento torsor: 82.05 N/m
- La fuerza axial: 3222 N
- Tensión máxima de von mises $\sigma_T = 79.81 \left[\frac{MN}{m^2} \right]$

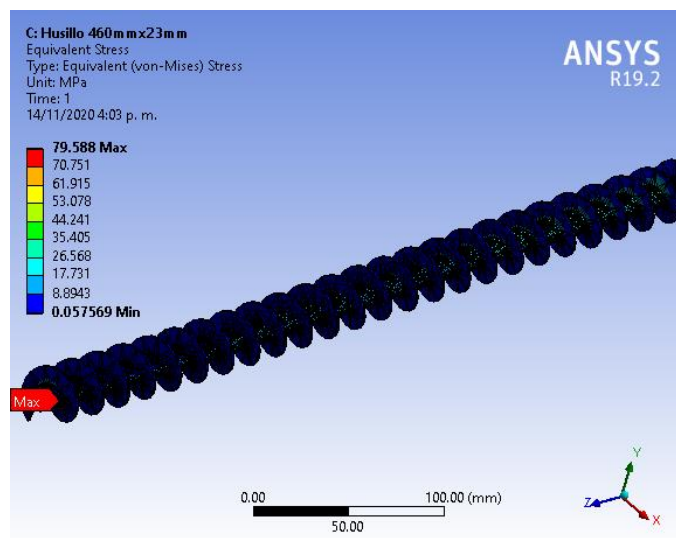


Figura 60 Tensión de von mises

Se introdujo los 3 primeros datos para comprobar nuestros resultados analíticos realizados en el capítulo interior.

Como se observa en la figura 60 el esfuerzo cortante maximo en la simulación es de 79.58 Mpa, en la ecuación se realizó una comparación entra ambas soluciones para saber porcentaje de error

$$\%error = \frac{\sigma_{analitico} - \sigma_{simulación}}{\sigma_{analitico}}$$

$$\%error = \frac{79.81 - 79.50}{79.81} \times 100$$

$$\%error = 0.3$$

Se aprecia que el porcentaje de error es menor a 1 % por lo cual el resultado analítico es validado con el resultado de la simulación.

5.1.2 Simulación del factor de seguridad

Para el factor de seguridad en el cálculo analítico se considera el esfuerzo de fluencia máxima del material SAE/AISI 4340 que es de 1110 Mpa, obteniendo un factor de seguridad de 14, el esfuerzo será colocado en la simulación para poder obtener los resultados.

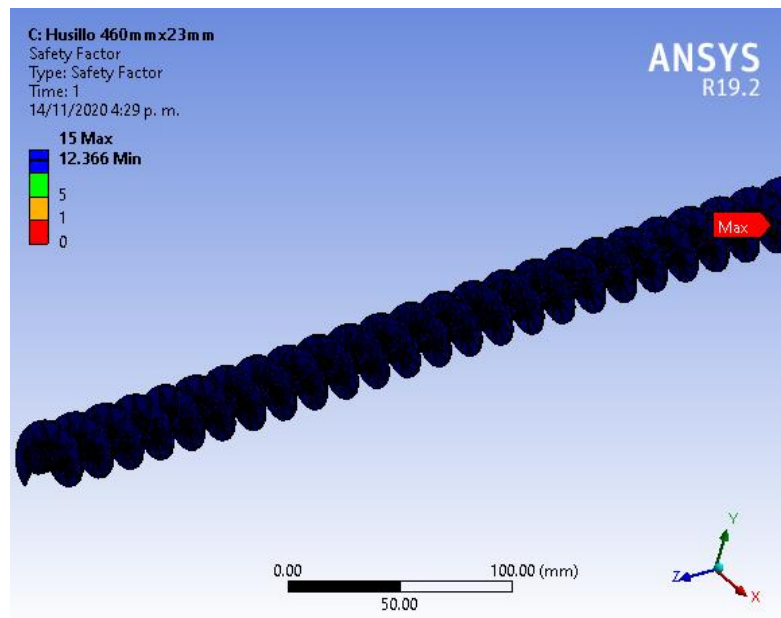


Figura 61 Factor de seguridad

En la simulación se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 12.36 y un máximo de 15, considerando estos resultados tomaremos el Factor de seguridad promedio para poder ver el porcentaje de error entra la solución analítica y la simulación, Fs: 13.68

$$\%error = \frac{n_{analitico} - n_{simulación}}{n_{analitico}}$$

$$\%error = \frac{14 - 13.68}{14} \times 100$$

$$\%error = 2.2$$

El porcentaje de error en el factor de seguridad es del 2% siendo aun aceptable al no pasar por $\pm 5\%$ por lo cual, se validan los resultados obtenidos de manera analítica.

5.1.3 Simulación de Soporte para el barril

El soporte consta de una placa de 4 mm de acero AISI/SAE 1020 la cual sostendrá la parte final del barril y la placa rompedora y se calcula una fuerza de 49.05 N para la parte central de la placa. Las vibraciones del motor y los esfuerzos sufridos por el husillo son ajenas al comportamiento que pueda tener el soporte. Cabe destacar que este soporte se encarga de evitar el movimiento libre del barril.

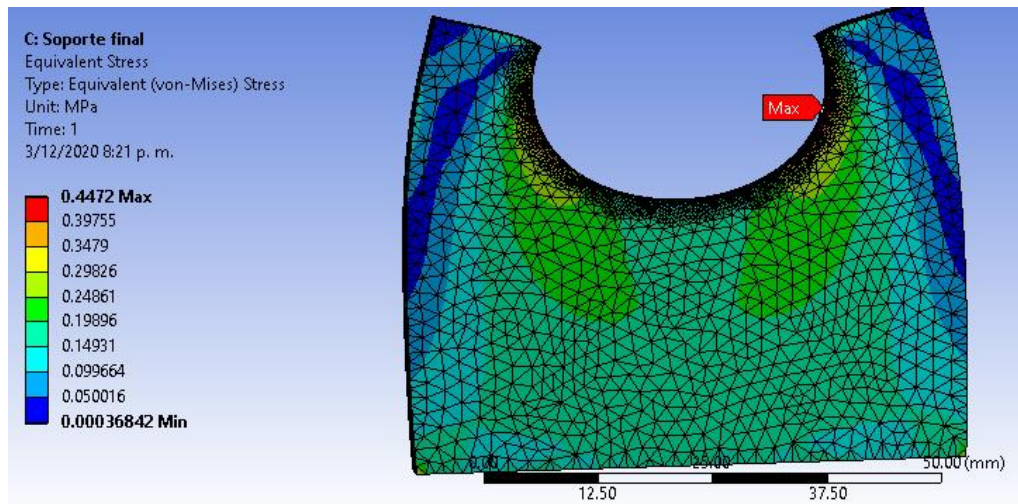


Figura 62 Simulación de soporte del barril

5.1.4 Simulación de transferencia de calor

Se realizó la simulación de la transferencia de calor de las cuatro resistencias de 200 W sobre el barril y al usillo con un tiempo de 5 min y se analizó como se calienta el husillo y el fluido en contacto

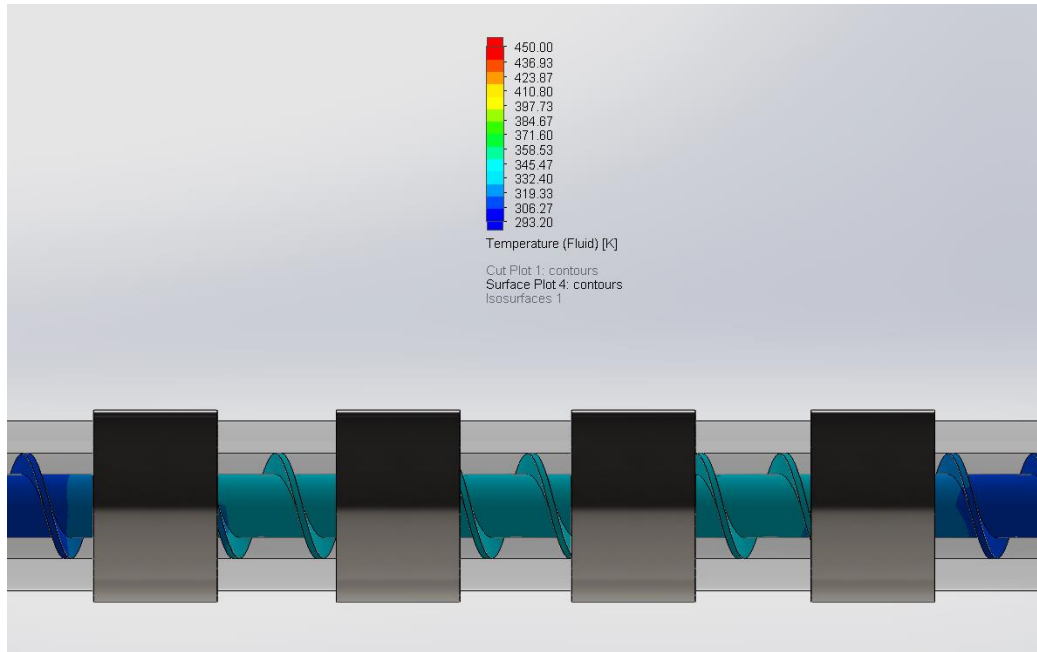


Figura 63 Temperatura de calentamiento del husillo.

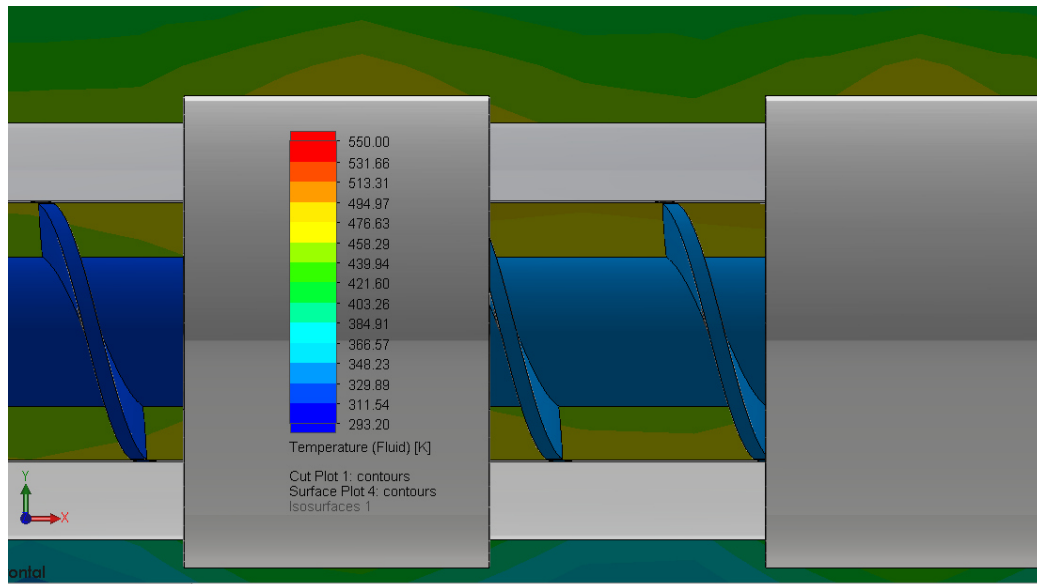


Figura 64 Temperatura de calentamiento del material

Luego de 5 minutos la temperatura que logra el husillo es la adecuada para realizar un buen proceso de extrusión, podemos observar que en la parte media se llega a la temperatura máxima (180°C) y luego esta disminuirá periódicamente hasta la salida del troquel, hasta llegar a una temperatura donde el material se solidificará y se podrá realizar el proceso de extrusión.

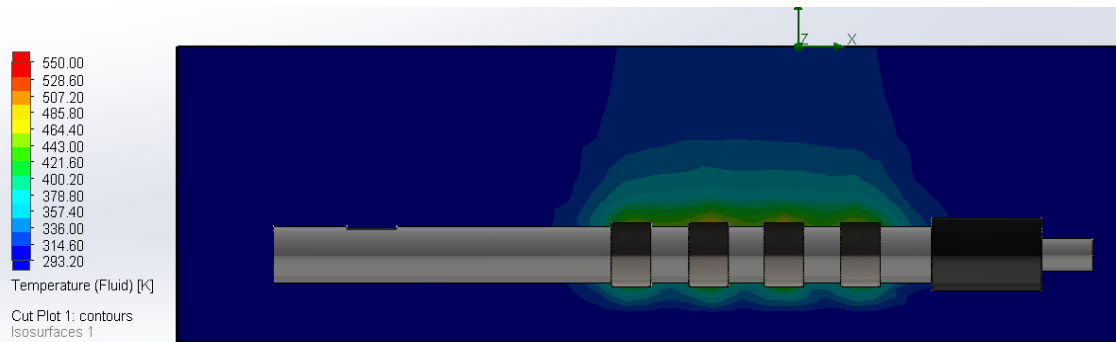


Figura 65 Transferencia de calor



Figura 66 Aislante térmico. Fuente: <https://www.hynempaquetaduras.com/producto/manta-de-fibra-ceramica/>

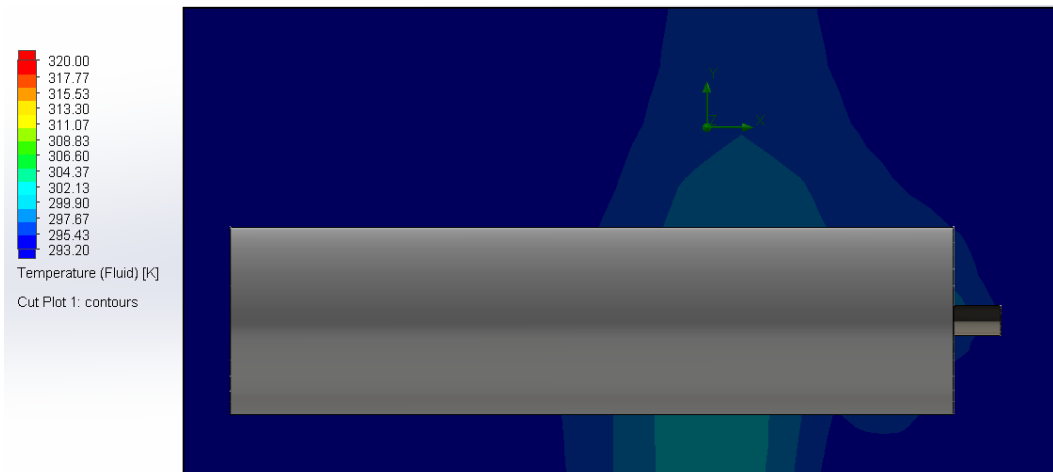


Figura 67 Transferencia de color con el recubrimiento cerámico

Para evitar la pérdida de calor y la subida de temperatura en el ambiente se usarán mantas cerámicas con un contenido del 94% de alúmina, las cuales cubrirán el barril y los calentadores, creando una capa protectora, estas mantas cerámicas son capaces de soportar temperaturas de hasta 1000 °C sin deteriorarse. Estas mantas cerámicas a la vez protegerán al operador o cualquier persona de accidentes y quemaduras debido a que su transferencia de calor al ambiente es baja y almacena el calor interno.

5.1.5 Simulación del sistema eléctrico

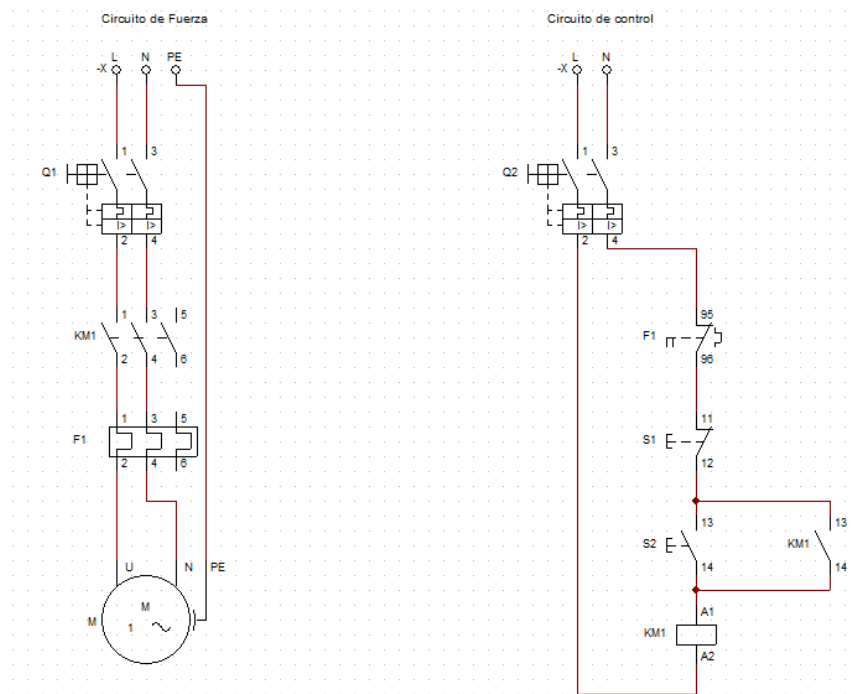


Figura 68 Simulación del sistema de arranque del motor monofásico

Se realizó la simulación del sistema de arranque del motor monofásico como se observa en la figura 68 el cual consiste en 2 circuitos uno de fuerza y el segundo de control, se agregó 2 disyuntores o palancas de seguridad con el cual deberá ser activado primero antes de darle el arranque al sistema

5.2 Resultados

5.2.1 Resultados de la simulación del husillo

El resultado de la simulación de esfuerzos sobre el eje con von mises es de 79.81 MPa y su factor de seguridad es de 14 validando así los resultados analíticos realizados en el capítulo 4.

5.2.2 Resultados del soporte del barril

Debido a que el material del soporte (AISI/SAE 1020) es un acero resistente a la deformación y a los esfuerzos altos y que solo se encargará de mantener fijo el barril y evitar que este cambie su posición, según las simulaciones echas, su deformación es máxima 7.0841 E-5 mm, su factor de seguridad mayor a 15 y logrando así su cometido.

5.2.3 Simulación de los calentadores.

El calor que se desprende por los calentadores y el barril al exterior genera pérdidas de energía y aumenta la temperatura del ambiente hasta los 100°C en su periferia según datos obtenidos por la simulación para evitar este cambio de temperatura se emplean las mantas cerámicas.

Luego de revestir el barril y los calentadores con la manta cerámica se aprecia que la temperatura en el ambiente disminuye, pero la temperatura en la parte interna se prolongará por un mayor periodo de. Esto mejora el tiempo de producción acortando el tiempo de espera para la llegada de la temperatura necesaria para el proceso de extrusión.

5.2.4 Simulación del sistema eléctrico

En el arranque del motor monofásico como se logró observar consiste en dos circuitos uno de fuerza que es donde se encuentra el motor y otro de control que va a permitir el arranque del motor, este va a llevar un disyuntor por seguridad y en remplazo de los fusibles ya que estos hoy en día no se utilizan.

CONCLUSIONES

- Se logró diseñar una maquina con la capacidad de generar filamento PLA, teniendo una dimensión de 100cmx30cmx30, además lograr reducir el tamaño de las mermas con la trituradora que está incorporada, favoreciendo así al FabLab de la universidad Continental Arequipa, reduciendo la contaminación mediante la reutilización de este termoplástico PLA.
- Siguiendo la metodología VDI 2221 y VDI 2225 se pudo completar la selección de los componentes que serán requeridos para la fabricación de la máquina extrusora como el husillo, barril, tolva, troquel y la placa rompedora, así también se pudo seleccionar el diseño óptimo para la máquina evaluando las diferentes alternativas que se propusieron.
- Debido a la correcta elección de la solución para el diseño de la máquina extrusora se realizaron los cálculos requeridos para el dimensionamiento de los componentes mecánicos de la máquina y la selección de los componentes eléctricos siguiendo lo requerido y especulado para la producción de 2 Kg/h de filamento PLA.
- La máquina podrá extruir filamento PLA con un diámetro final de 1.75 mm, esto se debe a que es el diámetro más usado ya sea en el ámbito comercial como en las impresoras de la Universidad Continental.
- La máquina extrusora solo podrá extruir polímero termoplástico PLA ya sea en forma de pellets o de la obtención del triturado de piezas ya impresas, esto debido a que el PLA no requiere de altas temperaturas de trabajo, no se descompone de manera agresiva contaminando el ambiente y no desprende gases tóxicos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una investigación sobre los procesos de triturado considerando que la máquina trituradora sea capaz de triturar no solo filamento PLA.
- Se recomienda indagar en nuevas metodologías y procesos de diseño, con la finalidad de poder lograr la construcción y solidificación de la máquina para su evaluación y mejoras que se puedan observar.
- Si se desea ampliar la cantidad de producción y cambiar las características del filamento, se debe tener en cuenta la competencia en el mercado y la disponibilidad de los componentes a la hora de seleccionar el material para la máquina, así como del sistema de calentamiento para el tipo de material a trabajar.
- Usando la memoria de cálculo presente se puede establecer diversos diámetros de salida para el filamento para el uso de distintas impresoras.
- Para futuras investigaciones se sugiere hacer una amplia investigación para poder extruir variedad de filamentos y no solo el PLA, considerando parámetros para cada tipo de filamento termoplástico.

REFERENCIAS

1. ABS [Mensaje en un blog]. Argentina: Mariano. (8 de junio de 2011) [fecha de consulta: 23 de marzo de 2012]. Disponible en: <https://bit.ly/334NmHD>
2. ALL3DP. Guía del comprador de filamentos de impresora 3D. 2020 [Fecha de consulta 27 de septiembre del 2020]. Disponible en <https://bit.ly/3l0UHy2>
3. BILLMEYER, F. (Ed.). I Ciencia de los polímeros 1975: libro de Ciencias [en línea]. Editorial Reverte, [fecha de consulta: 26 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3mTVouR>
4. BLANCO, E. *Metodología para el diseño de máquinas adaptadas a la comunidad en desarrollo* [en línea]. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya, 2051 [fecha de consulta: 01 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/2Gt8UVH>
5. CANALES Sectoriales. Pronóstico global de ingresos de impresoras 3D por: segmento de mercado principal 2016-2021.2019 [fecha de consulta 6 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/32OjQpv>
6. CENGEL, Y. *Transferencia de Calor y Masa*. [en línea]. Tercera edición. México. McGraw Hill, 2007 [fecha de consulta: 01 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/ojli2>
7. CHAVEZ. J. Diseño de extrusora de filamento para impresora 3D fabricado a partir de polipropileno Reciclado. Tesis (Título de Ingeniero de diseño). México. Universidad Tecnológica de la mixteca. 2018. 211pp. [fecha de consulta: 01 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3m9xkT8>
8. CODEBOX. ¿Qué es un termoplástico?, Usos y características. 2019 [Fecha de consulta 26 de septiembre del 2020] Disponible en: <https://bit.ly/340MF1A>
9. ESPINOZA, C. *Metodología de investigación tecnológica*. [en línea]. Segunda edición. Perú. Soluciones Graficas. S.A.C. 2014 [fecha de consulta: 01 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3qOGgRt>

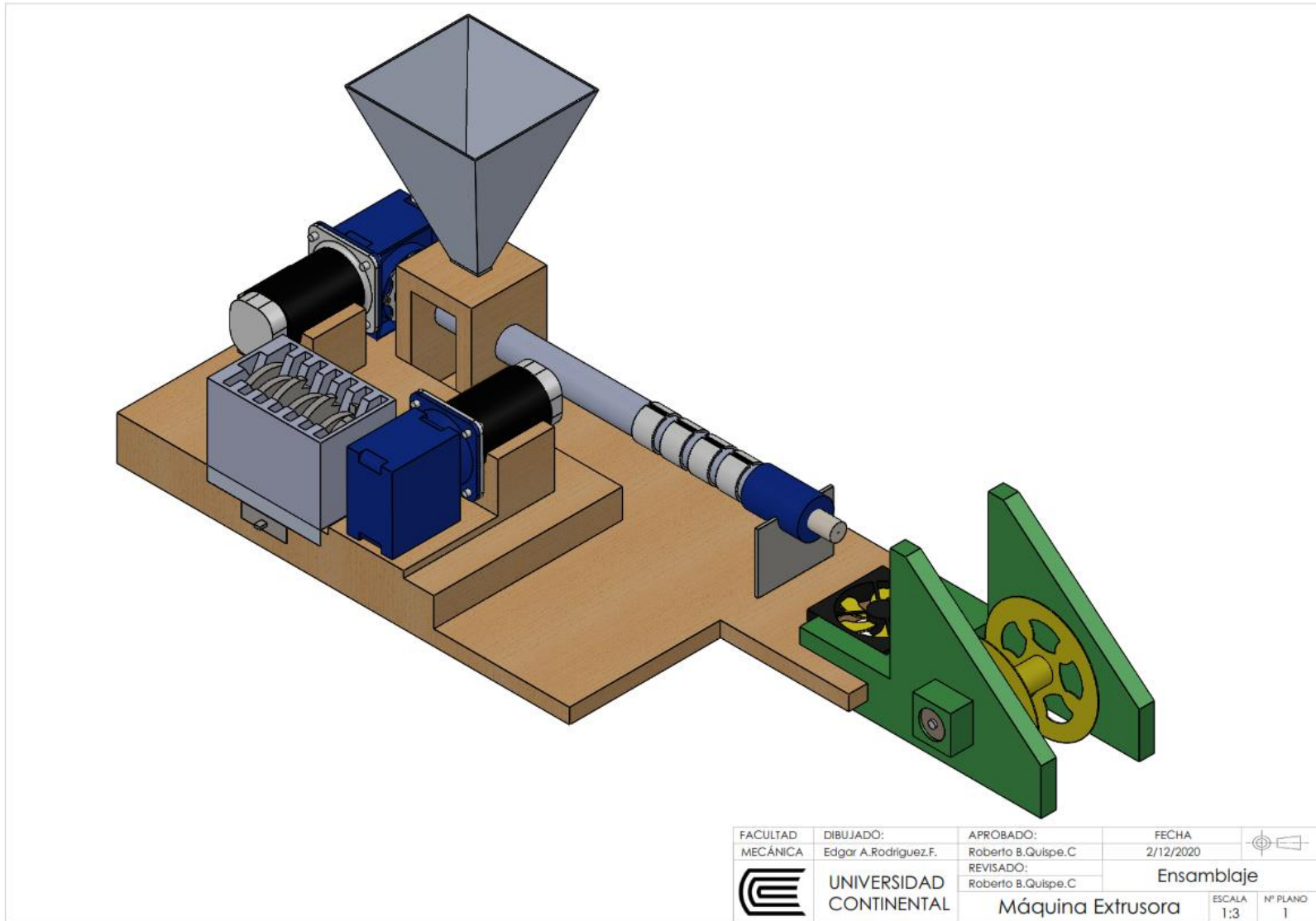
10. ESQUIVEL, J; JIMÉNEZ, J; MENA, A. Diseño de una máquina extrusora de filamento termoplástico alimentada por desechos plásticos. Tesis (Título de ingeniero Mecánico). Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 2018. 114 pp. [fecha de consulta: 09 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/37UUWWC>
11. FILABOT 3D. Maquinas extrusoras. 2020 [Fecha de consulta: 24 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.filabot.com/collections/filabot-core>
12. FILASTRUDER. Filastruder Kit. 2020 [Fecha de consulta: 24 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/2TmXypn>
13. FRO 3D. Impresoras 3D por extrusión: FFF .2020 [Fecha de consulta: 26 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://toninadal.frax3d.com/impresoras-3d-extrusion-fff>.
14. GOMEZ, D. Sistema de mecanizado portátil para armario eléctrico. Maestría (Máster en ingeniería mecatrónica). España, 2018. 106pp. [fecha de consulta: 04 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/rlpff>
15. GROOVER, M. *Fundamentos de Manufactura Moderna*. [en línea]. Tercera edición. México. McGraw Hill, 2007 [fecha de consulta: 29 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/i859l>
16. MAKERSHOP. ABS vs PLA: ¿Qué diferencia existe entre estos dos filamentos para impresora 3D? 2014 [Fecha de consulta 27 de septiembre del 2020]. Disponible en <https://bit.ly/3cFICvo>
17. MORALES, R. Diseño y construcción de una máquina recicladora y extrusora de plástico PLA para el observatorio astronómico de Quito de la EPN. Tesis (Título de ingeniero mecánico). Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2018. 130 pp. [fecha de consulta: 19 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19803>.
18. MORATAYA, J. Proceso de la impresión 3D como aporte al Diseño Gráfico. Tesis (Título de Diseñadora gráfica). Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2015. 97 pp. [fecha de consulta: 15 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/2HjVhbR>.
19. PARRA, R. Diseño de extrusora de filamento para impresión 3D a partir de plásticos reciclados. Tesis (Título de Ingeniero Civil Mecánico). Chile: Universidad Tecnológica Federico Santa

- María, 2017. 237 pp. [fecha de consulta: 15 de mayo del 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11673/40932>
20. PORRAS, J. Diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamentos de plástico ABS para la impresión 3d. Tesis (Título de Ingeniero Mecatrónico). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2018. 110 pp. [fecha de consulta: 25 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3kApqBU>.
 21. QUEMADA, L., ALCARAZ, L., RUIZ, G., RODRIGUEZ, R. Revisión del estado del arte de la fabricación de multimateriales por medio de impresión 3D. *Pistas educativas* No. 125, octubre 2017 [fecha de consulta: 17 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/2ZRWSfy>
 22. SAVGORODNY V. *Transformación de plásticos*. España: Ed. Gustavo gili, 1978 .476pp. ISBN: 978-84-252-0746-4
 23. SCHEY, J. *Procesos de Manufactura* [en línea]. Tercera edición. México. McGraw Hill, 2000 [fecha de consulta: 29 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.elsolucionario.org/procesos-de-manufactura-john-a-schey-3ra-edicion/>
 24. SHEHZHEN HYPET. Connical twins screw extruder 65/132. 2020 [Fecha de consulta: 24 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/qmu1o>
 25. TECNOLOGIA DE LOS PLASTICOS [Mensaje en un blog]. Argentina: Mariano. (8 de agosto de 2011) [fecha de consulta: 29 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/33f3Ywy>
 26. TEXTOS CIENTIFICOS. ABS. 2005 [Fecha de consulta 26 de septiembre del 2020] Disponible en: <https://bit.ly/336nqvC>
 27. TODO EN POLÍMEROS. polímeros termoplásticos. 2016 [Fecha de consulta 26 de septiembre del 2020] Disponible en <https://bit.ly/3kRRQHW>
 28. TURPO, S. Reciclado de plástico (PET) para la elaboración de adoquín mediante el proceso de extrusión. Tesis (Título de ingeniero Ambiental). Juliaca: Universidad Peruana Unión, 2019. 88 pp. [fecha de consulta: 19 de septiembre del 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3oJu96G>

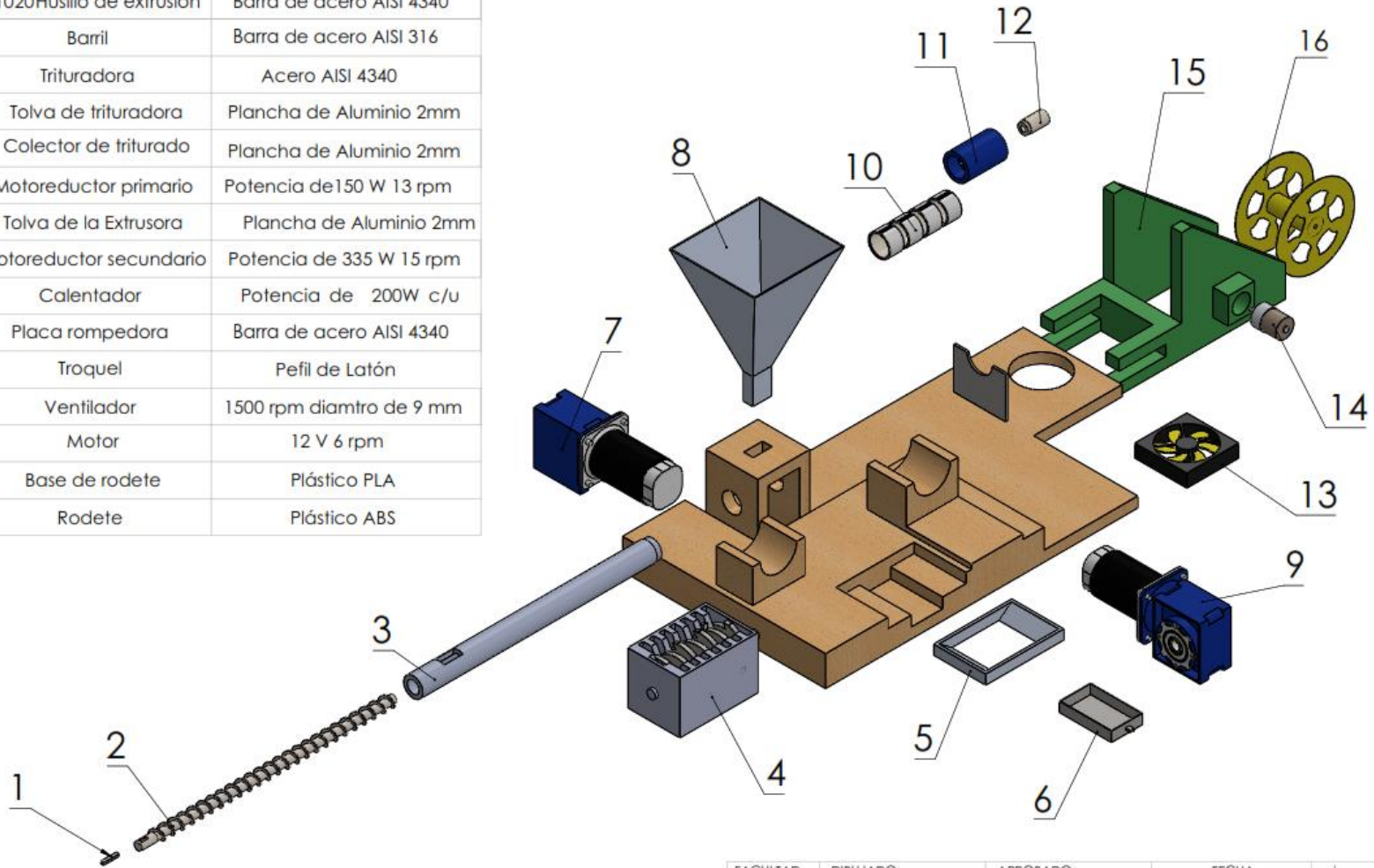
29. YAMUNAQUÉ, K. Estudio de factibilidad técnico-económico en la instalación de una planta química para la producción del biopolímero ácido poli láctico (PLA) a partir del lactosuero. Tesis (Título de ingeniero Químico). Piura: Universidad Nacional de Piura [Fecha de consulta: 29 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/986>

ANEXOS

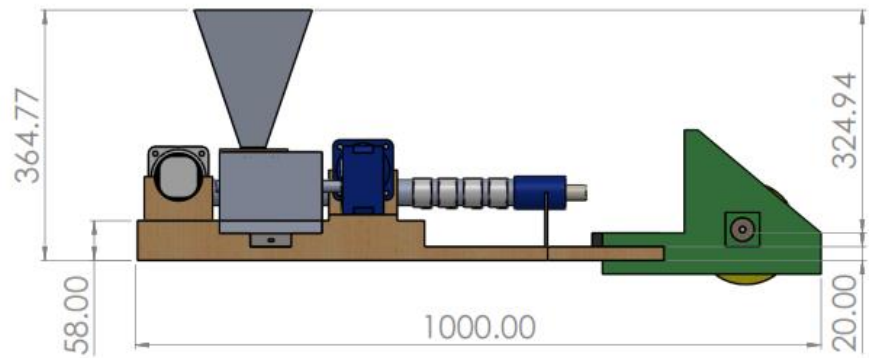
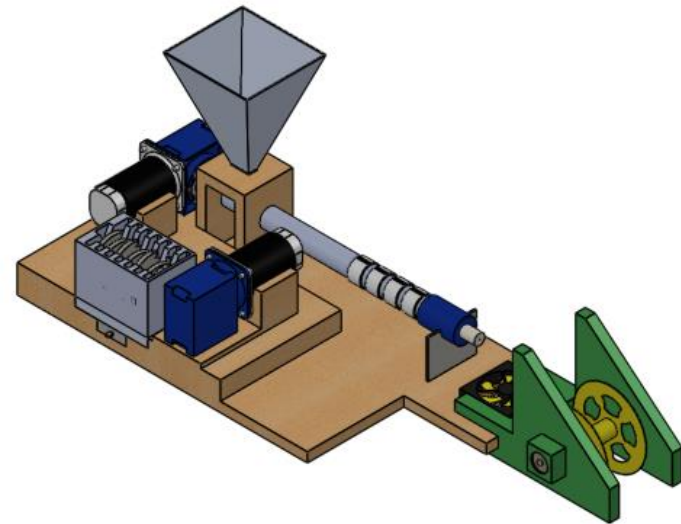
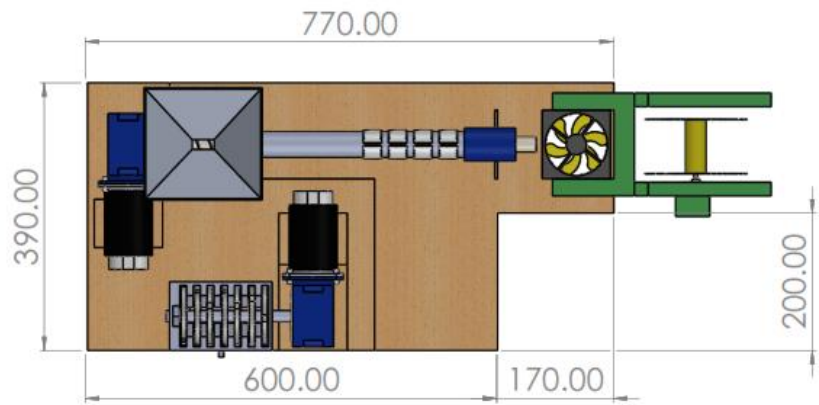
Anexo 1 Planos de la máquina extrusora



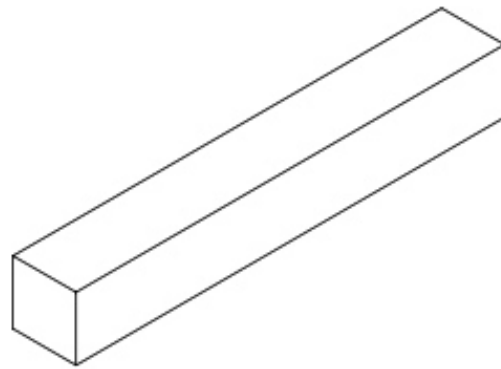
Nº	Can	Nombre	Descripción
1	1	Chaveta	Barra de acero AISI
2	1	1020Husillo de extrusión	Barra de acero AISI 4340
3	1	Barril	Barra de acero AISI 316
4	1	Trituradora	Acero AISI 4340
5	1	Tolva de trituradora	Plancha de Aluminio 2mm
6	1	Colector de triturado	Plancha de Aluminio 2mm
7	1	Motoreductor primario	Potencia de 150 W 13 rpm
8	1	Tolva de la Extrusora	Plancha de Aluminio 2mm
9	1	Motoreductor secundario	Potencia de 335 W 15 rpm
10	4	Calentador	Potencia de 200W c/u
11	1	Placa rompedora	Barra de acero AISI 4340
12	1	Troquel	Pefil de Latón
13	1	Ventilador	1500 rpm diámetro de 9 mm
14	1	Motor	12 V 6 rpm
15	1	Base de rodete	Plástico PLA
16	1	Rodete	Plástico ABS



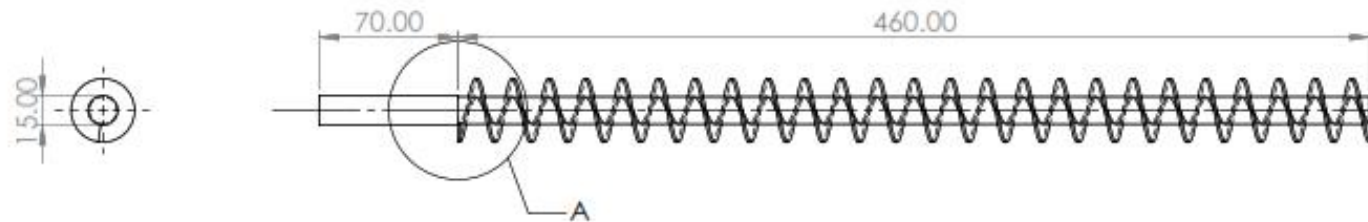
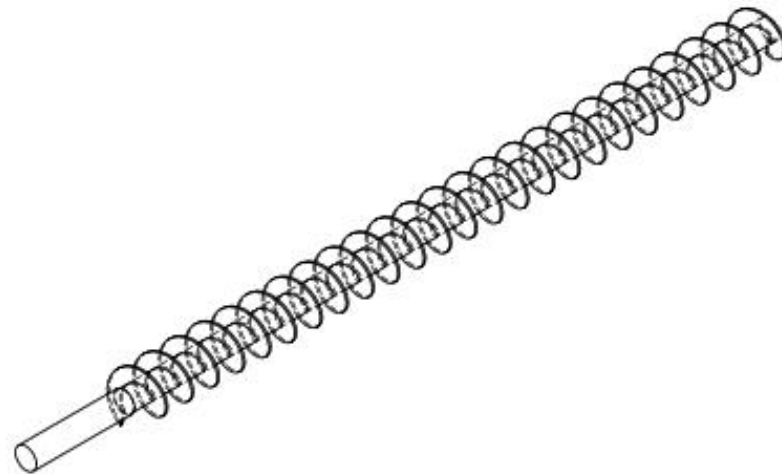
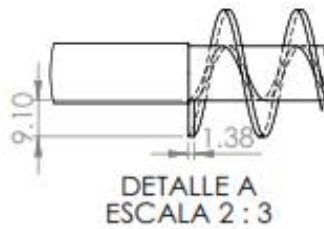
FACULTAD MECÁNICA	DIBUJADO: Edgar A.Rodríguez.F.	APROBADO: Roberto B.Quispe.C	FECHA 2/12/2020	
	UNIVERSIDAD CONTINENTAL	REVISADO: Roberto B.Quispe.C	Vista en explosión	
Máquina Extrusora			ESCALA 1:5	Nº PLANO 2



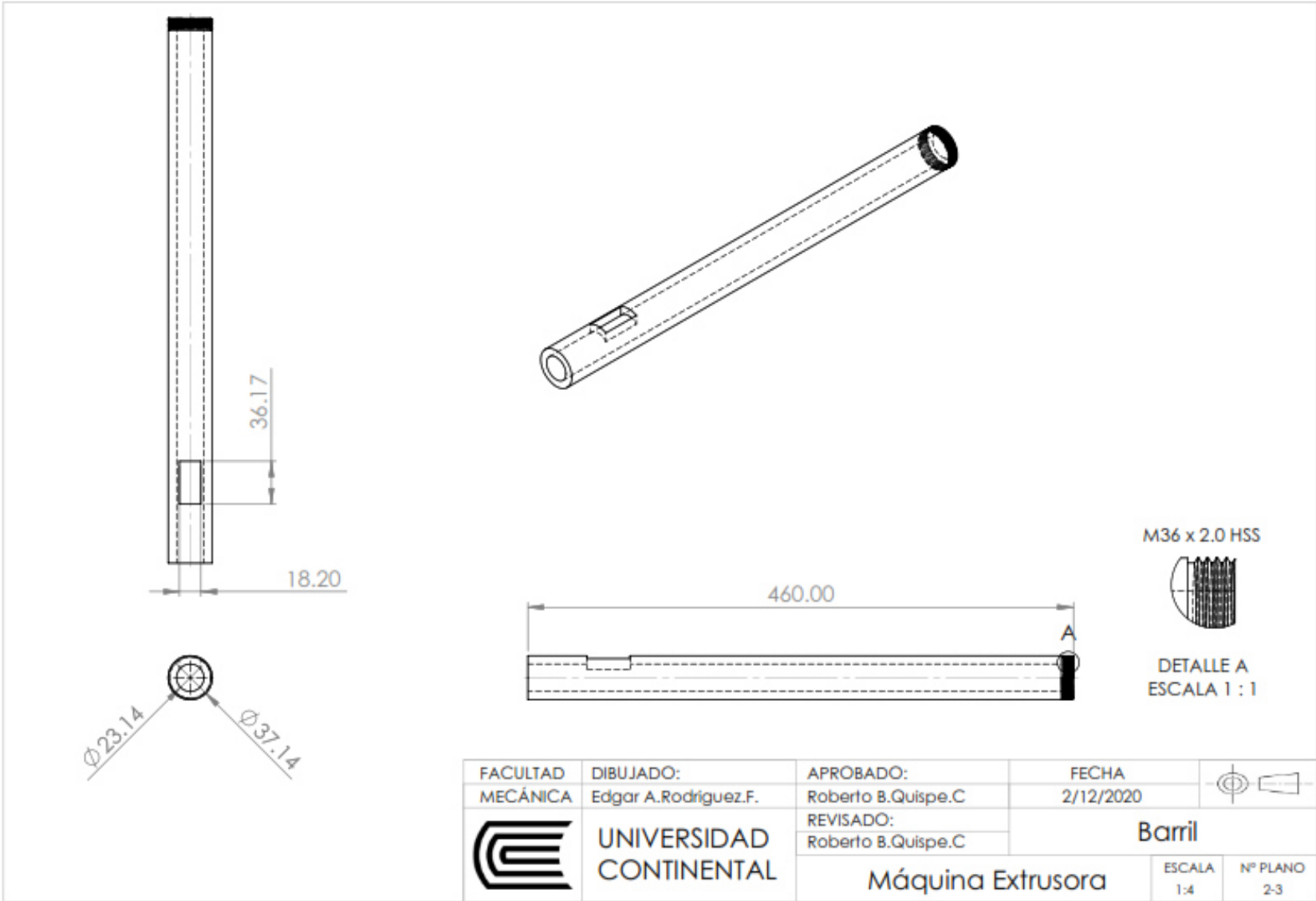
FACULTAD MECÁNICA	DIBUJADO: Edgar A.Rodríguez.F.	APROBADO: Roberto B.Quispe.C	FECHA 2/12/2020	
	UNIVERSIDAD CONTINENTAL	REVISADO: Roberto B.Quispe.C	Vista General	
Máquina Extrusora			ESCALA 1:6	Nº PLANO 3

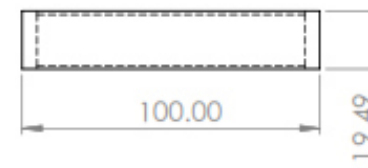
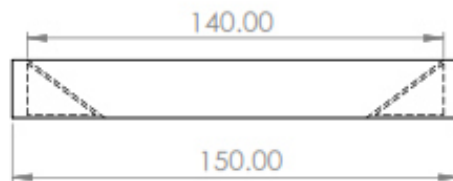
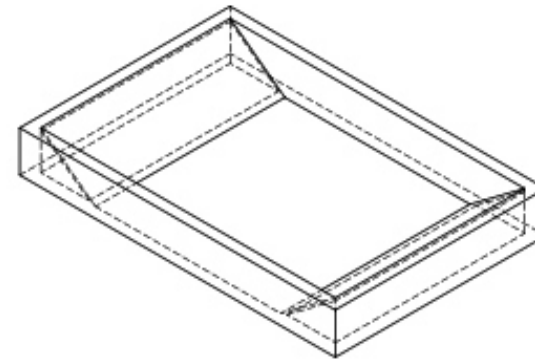
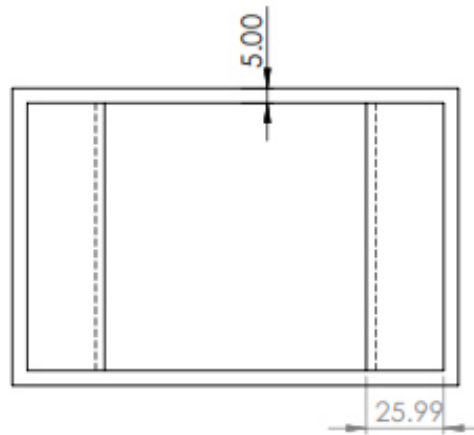




FACULTAD MECÁNICA	DIBUJADO: Olger J. Cutipa M.	APROBADO: Roberto B. Quispe C.	FECHA 2/12/2020	
	UNIVERSIDAD CONTINENTAL	REVISADO: Roberto B. Quispe C.	Chaveta	
		Máquina Extrusora		

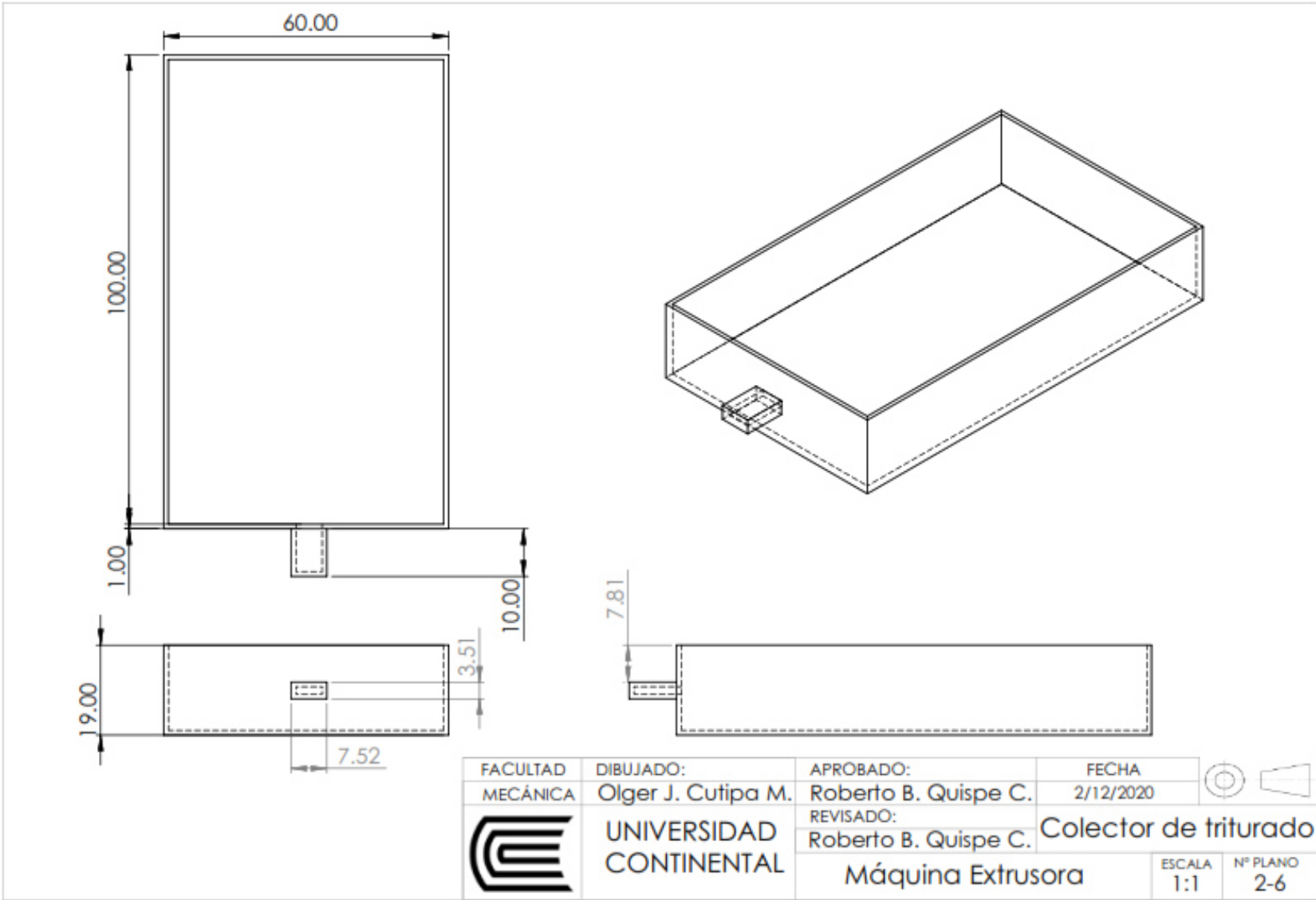


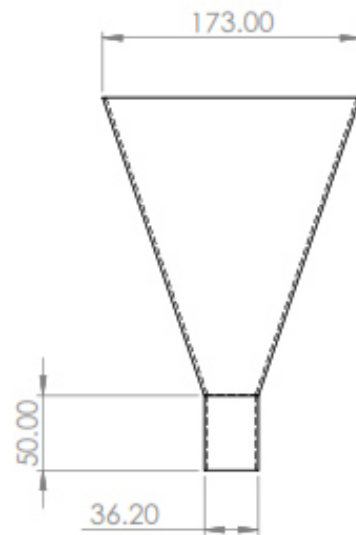
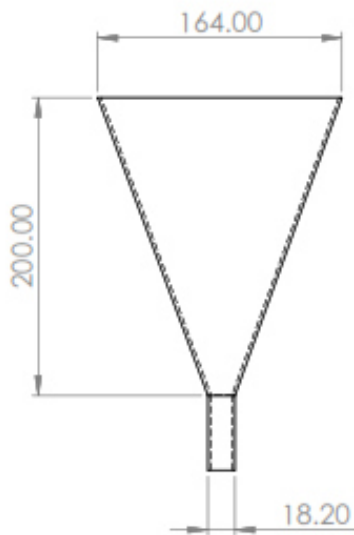
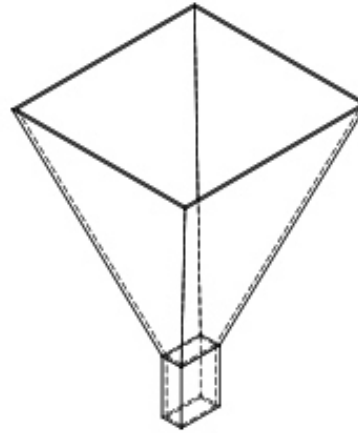
FACULTAD MECÁNICA	DIBUJADO: Olger J. Cutipa M.	APROBADO: Roberto B. Quispe C.	FECHA 2/12/2020	
	UNIVERSIDAD CONTINENTAL	REVISADO: Roberto B. Quispe C.	Husillo de extrusión	
		Máquina Extrusora	ESCALA 1:4	Nº PLANO 2-2



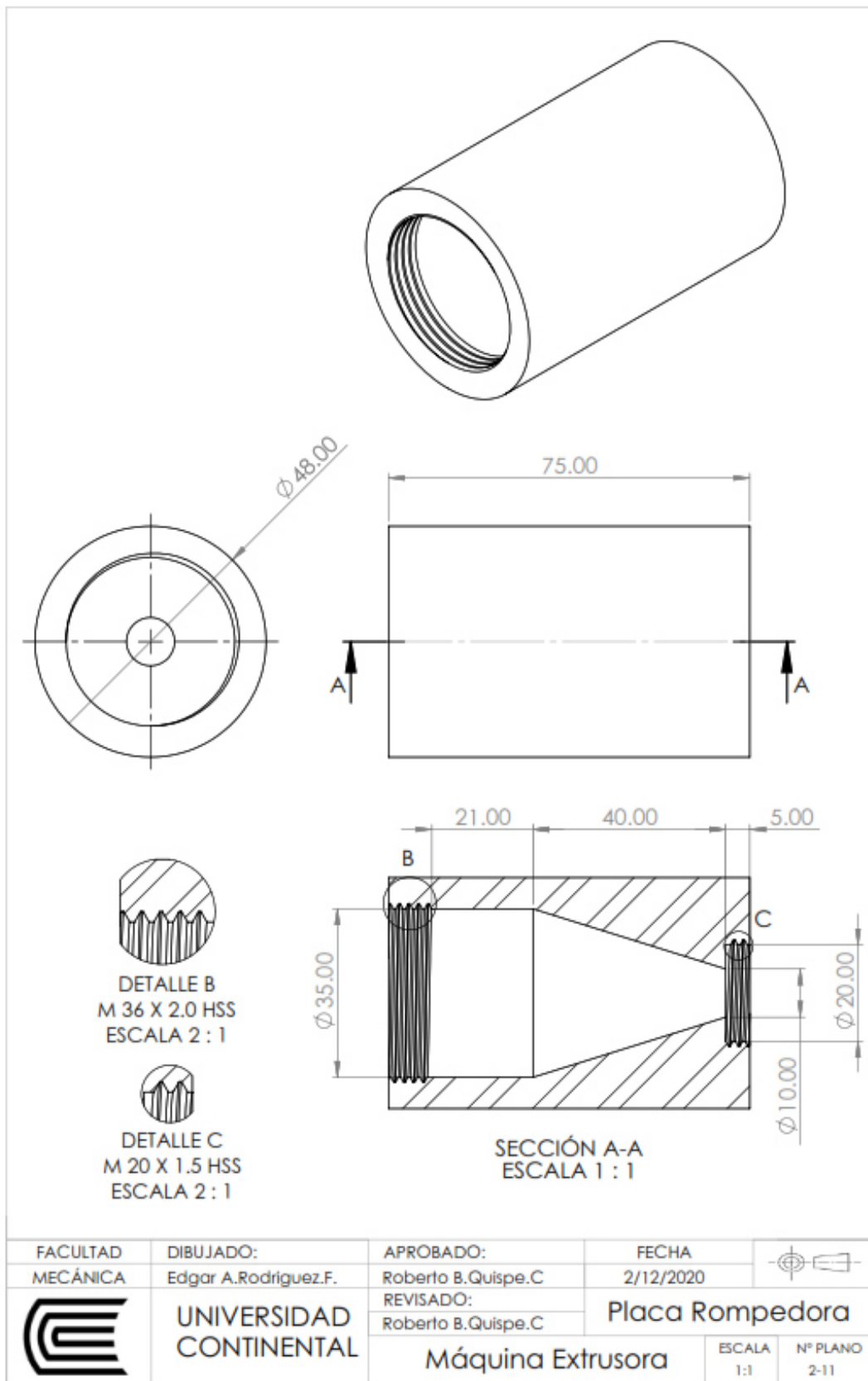


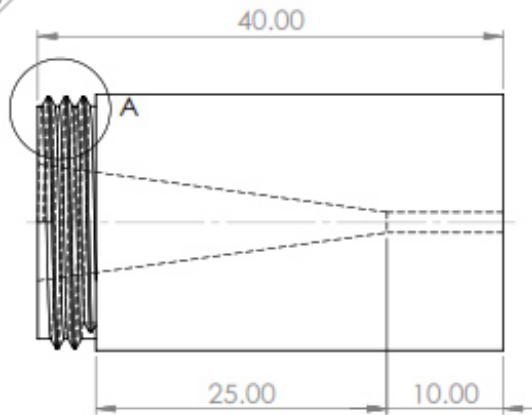
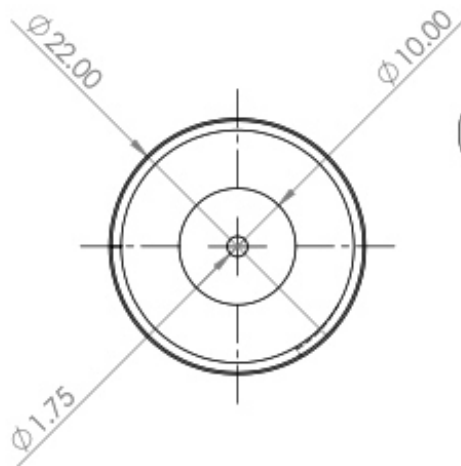
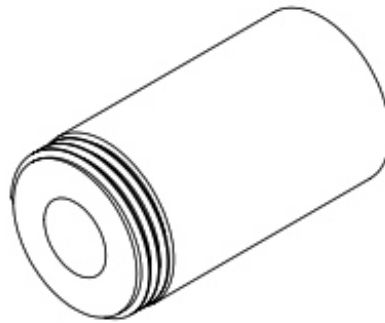
FACULTAD MECÁNICA	DIBUJADO: Olger J. Cutipa M.	APROBADO: Roberto B. Quispe C.	FECHA 2/12/2020	
	UNIVERSIDAD CONTINENTAL	REVISADO: Roberto B. Quispe C.	Tolva de trituradora	
		Máquina Extrusora		ESCALA 1:2





FACULTAD MECÁNICA	DIBUJADO: Edgar A.Rodríguez.F.	APROBADO: Roberto B.Quispe.C	FECHA 2/12/2020	
	UNIVERSIDAD CONTINENTAL	REVISADO: Roberto B.Quispe.C	Tolva de la Extrusora	
		Máquina Extrusora		



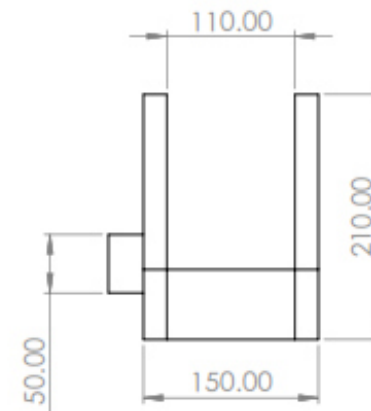
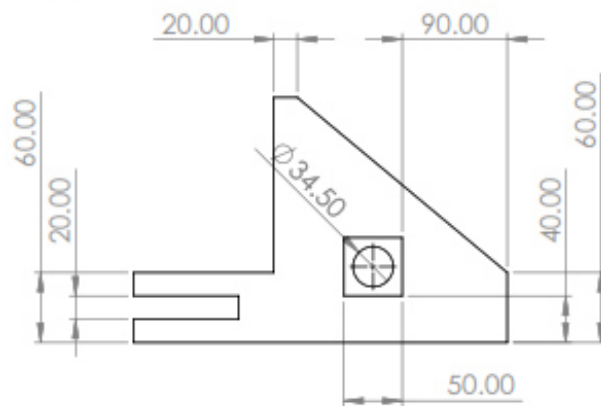
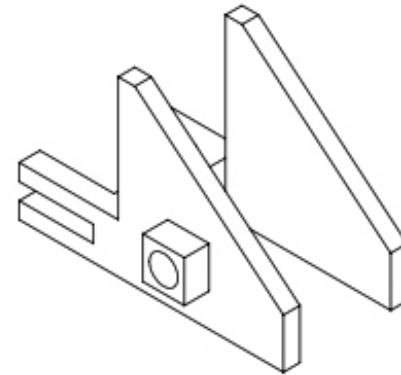
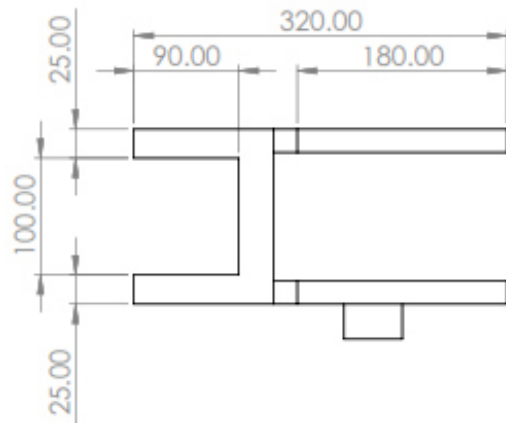


M 20 X 1.5 HSS



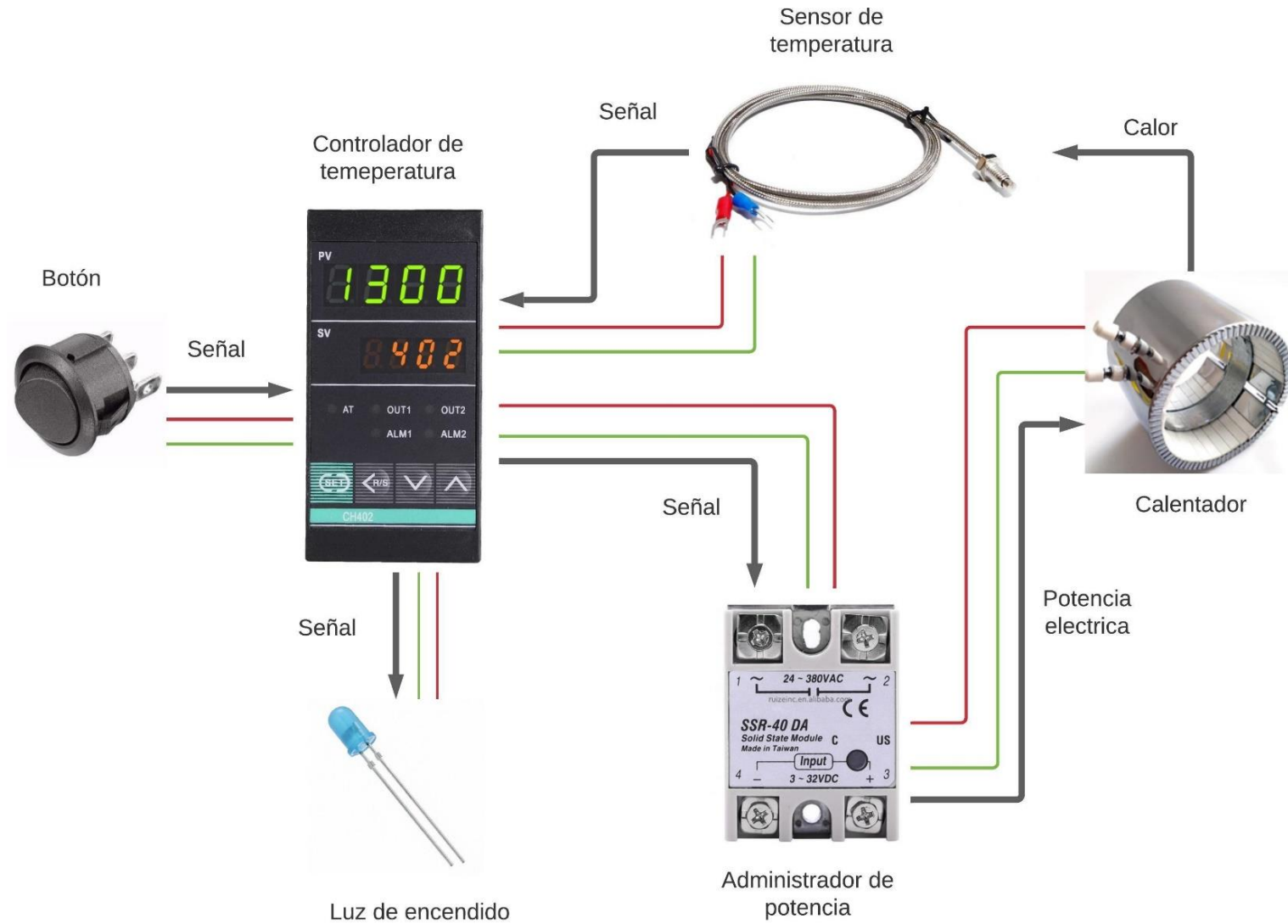
DETALLE A
ESCALA 3 : 1

FACULTAD MECÁNICA	DIBUJADO: Edgar A.Rodríguez.F.	APROBADO: Roberto B.Quispe.C	FECHA 2/12/2020	
	UNIVERSIDAD CONTINENTAL	REVISADO: Roberto B.Quispe.C	Troquel	
		Máquina Extrusora		



FACULTAD MECÁNICA	DIBUJADO: Edgar A.Rodriguez.F.	APROBADO: Roberto B.Quispe.C	FECHA 2/12/2020	
	UNIVERSIDAD CONTINENTAL	REVISADO: Roberto B.Quispe.C	Base de rodete	
		Máquina Extrusora		ESCALA 1:5

Anexo 2 Sistema eléctrico



Anexo 3 Fichas técnicas

MOTOR DE CC 12V 6 RPM S330144

Tensión Nominal	12V
Velocidad Nominal a 12V	6 rpm
Consumo sin carga 12V	45 mA
Consumo eje frenado 12V	1500 mA
Relación engranajes	500:1
Fuerza de parada	74,8 kg·cm
Peso	142 g
Diámetro Máximo	37 mm
Diámetro Eje	6 mm
Rosca fijación	4 x M3

MOTORREDUCTOR NMRV DE 24 V

NMRV-063-30-VS-F1 (FA)-AS-80B5-0.75KW-B3			
NMRV	Gusano motorreductor		
VRN	Gusano unidad de reducción		
063	Centro dictance		
30	Relación de reducción		
Del	Doble eje de entrada	F1 (FA)	Brida de salida
Como	Solo eje de salida	AB	Doble eje de salida
PAM	Equipado para motor de acoplamiento	80B5	Motor de montaje de
0.75KW	Motor eléctrico de potencia	B3	Posición de montaje

CALENTADOR

Nombre del producto	Extrusora de banda calentadores
Banda de tensión	120 V 220 V 230 V 240 V 480 V, etc. (bajo petición del cliente)
Máx. Temperatura de trabajo	550 grados celsius
Alambre de resistencia de tipo	NiCr 80/20
Material de cubierta	304 de acero inoxidable
Material de aislamiento	Mica/de cerámica
Banda de construcción	De una o dos piezas
Brecha de mecanismo de bloqueo de tipo	Brida, Tuercas de barril o ninguna
Plomo de salida posición	Estándar o personalizados
Estilo de terminación	Cable estándar, terminal de tornillo; Enchufe europeo de 2 pines o enchufe europeo de 3 pines
Agujeros de la disponibilidad	Cliente-diseño
Las muescas de la disponibilidad	Cliente-diseño

AISLANTE

Densidad	128 kg/m ³
Temperatura máxima de trabajo	1260 °C
Punto de Fusión	1760 °C
Composición	Alúmina (Al ₂ O ₃), Sílice (SiO ₂), otros
Resistencia a la tracción	73 kPa
Conductividad térmica	0.26 BTU.in/ft ² .hr. °F

CONTROLADO DE TEMPERATURA

Número de modelo	Serie REX-C
Exactitud	± 0,5% de la escala completa
Tensión de alimentación	100-240 Vca, 50/60 Hz
Tipos de entrada: termopar	K, J, R, S, B, E, N, T
RTD	Pt100, Cu50
voltaje	0-5 V, 1-5 V
Actual	0-20 mA, 4-20 mA
Tipos de salida	Relé electromagnético, SSR, corriente, SCR
El consumo de energía	Menos de 5 VA
Método de control	Control PID (con autoajuste) o autoajuste, o ENCENDIDO / APAGADO
Método de configuración	Interruptor táctil
Método de indicación	Pantalla de 8 segmentos y 4 dígitos e indicación LED
Alarmas	Desviación Alto, Bajo, Alto / Bajo, Banda, Proceso Alto, Bajo Valor de ajuste Alto, Bajo
Periodo de muestreo	0,5 s
Compatibilidad electromagnética	IEC61000-4-4 (ráfaga transitoria rápida eléctrica), 4KV / 5KHz; IEC61000-4-5 (sobretensión), 4kv
Voltaje de aislamiento	> = 2300v entre el terminal de potencia, contacto de relé y señal; > = 600v entre dos terminales de señal débil aislados
Temperatura de funcionamiento	0 a 50 ° C (32 a 122 ° F)
Humedad de funcionamiento	30-85% RH máx., Sin condensación
nombre	Controlador de temperatura pid REX-C, controlador de temperatura inteligente

TRITURADORA

Diámetro del eje	16 mm
Largo del eje	100 mm
Dimensiones de la caja	120 x 80 x 80 mm
Composición	Acero Inoxidable
Diámetro externo de las cuchillas	30 mm