



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA
DE FILAMENTOS A PARTIR DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS DE
IMPRESIONES 3D PARA EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN
GIDETER-ESPOCH”**

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

WILLIAM ALEJANDRO CRUZ ROSERO

JHONY MAURICIO BETANCOURT VELASCO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA
DE FILAMENTOS A PARTIR DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS DE
IMPRESIONES 3D PARA EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN
GIDETER-ESPOCH”**

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: WILLIAM ALEJANDRO CRUZ ROSERO

JHONY MAURICIO BETANCOURT VELASCO

DIRECTOR: ING. JORGE ISAÍAS CAICEDO REYES

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, William Alejandro Cruz Rosero; y Jhony Mauricio Betancourt Velasco

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, William Alejandro Cruz Rosero y Jhony Mauricio Betancourt Velasco, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 28 de enero del 2022



Jhony Mauricio Betancourt Velasco
020180912-6



William Alejandro Cruz Rosero
172235468-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto técnico, **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE FILAMENTOS A PARTIR DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS DE IMPRESIONES 3D PARA EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN GIDETER-ESPOCH”** realizado por el señor **JHONY MAURICIO BETANCOURT VELASCO** y el señor **WILLIAM ALEJANDRO CRUZ ROSERO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Msc. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022/01/28
Ing. Msc. Jorge Isaías Caicedo Reyes DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022/01/28
Ing. Msc. Carlos Oswaldo Serrano Aguiar MIEMBRO DE TRIBUNAL		2022/01/28

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a todas las personas que cumplieron una parte fundamental para lograr culminar mi carrera profesional especialmente a: Aura del Rocío mi amada madre quien fue el pilar principal para poder conseguir esta meta ya que me apoyado y brindado su cariño aun cuando parecía que no podría lograrlo. Lorgio mi padre estricto, la persona que me enseñó que el trabajo arduo y duro con el tiempo rinde sus frutos. Mi hermano Alexander quien a pesar de todos los problemas que le he causado siempre estuvo al pendiente de mí no solo en el proceso de culminación de este trabajo si no a cada instante para poder lograr hoy obtener este título. Mis amigos del club los Patanes Andrei, Andreina, David, Diana y también a A.A. quien a pesar los momentos difíciles supieron entregarme su amistad y ayudarme a superarme como persona, como estudiante y como amigo, todas aquellas personas que he mencionado y las que faltan por mencionar les dedico este trabajo para la obtención del título de Ingeniero Mecánico y a su vez les quedo muy agradecido por cada regaño, cada consejo, cada aventura, que me han brindado con la finalidad de no rendirme los quiero y aprecio mucho.

Jhony

Dedico este trabajo el cual es indispensable en la culminación de mi carrera profesional a Dios por darme la vida, brindarme salud en el proceso y ser la luz que guía mi camino. Mi madre Magaly Rosero, por ser mi mayor fuente de inspiración y quien han hecho posible el cumplimiento total de esta etapa importante en mi vida gracias a su apoyo incondicional. Mi padre Segundo Cruz, siendo ejemplo del esfuerzo y constancia, por siempre apoyarme en los momentos más difíciles, por él, esta lucha constante hasta llegar a cumplir mis objetivos, mi familia y amigos por el respaldo sincero que me han brindado durante esta travesía, por los consejos y apoyo incondicional., también a mis maestros que formaron parte de mi vida estudiantil, y que aportaron con sus conocimientos para cumplir con éxito esta etapa de mi vida

William

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y al personal académico que colaboró abiertamente en la impartición de sus conocimientos técnicos aportando de manera significativa en la realización exitosa de este proyecto.

A mis tutores Ing. Carlos Serrano y en especial al Ing. Isaías Caicedo quienes me guiaron y apoyaron para que este trabajo de titulación pueda ser desarrollado en su totalidad.

A mi familia y amigos quienes me brindaron su apoyo, tiempo y consejo para poder culminar y obtener este logro que hoy comparto con ellos

Jhony

A Dios por darme vida, conocimientos y mucha sabiduría, a mis padres Segundo Cruz y Magaly Rosero porque han sido mi apoyo incondicional en todo momento y principalmente por ser mi más grande inspiración para seguir adelante, por enseñarme la importancia de tener paciencia, ser perseverante y responsable ante cualquier meta que me plantee en la vida, por todo el apoyo moral y económico que me brindaron durante el proceso de mi formación profesional, a mis hermanas porque son parte fundamental de mi vida y quienes me han motivado día a día para cumplir este gran propósito, a mi novia por ser el impulso y brindarme paciencia durante toda la trayectoria de esta etapa y a los Ingenieros Isaías Caicedo y Carlos Serrano por el apoyo constante durante todo el proceso de investigación de mi trabajo final.

William

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1	Antecedentes.....	2
1.2	Delimitación.....	3
<i>1.2.1</i>	<i>Delimitación espacial.....</i>	<i>3</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Delimitación sectorial.....</i>	<i>3</i>
<i>1.2.3</i>	<i>Delimitación académica.....</i>	<i>3</i>
1.3	Formulación del problema.....	3
1.4	Objetivos.....	4
<i>1.4.1</i>	<i>Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>4</i>

CAPÍTULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1	Propiedades de los plásticos.....	5
<i>2.1.2</i>	<i>Filamento para impresión 3D.....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.2.1</i>	<i>Acrilonitrilo, Butadieno y Estireno (ABS).....</i>	<i>8</i>
<i>2.1.2.2</i>	<i>Ácido Poliláctico (PLA).....</i>	<i>9</i>
<i>2.1.3</i>	<i>Reciclaje de polímeros para impresión 3D.....</i>	<i>10</i>
<i>2.1.3.1</i>	<i>Tipos de plásticos.....</i>	<i>11</i>
<i>2.1.4</i>	<i>Equipos para la extrusión de plásticos.....</i>	<i>12</i>
<i>2.1.5</i>	<i>Máquina extrusora de pistón.....</i>	<i>13</i>
<i>2.1.6</i>	<i>Máquina extrusora de tornillo.....</i>	<i>13</i>
<i>2.1.7</i>	<i>Sistema de transmisión de potencia del extrusor.....</i>	<i>17</i>
<i>2.1.8</i>	<i>Capacidad de producción.....</i>	<i>18</i>
<i>2.1.9</i>	<i>Temperatura de extrusión.....</i>	<i>18</i>
<i>2.1.9.1</i>	<i>Resistencias.....</i>	<i>20</i>

2.1.9.2	<i>Reguladores e indicadores de temperatura y procesos</i>	22
2.1.10	<i>Presiones en una extrusora</i>	24
2.1.10.1	<i>Presión máxima</i>	24
2.1.10.2	<i>Presión de operación</i>	25
2.1.11	<i>Potencia requerida</i>	25
2.1.12	<i>Velocidad de extrusión</i>	26
2.1.12.1	<i>Ecuaciones de velocidad</i>	28
2.1.13	<i>Eficiencia del extrusor</i>	28
2.1.13.1	<i>Calefacción y regulación de temperatura</i>	31
2.1.13.2	<i>Potencia de los calefactores</i>	28
2.1.13.3	<i>Balance energético en el estado transitorio</i>	32
2.1.13.4	<i>Cálculo del coeficiente de transferencia de calor</i>	35
2.1.14	<i>Ensayo de impacto</i>	35
2.1.14.1	<i>VARIABLES importantes del ensayo de impacto</i>	36
2.1.14.2	<i>Norma ASTM D6110-02</i>	37
2.1.14.3	<i>Resumen del método de la prueba</i>	37
2.1.14.4	<i>Criterios importantes para el diseño</i>	37
2.1.14.5	<i>Dimensiones de las probetas</i>	38
2.1.14.6	<i>Procedimiento</i>	39

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	37
3.1	Método de diseño	37
3.2	Análisis y selección de alternativa	37
3.2.1	<i>Despliegue de la función de calidad (casa de la calidad)</i>	37
3.2.1.1	<i>Evaluación del usuario</i>	38
3.2.1.2	<i>Análisis de competitividad</i>	40
3.2.1.3	<i>Casa de Calidad</i>	44
3.2.1.4	<i>Matriz morfológica</i>	45
3.3	Diseño conceptual	45
3.3.1	<i>Cálculos</i>	46
3.3.1.1	<i>Cálculo relación L/D broca</i>	46
3.3.1.2	<i>Longitud de la rosca</i>	46
3.3.1.3	<i>Cálculo de longitudes de zonas</i>	47
3.3.1.4	<i>Paso</i>	47
3.3.1.5	<i>Anchura de la cresta del filete</i>	47

3.3.1.6	<i>Profundidad en el canal helicoidal de alimentación h1</i>	47
3.3.1.7	<i>Profundidad del canal de dosificación h3</i>	48
3.3.1.8	<i>Ángulo de hélice del canal helicoidal</i>	48
3.3.1.9	<i>Producción del tornillo</i>	49
3.3.1.10	<i>Número de filetes NF</i>	50
3.3.1.11	<i>Constante total de la cabeza</i>	50
3.3.1.12	<i>Disco o plato rompedor</i>	51
3.3.1.13	<i>Coficiente geométrico de forma para un disco o plato rompedor (K2)</i>	52
3.3.1.14	<i>Coficiente geométrico de forma K3</i>	52
3.3.1.15	<i>Constante del cabezal</i>	52
3.3.1.16	<i>Caudal</i>	53
3.3.1.17	<i>Flujo másico</i>	53
3.3.1.18	<i>Potencia requerida</i>	53
3.3.1.19	<i>Viscosidad efectiva</i>	54
3.3.1.20	<i>Presiones en la extrusora</i>	55
3.3.1.21	<i>Cálculo de fuerzas del husillo</i>	57
3.3.1.22	<i>Análisis térmico</i>	62
3.4	Selección de materiales mediante Ces-Edupack	67
3.4.1	<i>Procedimiento llevado para seleccionar el material del tornillo y cilindro</i>	67
3.4.2	<i>Procedimiento para seleccionar el material de la estructura, tolva y base de la extrusora de filamento</i>	70
3.5	Análisis estructural	72
3.5.1	<i>Análisis de esfuerzos</i>	73
3.5.2	<i>Análisis de deformaciones</i>	73
3.5.3	<i>Factor de seguridad de la estructura</i>	74
3.6	Elaboración de planos	75
3.7	Construcción de la máquina	75
3.7.1	<i>Construcción detallada de los elementos</i>	77
3.7.1.1	<i>Tornillo de la extrusora</i>	77
3.7.1.2	<i>Cilindro de la extrusora</i>	78
3.7.1.3	<i>Tolva</i>	79
3.7.1.4	<i>Dado del extrusor y boquilla</i>	79
3.7.1.5	<i>Estructura o mesa</i>	80
3.7.1.6	<i>Base del motor</i>	81
3.7.1.7	<i>Base de la extrusora</i>	81
3.7.1.8	<i>Ensamble</i>	82
3.7.1.9	<i>Sistema de enfriamiento</i>	84

3.7.1.10	<i>Sistema eléctrico y electrónico</i>	84
3.8	Pruebas de funcionamiento	88
3.8.1	<i>Preparación de la máquina extrusora</i>	88
3.8.2	<i>Encendido del sistema de calentamiento</i>	88
3.8.3	<i>Encendido del sistema motriz</i>	88
3.8.4	<i>Alimentación de los residuos plásticos triturados en la tolva</i>	89
3.8.5	<i>Encendido del sistema de enfriamiento</i>	89
3.8.6	<i>Enrollado del filamento plástico</i>	89
3.9	Obtención del filamento 3D	89
3.10	Validación de propiedades mecánicas del material reciclado mediante prueba de impacto	90
3.10.1	<i>El alcance que presenta la norma ASTM D6110 es el siguiente</i>	90
3.10.2	<i>Procedimiento</i>	91
3.11	Evaluación de costos	91
3.11.1	<i>Costos directos</i>	91
3.11.1.1	<i>Costo de materiales</i>	91
3.11.1.2	<i>Costo de mano de obra, equipos y herramientas</i>	95
3.11.1.3	<i>Costos por transporte</i>	95
3.11.1.4	<i>Costo directo total</i>	96
3.11.2	<i>Costos indirectos</i>	96
3.11.3	<i>Costo total</i>	96

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	97
4.1	Diseño de la máquina extrusora	97
4.2	Tornillo	97
4.3	Cilindro de la extrusora	97
4.3.1	<i>Tolva</i>	98
4.3.2	<i>Base del cilindro</i>	98
4.3.3	<i>Estructura o mesa</i>	99
4.3.4	<i>Dado del extrusor</i>	99
4.3.5	<i>Boquilla</i>	99
4.3.6	<i>Plato rompedor</i>	100
4.3.7	<i>Base del motor</i>	100
4.3.8	<i>Parámetros de construcción</i>	101
4.3.9	<i>Características técnicas de la máquina extrusora de filamento plástico</i>	103

4.3.10	<i>Construcción y ensamble</i>	103
4.4	Protocolo de pruebas de funcionamiento y validación de propiedades mecánicas mediante ensayo de impacto Charpy	104
4.5	Obtención del filamento	104
4.5.1	<i>Ensayo de probetas</i>	106
	CONCLUSIONES	111
	RECOMENDACIONES	112
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Propiedades generales de materiales a extruir.....	6
Tabla 2-2:	Porcentajes de relleno recomendados	7
Tabla 3-2:	Temperaturas características por colores del ABS.....	8
Tabla 4-2:	Temperaturas características por colores del polímero PLA.....	9
Tabla 5-2:	Comparación de propiedades entre el ABS y PLA.....	10
Tabla 6-2:	Relación del tamaño de extrusora contra el empuje axial de retención del husillo.....	16
Tabla 7-2:	Rangos de temperatura de fusión vítrea(°C) para polímeros termoplásticos y elastómeros.....	17
Tabla 8-2:	Rangos de temperatura de fusión vítrea(°C) para polímeros termoplásticos.....	18
Tabla 9-2:	Variables de ensayo de impacto.....	18
Tabla 10-2:	Variables de ensayo de impacto.....	32
Tabla 10-2:	(Continuación)	33
Tabla 1-3:	Voz del usuario.....	37
Tabla 1-3:	(Continuación)	38
Tabla 2-3:	Resultados de las encuestas aplicadas.....	38
Tabla 2-3:	(Continuación)	39
Tabla 3-3:	Análisis de competitividad.....	40
Tabla 4-3:	Voz del usuario y voz del ingeniero.....	41
Tabla 5-3:	Parámetros técnicos de la extrusora Shen Jia/ao.....	42
Tabla 6-3:	Parámetros técnicos de la extrusora Wellzoom.....	42
Tabla 6-3:	(Continuación)	43
Tabla 7-3:	Parámetros técnicos de la extrusora Z-SJ45.....	43
Tabla 8-3:	Casa de Calidad.....	44
Tabla 9-3:	Matriz morfológica.....	45
Tabla 10-3:	Dimensiones del tornillo.....	48
Tabla 11-3:	Constantes para convección libre sobre un cilindro circular horizontal....	64
Tabla 12-3:	Variación de la temperatura a través del tiempo.....	66
Tabla 12-3:	(Continuación)	67
Tabla 13-3:	Peso de los componentes de la extrusora.....	73
Tabla 14-3:	Temperatura vs tiempo de precalentamiento.....	89
Tabla 14-3:	(Continuación)	90
Tabla 15-3:	Parámetros recomendados para la impresión de las probetas.....	90

Tabla 16-3:	Costos de materiales.....	92
Tabla 16-3:	(Continuación)	93
Tabla 16-3:	(Continuación)	94
Tabla 17-3:	Costo de mano de obra.	95
Tabla 18-3:	Costos de equipos y herramientas.....	95
Tabla 19-3:	Costos de transporte.....	96
Tabla 20-3:	Costo directo total.	96
Tabla 21-3:	Costos de indirectos.....	96
Tabla 22-3:	Costos totales.....	96
Tabla 1-4:	Características generales de la máquina extrusora.....	97
Tabla 2-4:	Parámetros técnicos de los elementos que constituyen la máquina extrusora.....	101
Tabla 2-4:	Continuación.....	102
Tabla 3-4:	Características técnicas de la máquina extrusora.....	103
Tabla 4-4:	Parámetros para extrusión de filamento.....	105
Tabla 5-4:	Velocidad de calentamiento de la extrusora.....	105
Tabla 6-4:	Dimensiones de la probeta.....	107
Tabla 7-4:	Energía absorbida en el impacto Charpy de las probetas	108
Tabla 8-4:	Resiliencia de las probetas	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Filamento para impresión 3D.....	7
Figura 2-2:	Producción mundial de termoplásticos.....	13
Figura 3-2:	Zonas del husillo.....	14
Figura 4-2:	Husillo de tres zonas.....	14
Figura 5-2:	Partes de la Cabeza.....	15
Figura 6-2:	Resistencia eléctrica cilíndrica sin escafandra.....	19
Figura 7-2:	Resistencia eléctrica cilíndrica con escafandra.....	19
Figura 8-2:	Resistencia con cámara protectora de calor.....	20
Figura 9-2:	Termocupla.....	22
Figura 10-2:	Perfil de velocidades originado por el flujo de arrastre.....	24
Figura 11-2:	Perfil de velocidades originado por el flujo de arrastre.....	24
Figura 12-2:	Perfil de velocidades originado por el flujo de arrastre.....	25
Figura 13-2:	Sistema de coordenada nomenclatura.....	26
Figura 14-2:	Sistema de análisis para balance energético.....	29
Figura 15-2:	Dimensiones de la probeta para ensayos de impacto.....	34
Figura 1-3:	Tornillo de extrusora.....	46
Figura 2-3:	Plato rompedor.....	51
Figura 3-3:	Tornillo de la extrusora maquinado.....	77
Figura 4-3:	Cilindro de la extrusora.....	78
Figura 5-3:	Tolva.....	78
Figura 6-3:	Dado del extrusor con boquilla.....	79
Figura 7-3:	Estructura o mesa.....	80
Figura 8-3:	Base del motor.....	80
Figura 9-3:	Base de la extrusora.....	81
Figura 10-3:	Ensamble del conjunto mesa, base del motor, y motoreductor.....	82
Figura 11-3:	Ensamble del conjunto base del extrusor, tolva, cilindro, tornillo y mesa.....	82
Figura 12-3:	Circuito electrónico del sistema motriz, calentamiento y enfriamiento... ..	84
Figura 13-3:	Circuito electrónico del control de temperatura.....	88
Figura 1-4:	Tornillo realizado en Solidworks.....	97
Figura 2-4:	Cilindro de la extrusora realizado en Solidworks.....	98
Figura 3-4:	Tolva realizada en Solidworks.....	98
Figura 4-4:	Base del cilindro realizado en Solidworks.....	98
Figura 5-4:	Estructura o mesa realizado en Solidworks.....	99
Figura 6-4:	Dado extrusor realizado en Solidworks.....	99

Figura 7-4:	Boquilla realizada en Solidworks.....	100
Figura 8-4:	Plato rompedor realizado en Solidworks.....	100
Figura 9-4:	Base del motor realizado en Solidworks.....	100
Figura 10-4:	Ensamble realizado en Solidworks.....	103
Figura 11-4:	Ensamble total de la máquina extrusora.....	104
Figura 12-4:	Obtención del filamento.....	106
Figura 13-4:	Forma de la probeta.....	107
Figura 14-4:	Probetas de PLA de material nuevo lote A antes de realizar el ensayo...	109
Figura 15-4:	Probetas de PLA de material reciclado lote B antes de realizar el impacto Charpy.....	110
Figura 16-4:	Probetas de PLA de material nuevo lote A después de realizar el impacto Charpy.....	110
Figura 17-4:	Probetas de PLA de material reciclado lote B después de realizar el impacto Charpy.....	110

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Producción mundial de termoestables.....	11
Gráfico 2-2:	Componentes principales de una extrusora.....	13
Gráfico 1-3:	Curvas de velocidad de cortadura.....	55
Gráfico 2-3:	Fuerzas presentes en el husillo.....	57
Gráfico 3-3:	Parámetros de selección para el husillo y cilindro.....	68
Gráfico 4-3:	Parámetros eje X del husillo y cilindro.....	68
Gráfico 5-3:	Parámetros eje Y del husillo y cilindro.....	69
Gráfico 6-3:	Materiales obtenidos con el programa para el husillo y cilindro.....	69
Gráfico 7-3:	Parámetros de selección para la tolva, estructura y base de la extrusora.....	70
Gráfico 8-3:	Restricciones eje X para la tolva, estructura y base de la extrusora.....	71
Gráfico 9-3:	Restricciones eje Y para la tolva, estructura y base de la extrusora.....	71
Gráfico 10-3:	Materiales obtenidos con el programa para la tolva, estructura y base de la extrusora.....	72
Gráfico 11-3:	Análisis de tensión axial y de flexión.....	73
Gráfico 12-3:	Desplazamientos resultantes.....	74
Gráfico 13-3:	Factor de seguridad.....	74
Gráfico 14-3:	Declaración de variables en Arduino.....	85
Gráfico 15-3:	Código de programación.....	86
Gráfico 16-3:	Programación de condicionales.....	86
Gráfico 17-3:	Programación de impresión de resultados.....	87
Gráfico 1-4:	Curva de calentamiento de la máquina extrusora.....	106
Gráfico 2-4:	Dimensiones de la probeta obtenida de la norma ASTM D6110.....	107

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	ENCUESTAS REALIZADAS
ANEXO B	TABLA DE CENGEL PARA PROPIEDADES DEL AIRE A 1 ATM
ANEXO C	PLANOS

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue diseñar y construir una máquina extrusora de filamentos a partir de los residuos plásticos de impresiones 3D para el grupo de investigación GIDETER-ESPOCH, se implementó la metodología QFD, se realizó procedimientos detallados para que el proyecto sea entendido y se conozca como se llevó a cabo su elaboración, la revisión de bibliografía o estudio del arte fue una parte fundamental en el proyecto, mediante esta se conoció que se puede reutilizar los materiales termoplásticos, posteriormente mediante cálculos se obtuvo las dimensiones principales de la máquina, se realizó pruebas de funcionamiento tomando como consideración parámetros importantes tales como temperatura, capacidad, velocidad, etc. Se trabajó mediante normativa ASTM D6110 para la verificación de las propiedades del filamento obtenido y se realizó comparación con filamentos no reutilizados, esto mediante un ensayo de impacto Charpy. Como resultado se obtuvo el diseño y construcción de una máquina eficiente, fácil de utilizar y que solvente las necesidades para las cuales fue construida, también se trabajó con programas ingenieriles los cuales facilitan el diseño y construcción. Los resultados de los filamentos obtenidos fueron aceptables con respecto a la comparación de los ensayos de impacto realizados con los filamentos reutilizados y los no reutilizados. Los materiales termoplásticos pueden ser reutilizados, en este caso se utilizó en la obtención de filamentos para impresiones 3d para el grupo de investigación GIDETER-ESPOCH, se concluyó basándose en estudios previamente analizados que la máquina extrusora emplearía como materia prima PLA por ser el material que presenta mejor comportamiento de extrusión. Se recomienda realizar múltiples ensayos de impacto para obtener mejores resultados al momento de realizar la comparación de propiedades mecánicas y también realizar múltiples pruebas de funcionamiento de la máquina extrusora para verificar los parámetros de operación.

Palabras Clave: <EXTRUSORA>, < ENSAYO DE IMPACTO >, <FILAMENTO>, <METODOLOGÍA QFD>, <PROPIEDADES MECÁNICAS>.



Elaborado y Certificado por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

0735-DBRA-UPT-2022

2022-04-20

ABSTRACT

The objective of this study was to design and build a filament extruder machine from 3D printing plastic waste for the GIDETER-ESPOCH research group. For which the QFD methodology was implemented, detailed procedures were carried out so that the project is understood and how its elaboration was carried out, the review of bibliography or study of art was a fundamental part of the project, through this it was known that thermoplastic materials can be reused, later through calculations the main dimensions of the machine were obtained, performance tests were carried out taking into consideration important parameters such as temperature, capacity, speed, etc. Work was carried out using the ASTM D6110 standard to verify the properties of the filament obtained and a comparison was made with non-reused filaments, using a Charpy impact test. As a result, the design and construction of an efficient machine was obtained, easy to use and that solves the needs for which it was built, also working with engineering programs which facilitate the design and construction. The results of the filaments obtained were acceptable with respect to the comparison of the impact tests carried out with the reused and non-reused filaments. Thermoplastic materials can be reused, in this case it was used to obtain filaments for 3d printing for the GIDETER-ESPOCH research group. It was concluded based on previously analyzed studies that the extruder machine would use PLA as raw material because it is the material that presents the best extrusion behavior. It is recommended to carry out multiple impact tests to obtain better results when comparing mechanical properties and to carry out multiple performance tests of the extruder machine to verify the operating parameters.

Keywords: <EXTRUDER MACHINE>, < IMPACT TEST >, <FILAMENT>, < QFD METHODOLOGY>, <MECHANICAL PROPERTIES>.

LUIS
FRANCISCO
MANTILLA
CABRERA

Firmado
digitalmente por
LUIS FRANCISCO
MANTILLA CABRERA
Fecha: 2022.04.26
13:07:54 -05'00'

INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como finalidad, el diseño y construcción de una extrusora de filamentos a partir de los residuos plásticos de impresiones 3D para el grupo de investigación GIDETER-ESPOCH, la extrusora que se plantea construir debe tener la capacidad de producir filamentos a partir de residuos plásticos de impresiones 3D triturados de 1 a 8mm de diámetro, los filamentos que se van a obtener van a poseer un diámetro de 1,75mm a 3mm, estos son los diámetros más usados por las impresoras 3D y además son los más comercializados. Cabe destacar que el diseño que se va a realizar es mediante el estudio e investigación y se emplearan cálculos ingenieriles aprendidos a lo largo de la carrera.

La construcción de esta máquina ayudara a que los residuos que se obtenga por parte de las impresiones 3D, utilizados primordialmente por el grupo de investigación GIDETER-ESPOCH sean reutilizados, evitando de esta manera la contaminación por el desecho de estos residuos y ayudando de manera sustancial en los costos de adquisición de los filamentos empleados en las impresiones 3D.

Los materiales de tipo termoplásticos se diferencian de los polímeros termofijos debido a que una vez calentados y moldeados estos se pueden fundir nuevamente para originar una nueva pieza.

El filamento que se obtendrá por medio de la extrusora es de material termoplástico, mismo que se podrá obtener al variar el rango de temperatura, esto es debido a las diferentes propiedades que presenta cada material termoplástico, el producto final debe cumplir con parámetros necesarios para poder ser empleados en impresoras 3D.

Una vez realizado los cálculos se procederá a realizar el prediseño de la máquina, se utilizará el software Solidworks para la obtención de los planos para su posterior construcción.

Posterior a la construcción se verificará el correcto funcionamiento de la máquina extrusora de filamentos, luego se procederá a imprimir probetas con los filamentos obtenidos de material reciclado de previas impresiones 3D, para poder realizar ensayos de impacto, siguiendo el procedimiento y consideraciones que la norma establece, para poder verificar sus propiedades mecánicas.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

La extrusión tiene sus primeros indicios en 1797, cuando Joseph Bramah registró el primer proceso de extrusión para fabricar tubos de plomo; el cual consistió en el precalentamiento del metal que luego pasó a través de un troquel con un émbolo a mano. Luego, en 1894, Alexander Dick llevó a cabo el proceso de extrusión para aleaciones de cobre y bronce. (Design of an extrusion machine for the manufacture of plastic tubes, 2019 ,p.3). En 1935 Paul Troster construyó la primera extrusora de termoplástico en Alemania (Ortiz, et al., 2018 p.59). Pero hasta el 2010, la fabricación de filamentos de polímeros fundidos fue utilizada para obtener sistemas de prototipos rápidos y de bajo costo. Por lo tanto, la extrusión es el proceso idóneo para la fabricación de filamento de impresión 3D. (Fajardo, et al., 2011 p.20)

Las impresoras 3D son fabricadas, en su mayoría, para trabajar con filamentos de material acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) o políácido láctico o ácido poli láctico (PLA) debido a sus propiedades mecánicas y físicas, los cuales se manufacturan principalmente en dos diámetros estándares: 1,75mm y 3,0 mm, que pueden ser transportados y empujados por la boquilla para ser extruidos con facilidad. (Luna, et al., 2016 p.35)

Según, (Gutiérrez Paredes, et al., 2017, p.112) determinó que para una extrusora de plástico el diseño horizontal es el más idóneo ya que presenta ventajas frente al diseño vertical como: se elimina el estiramiento debido al peso del filamento y la gravedad, la distancia hacia la zona de enfriamiento aumenta, el motor ya no se encuentra en la parte superior de la extrusora y la colocación de la tolva es más sencilla.

En el enfriamiento y enrollamiento del material, es una de las partes críticas del diseño y la construcción de una máquina extrusora, se debe tener cuidado de no tensionar demasiado el filamento por que puede romperse o puede existir cambios en su diámetro, se recomienda una velocidad de extrusión constante para no tener inconvenientes. (Morales Ile, 2018, p.4)

Realizando un estudio de las máquinas ya existentes se puede concluir que en su mayoría son de diseño horizontal, logrando variar diámetros de filamento por medio del cambio de boquillas antes de la extrusión, existen de diferentes capacidades de procesamiento, nuestro diseño se enfoca en un diseño compacto, seguro y silencioso con la capacidad de procesar los residuos de un grupo de investigación a nivel universitario, garantizando los requerimientos necesarios para utilizar los filamentos en impresoras 3D mediante ensayos mecánicos.

1.2 Delimitación

1.2.1 Delimitación espacial

El trabajo presentado a continuación será desarrollado dentro de la ciudad de Riobamba perteneciente a la provincia de Chimborazo ubicado en el territorio ecuatoriano.

1.2.2 Delimitación sectorial

El estudio y desarrollo de este trabajo se acoge al Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, en base al objetivo 1 el cual indica; Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas.

1.2.3 Delimitación académica

Diseñar y construir una máquina extrusora de filamentos ABS y PLA con capacidad aproximada de 0.8 a 1 Kg/h a partir de los residuos plásticos de impresiones 3D para el grupo de investigación GIDETER-ESPOCH.

Realizando un análisis exhaustivo de las máquinas existentes, se determinó que estas utilizan un material específico para el proceso de extrusión debido a las temperaturas de trabajo, nuestro proyecto va a trabajar con residuos de impresión ya especificados por el grupo de investigación.

Uno de los parámetros más importantes para el diseño y construcción son sus dimensiones, es decir que esta sea de tamaño laboratorio logrando así adaptarse al área de trabajo con el que cuenta el grupo de investigación GIDETER-ESPOCH, se realizara únicamente ensayos de impacto Charpy para la validación de las propiedades mecánicas del material obtenido utilizando un porcentaje de relleno del 80% al 100% ya que esto es utilizado para aplicaciones de impacto

1.3 Formulación del problema

El propósito de la máquina extrusora es ser capaz de suministrar materia prima requerida PLA y ABS para la realización de filamentos para impresora 3D, a partir de la utilización de los desperdicios generados por las impresiones.

GIDETER-ESPOCH es un grupo de investigación de la Facultad de Mecánica la cual desarrolla investigaciones innovadoras a través de un grupo multidisciplinario de docentes investigadores, los cuales incursionan cada vez más en la utilización de la impresión 3D, el uso eficiente de la materia prima para la impresión 3D es uno de los aspectos sobre los cuales se debe trabajar en el grupo de investigación, buscando el autoabastecimiento de materia prima, además deben ser capaces de producir su propio filamento a partir de residuos de las impresiones o piezas defectuosas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar y construir una máquina extrusora de filamentos a partir de los residuos plásticos de impresiones 3D para el grupo de investigación GIDETER-ESPOCH.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio del estado del arte de la materia prima empleada para la impresión 3D (PLA)
- Diseñar los principales elementos de la máquina extrusora en función a las propiedades del material reciclado
- Construir y ensamblar los elementos constitutivos de la máquina extrusora, basado en el diseño desarrollado.
- Realizar el protocolo de pruebas de funcionamiento de la máquina y validar las propiedades mecánicas de las impresiones con el material reciclado mediante ensayo de impacto Charpy.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Propiedades de los plásticos

Es importante entender las propiedades características de los plásticos, entre los cuales se encuentran el alto peso molecular, la baja densidad, alta resistencia a la corrosión y baja conductividad térmica y eléctrica, todo al contrario de los materiales metálicos, es por ello que su aplicación en la industria moderna es cada día más creciente. Las características antes mencionadas hacen posible su amplia aplicación y uso de tipo industrial, tal es así que en la actualidad existen plásticos con elevada resistencia al calor y a la tracción, con valores próximos a los aceros. Los plásticos, bajo carga, tienen un comportamiento diferente al de cualquier otro material industrial, la razón es que en forma especial los termoplásticos tienen un comportamiento viscoelástico, es decir tienen una reacción viscosa y elástica, al contrario de los metales que tiene una reacción ante las cargas de una falla por deformación. Esta deformación viscoelástica se debe, en forma principal, a la estructura molecular de cadena larga. Cuando las cadenas largas están bajo cargas, se mueven una a lo largo de la otra y la cantidad de movimiento se debe al tipo de enlace. Los plásticos con enlaces débiles se deforman con más facilidad que los que tienen enlaces fuertes. (Montalvo, 2007, p.10)

En general, una extrusora puede trabajar con cualquier material que tenga su punto de fusión dentro de los rangos de temperatura de trabajo del equipo, así como la viscosidad del material sea proporcional a los esfuerzos que la máquina pueda producir. Por razones netamente experimentales, este trabajo se acota a 3 posibles plásticos: HDPE, PLA y ABS, con los cuales se espera representar el amplio espectro de posibilidades. (García, 2015, p.9)

ABS: (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) es un termoplástico amorfo con alta resistencia a químicos, a abrasivos e impactos. Muy utilizado en automóviles y electrodomésticos, siendo su uso más conocido el de los juguetes “Lego”. En impresión 3D es de particular interés, pues las primeras generaciones de impresoras domésticas utilizaron este tipo de material. Además, corresponde a uno de los plásticos más complejos de trabajar.

PLA: (Poliácido Láctico o Acido Poli-láctico) es un poliéster alifático termoplástico biodegradable, derivado de fuentes renovables como el maíz, tapioca, caña de azúcar y básicamente cualquier tipo de almidón. Se utiliza en implantes médicos, embalaje, fibras y textiles no tejidos, productos de higiene, entre otros. La impresión 3D doméstica actual tiende a su masificación como materia prima. (García, 2015, p.9)

HDPE: (Polietileno de Alta Densidad) es un polietileno, químicamente el plástico más sencillo y común, derivado del petróleo. Destaca del resto de los polietilenos por su relación resistencia-densidad, obtenida por sus pocas ramificaciones. Lo anterior se traduce en fuertes fuerzas intermoleculares, resultando en altos esfuerzos de tracción soportados, respecto a plásticos similares. Se utiliza ampliamente en envases desechables, tuberías de agua potable, juguetes, artículos de protección personal, entre otros. (García, 2015, p.9)

La Tabla 1-2 resume las propiedades principales de los materiales con los que la extrusora podrá trabajar, mostrando rangos promedios para cada ítem, pues existen varios grados (tipos) de cada material y las propiedades difieren entre los grados y fabricantes. (García, 2015, p.10)

Tabla 1-2: Propiedades generales de materiales a extruir.

Material	Densidad	Conductividad térmica	Índice de fluidez	Calor específico
	$\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$	$\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ K}\right]$	$\left[\frac{g}{10 \text{ min}}\right]$	$\left[\frac{J}{Kg \cdot ^\circ K}\right]$
ABS	890 – 1.210	0,15 – 0,2	0,1 - 35	2132
PLA	1.000 – 1.620	0,13	2 - 85	1386
HDPE	933 – 1.270	0,288 – 0,48	0,04 - 63	1796

Material	Punto de fusión	Temperaturas de trabajo		
	[°C]	<i>Melt</i> [°C]	<i>Nozzle</i> [°C]	<i>Die</i> [°C]
ABS	177 - 185	177 - 274	215 - 274	200 - 250
PLA	110 - 170	45 - 120	171 - 220	190
HDPE	124 - 135	124 - 321	204 - 221	210 - 260

Fuente: (García, 2015, p.10)

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

2.1.2 *Filamento para impresión 3D*

Según (Berral, 2016, p.12) los filamentos para impresoras 3D generalmente son de tipo termoplástico y tienen la apariencia de un hilo grueso que se almacena en bobinas, tienen un diámetro que va desde 1,75 mm a 3 mm.



Figura 1-2. Filamento para impresión 3D

Fuente: (Imprimalia3D, 2016, p.2)

En una impresión 3D se considera el porcentaje de relleno como un parámetro que dependiendo del uso que se la vaya a otorgar a la pieza a procesar, éste nos permitirá impregnarle la cantidad de material deseado en la estructura impresa, es decir que equivale a la cantidad de plástico vs el volumen total del 3D. (Médico Bravo, 2017, p.18)

Tabla 2-2: Porcentajes de relleno recomendados

APLICACIÓN	PORCENTAJE DE RELLENO
Flotadores	0% a 5%
Maquetas	5% a 10%
Uso general	15% a 25%
Uso mecánico leve	25% a 40%
Uso mecánico exigente	40% a 80%
Resistencia al impacto	80% a 100%

Fuente: (Chakravorty, 2020)

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

2.1.2.1 Acrilonitrilo, Butadieno y Estireno (ABS)

Según (Kalpakjian, 2007, p.208) es un plástico con excelentes propiedades mecánicas, es rígido y dimensionalmente estable, posee buena resistencia a la abrasión, a los productos químicos. Sus aplicaciones más conocidas son: componentes para automóviles, artículos de plomería, filamentos, teléfonos, recubrimientos de refrigeradores, etc.

Para la impresión del ABS hay que tomar en cuenta parámetros de impresión y también de la impresora a utilizar, uno de estos parámetros es la temperatura del extrusor, al fundirlo debe estar entre un rango de 220° - 250°C, pero cabe recalcar que esta temperatura dependerá del color del filamento, estas temperaturas por colores se detallan en la Tabla 1-2. Otro parámetro para tomar es la temperatura de la placa base de la impresora 3D, para lo cual debe precalentarse entre un rango de 95 a 110 °C. (Molina Osejos, 2016, p.17)

Propiedades Físicas

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

Propiedades Mecánicas

- Resistencia al impacto: 105 – 320 J/m
- Resistencia a la tensión: 4,2 – 5,3 Kg/mm²
- Dureza: 105 – 110 Rockwell
- Elongación: 5 – 20%
- Peso específico: 600 Kg/m³

Tabla 3-2: Temperaturas características por colores del ABS

Color del ABS	Temperatura placa base (°C)	Temperatura extrusor (°C)
Normal	111	215
Azul	110	220-240
Dorado	108	215-230
Rojo	112	220-230

Fuente: (Molina Osejos, 2016, p.21)

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

2.1.2.2 Ácido Poliláctico (PLA)

El ácido poliláctico es un es un polímero biodegradable derivado del ácido láctico. Se fabrica a partir de recursos renovables al 100%, como son el maíz, la remolacha, el trigo y otros productos ricos en almidón. Este termoplástico tiene muchas características equivalentes, e incluso mejores,

que muchos de los plásticos derivados del petróleo, lo que hace que sea eficaz para una gran variedad de usos.

El PLA es en su forma normal un polímero permanente e incoloro. Es resistente a la humedad y a la grasa. Tiene características de barrera del sabor y del olor similares al plástico de polietileno tereftalato, el famoso PET, que es usado como envase para bebidas no alcohólicas y para otros productos no alimenticios. (Hxx, 2015, p.1)

Para la impresión se considera su temperatura de extrusión, que está entre los rangos de 180° - 210°C, al igual que otros filamentos poliméricos, esta temperatura dependerá del color del filamento y dichos datos de temperaturas se describen en la tabla 3-2. Para la temperatura de precalentamiento de la placa base de la impresora 3D, debe estar entre el rango de 60 a 80 °C. (Molina Osejos, 2016, p.20)

Propiedades físicas y mecánicas

- Densidad: 1,25 g/cm³
- Módulo de elasticidad (Young): 3.5 GPa
- Elongación a la rotura: 6%
- Módulo de flexión: 4 GPa
- Resistencia a la flexión: 80 MPa
- Temperatura de transición vítrea: 60°C
- Temperatura de deflexión del calor (a 455 kPa): 65°C
- Comienzo de fusión: 160°C
- Módulo de corte: 2,4 GPa
- Capacidad calorífica específica: 1800 J/kg-K
- Relación fuerza-peso: 40 kN-m/kg
- Resistencia a la tracción (UTS): 50 MPa
- Conductividad térmica: 0,13 W/m-K

Tabla 4-2: Temperaturas características por colores del polímero PLA

Tono del PLA	Temperatura placa base (°C)	Temperatura extrusor (°C)
Normal	71	180-200
Negro	71	185-210
Amarillo	69	215-230
Rojo	58	190-220

Fuente: (Molina Osejos, 2016, p.23)

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Tabla 5-2: Comparación de propiedades entre el ABS y PLA

Polímeros Propiedades	PLA	ABS
Origen	Vegetal	Derivado del petróleo
Resistencia a la tracción	37 MPa	27 MPa
Alargamiento	6%	3,5%
Módulo de elasticidad	4GPa	2,1 a 7,6 GPa
Densidad	1,3 g/cm ³	1 a 1,4 g/cm ³
Temperatura de transición vítrea	60°C	105°C
Temperatura de fusión	175°C
Toxicidad	No	Si

Fuente: (Pacheco Carpio, 2019, p.36)

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

2.1.3 *Reciclaje de polímeros para impresión 3D*

Según (Lanza Sanchez, 2015, p. 1) expone que la fabricación aditiva se ha estudiado durante más de 20 años. La tecnología crea nuevos objetos mediante la adición de material capa por capa. Por lo general, plásticos como PLA o ABS se utilizan como materia prima para alimentar las impresoras 3D. Sin embargo, la contaminación ambiental creada por el abuso en la utilización de los plásticos es un problema real a resolver.

Por esa razón, el PLA, menos agresivo, se utiliza cada vez más. Es biodegradable, termoplástico, semi-cristalino y alifático.

En este trabajo se expone cómo los procesos de reutilización y reciclaje afectan a las propiedades principales del PLA.

2.1.3.1 *Tipos de plásticos*

Hay dos principales tipos de plásticos: los termoplásticos y los termoestables.

- Los termoplásticos se reblandecen al ser calentados y se endurecen al enfriarse. A nivel mundial, los termoplásticos representan el 83% del total de plásticos. (Cadena, et al., 2000, p.17)

Las propiedades de los materiales termoplásticos son:

- Se pueden reciclar y reusar
- Buenos aislantes térmicos y eléctricos
- Maleables con el calentamiento
- Buena resistencia química a temperatura ambiente
- Buena resistencia a la fluencia (todoenpolimero, 2016, p.1)
- Los termoestables se endurecen por medio de un proceso de fraguado y no se pueden volver a fundir ni a moldear.

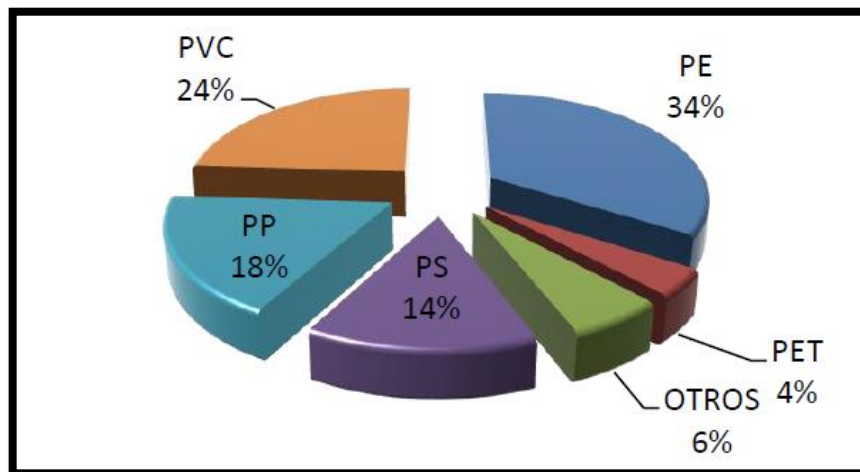


Gráfico 1-2. Producción mundial de termoplásticos

Fuente: (Cadena, et al., 2000, p.18)

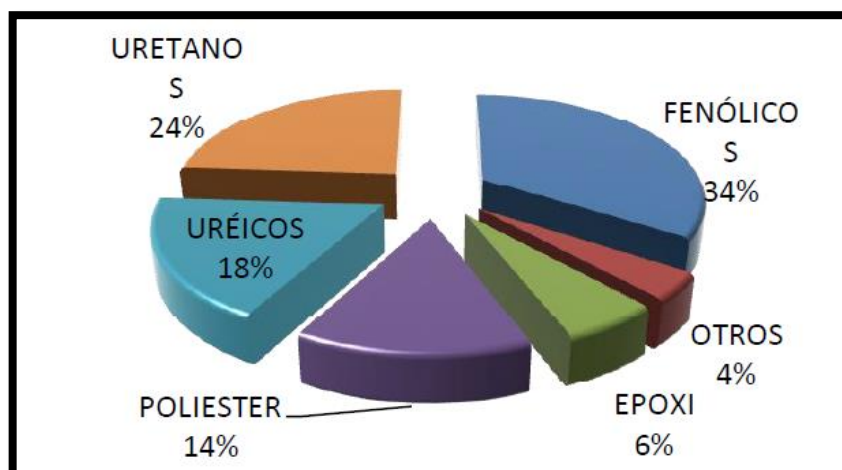


Gráfico 2-2. Producción mundial de termoestables

Fuente: (Cadena, et al., 2000, p.19)

2.1.4 *Equipos para la extrusión de plásticos*

Las extrusoras más utilizadas, según la presión necesaria para hacer pasar el plástico fundido a través de la boquilla son:

- a) Extrusoras de desplazamiento positivo:
 - Extrusoras de pistón
- b) Extrusoras de fricción viscosa:
 - Extrusora de tornillo

2.1.5 *Máquina extrusora de pistón*

Están constituidas por una camisa calefaccionada por la cual se desplaza un émbolo, el cual generará la presión necesaria para extruir el material por la boquilla cuando este alcance la temperatura de plastificación. Este mecanismo resulta ser el más adecuado cuando la cantidad de material a extruir es reducida, condición que se da en producciones de polímeros a baja escala desarrollados en laboratorio. (Lombard, 2019, p.1)

2.1.6 *Máquina extrusora de tornillo*

En la industria de los plásticos, participan los manufactureros de las resinas básicas, a partir de productos químicos básicos provenientes del petróleo y de sus gases y que suelen producir la materia prima en forma de polvo, gránulos, escamas, líquidos ó en forma estándar como láminas, películas, barras, tubos y formas estructurales y laminados, participan también los procesadores de plásticos que conforman y moldean las resinas básicas en productos terminados. En la conformación y moldeo de las resinas se utilizan también diversos componentes químicos o no, que le proporcionan al producto terminado ciertas características especiales, dentro de ellos tenemos: Las cargas, que sirven de relleno, dar resistencia, dar rigidez al moldeo o bajar los costos de producción, dentro de ellos tenemos el aserrín, tejidos de algodón, limaduras de hierro, fibra de vidrio, etc. (Montalvo, 2007, p.3)

Se usa principalmente para termoplásticos. La extrusión es el mismo proceso básico que el moldeo por inyección, la diferencia es que en la extrusión la configuración de la pieza se genera con el troquel de extrusión y no con el molde como en el moldeo por inyección. En la extrusión el material plástico, por lo general en forma de polvo o granulado, se almacena en una tolva y luego se alimenta una larga cámara de calefacción, a través de la cual se mueve el material por acción de un tornillo sin fin, al final de la cámara el plástico fundido es forzado a salir en forma continua y a presión a través de un troquel de extrusión preformado, la configuración transversal del troquel determina la forma de la pieza. (Montalvo, 2007, p.7)

En el caso de recubrimiento de alambres y cables, el termoplástico se estruje alrededor de una longitud continua de alambre o cable, el cual al igual que el plástico pasa también por el troquel, después de enfriado el alambre se enrolla en tambores. (Montalvo, 2007, p.7)

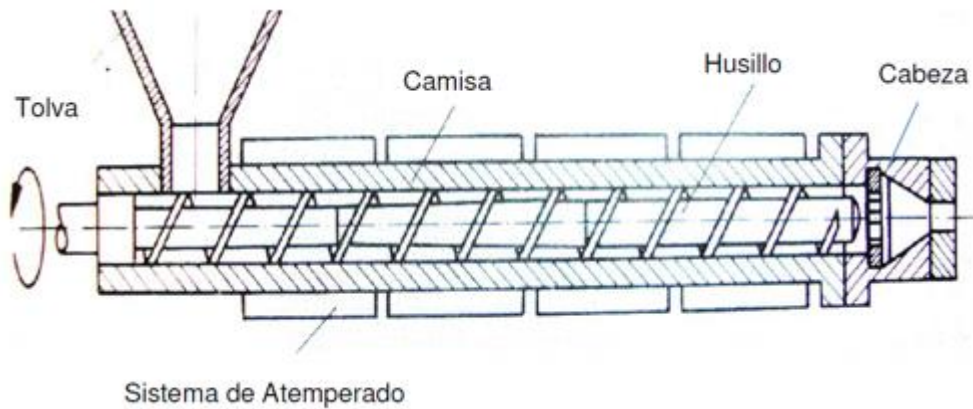


Figura 2-2. Componentes principales de una extrusora

Fuente: (García, 2015, p.5)

La sección de calibración y refrigeración trabaja en conjunto con el tren de estiraje; al refrigerar y controlar (acelerar) el enfriado de la pieza en conjunto al estirado adecuado, se logra la geometría final deseada y se aumenta la velocidad de producción. Las etapas posteriores dependen del artículo en la línea de fabricación, por ejemplo; si se crean cañerías, será necesaria una etapa de cortado, si se produce hilo de pescar, una sección de bobinado, y ambas necesitarán su empaque (etapa de semi-terminado). Las configuraciones son tan diversas como productos existentes.

Los principales componentes de una extrusora son descritos a continuación (García, 2015, p.5):

Tolva: caja con forma de tronco de pirámide o de cono invertido, la cual almacena temporalmente la materia prima a procesar, es la encargada de alimentar a la extrusora gradualmente con el material a transformar. Generalmente, los materiales no deslizan de manera adecuada, por lo que es usual agregar un sistema de agitación adicional. (García, 2015, p.5)

Husillo: dentro de una extrusora, corresponde a un tornillo sinfín, cumpliendo varios roles importantes del proceso; carga, transporta, funde y homogeniza el plástico, por lo que se considera la pieza clave del equipo. Existen distintos tipos de husillos, y distintas configuraciones, pero destaca el “Husillo de Tres Zonas”, siendo el más utilizado. Este sinfín de sección variable presenta 3 zonas claras: (García, 2015, p.5)

I. Zona de Alimentación: comienza la carga y transporte del material, aun en estado sólido.

II. Zona de Compresión: el material es fundido y compactado, gracias a la profundidad decreciente del filete. El cambio de sección ayuda al cambio de fase del plástico, el roce entre partículas y contra el husillo y cilindro produce calor que es aprovechado para el proceso.

III. Zona de Plastificado: (o zona de descarga) el material se homogeniza y se le da la temperatura deseada. (García, 2015, p.6)

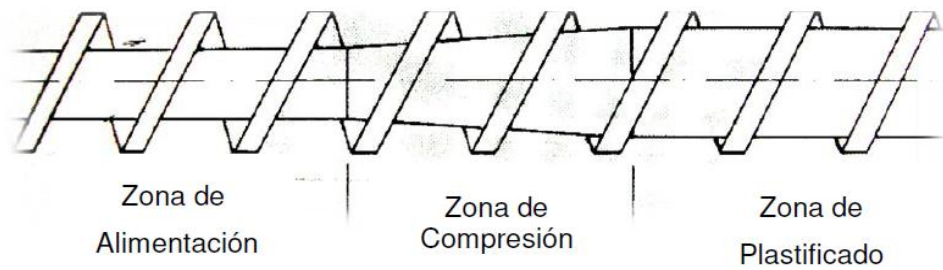


Figura 3-2. Zonas del husillo

Fuente: (García, 2015, p.6)

Las extrusoras en general, dependiendo del tipo de husillo, se agrupan en dos categorías principales:

- Extrusora Mono-Husillo: poseen un cilindro liso en su interior. La presión para superar la resistencia opuesta por el molde se alcanza sólo en la zona de dosificación (inmediatamente anterior a la boquilla, en la cabeza).
- Extrusora de Doble Husillo: la homogenización del material resulta peor que en las mono-husillos, por lo que se agregan zonas de mezcla. Gracias a lo anterior, las extrusoras de alto rendimiento usualmente son de este tipo. Las extrusoras de doble husillo de giro contrario son utilizadas para materiales pulverulentos, dejando un espacio cerrado entre los husillos, gracias a su disposición. Sólo al final del husillo, donde crece la presión, se forma una corriente de escape y el material se funde prácticamente por la acción de la fricción. (García, 2015, p.6)

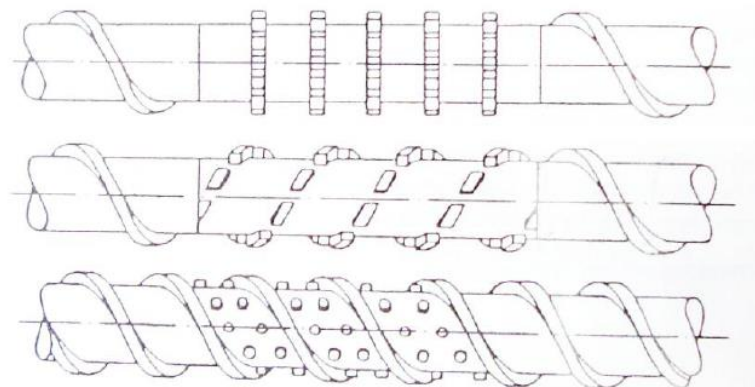


Figura 4-2. Husillo de tres zonas

Fuente: (García, 2015, p. 7)

Camisa o Cilindro: envuelve al husillo, conteniendo el material. Dependiendo del tipo de husillo, existen distintos tipos de cilindros, adaptándose a la configuración del sinfín. Cuando son extrusoras de doble husillo, el cilindro posee ranuras para favorecer el transporte del material. (García, 2015, p.6)

Sistema de Atemperado: además del calor generado por la fricción dentro de la máquina, es necesario un aporte externo de calor. Los sistemas son en una o varias etapas, independientes entre sí, para controlar de mejor manera la temperatura del material. (García, 2015, p.6)

Cabeza: también llamada “Dado” o “Matriz”, es la encargada de dar la forma a la extrusión. La geometría y dimensiones de sus partes influyen en las dimensiones finales de la sección transversal del cuerpo extruido, así como la velocidad de extrusión y la temperatura del material. Generalmente la matriz posee una forma similar a la del producto final, pero que prevé la deformación que sufre el material con el cambio de temperatura. Las principales partes de la Cabeza se describen en la Figura siguiente, entre ellas se encuentran: (García, 2015, p.7)

- Labios: es la última zona de contacto de la cabeza con el material ya extruido.
- Land: o Llano o Paramo, es el orificio propiamente tal de la salida del material, tiene un largo L_L y sección constante. Se mide desde el comienzo de los labios. Distancias largas son utilizadas con materiales fluidos, distancias cortas, con materiales viscosos. El largo promedio va desde 8 a 10 veces el diámetro equivalente (D_d) del mismo orificio. (García, 2015, p.7)

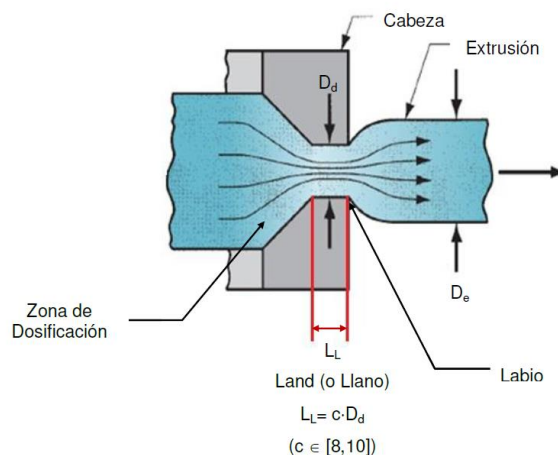


Figura 5-2. Partes de la Cabeza

Fuente: (García, 2015, p.7)

2.1.7 Sistema de transmisión de potencia del extrusor

La máquina de extrusión de tornillo sencillo necesita un sistema motriz para funcionar: consiste en un motor de velocidad variable, un mecanismo de transmisión de engranes que permite girar

al husillo en un rango adecuado de velocidad, un conjunto de cojinetes de aguante para absorber el impacto de empuje hacia atrás del husillo. Algunos de los componentes mecánicos importantes de la extrusora son el sistema y los cojinetes de apoyo que soportan el empuje axial del husillo hacia atrás, y el sistema motriz, constituido por el motor, la transmisión y el reductor de velocidad. De acuerdo con Anguita (1977), delante del husillo se han medido presiones de hasta 500 kg/cm², pero lo más normal es encontrar presiones de unos 350 kg/cm². Con los datos anteriores armó la siguiente tabla (Morales, 2010, p 35):

Tabla 6-2: Relación del tamaño de extrusora contra el empuje axial de retención del husillo

Tamaño de la extrusora (diámetro de husillo en mm)	Empuje axial (toneladas métricas)
45	0.85
60	1.65
90	3.50
120	6.00
150	10.00
200	17.00
250	28.00

Fuente: (García, 2015, p.10)

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

2.1.8 Capacidad de producción

El flujo volumétrico de la extrusora será determinado con la siguiente ecuación;

$$Q = \frac{\alpha \times K}{K + \beta + \gamma} \times n \quad (1)$$

Dónde:

- La constante de forma geométrica de la cabeza perfiladora ($K = 0.105 \text{ mm}^3$)
- Las revoluciones del husillo (n)
- Son las constantes de los flujos de arrastre y presión, que dependen solamente de las dimensiones del husillo (α y β)

Temperatura de extrusión

Los materiales termoplásticos, por lo común, no se funden a una temperatura precisa. En vez de ello, existe, por lo general, un rango de temperaturas en el cual ocurre la fusión, dichos rangos se indican en la siguiente tabla (Askeland, 2004, p.589):

Tabla 7-2: Rangos de temperatura de fusión vítrea(°C) para polímeros termoplásticos y elastómeros

Polímeros	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de transición vítrea (T_g)(°C)	Temperatura de procesamiento (°C)
Polímeros por adición			
Poliétileno de baja densidad (LD)	98-115	-90 a -25	149-232
Poliétileno de alta densidad (HD)	130-137	-110	177-260
Cloruro de polivinilo	175-212	87	
Polipropileno	160-180	-25 a -20	190-288
Poliestireno	240	85 a 125	
Poliacrilonitrilo	320	107	
Politetrafluoroetileno (teflón)	327		
Policlorotrifluoroetileno	220		
Polimetilmetacrilato (acrílico)		90 a 105	
Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	110-125	100	177-260
Polímeros por condensación			
Acetal	181	-85	
Nylon 6,6	243-260	49	260-327
Acetato de celulosa	230		
Policarbonato	230	149	271-300
Poliéster	255	75	

Tabla 8-2: (Continuación)

Polietileno de tereftalato (PET)	212-265	66 a 80	227-349
Elastómeros			
Silicona		-123	
Polibutadieno	120	-90	
Policloropreno	80	-50	
Poliisopreno	30	-73	

Fuente: (Askeland, 2004, p.589)

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

A temperaturas muy altas puede destruirse los enlaces covalentes entre los átomos dentro de la cadena lineal y el polímero puede quemarse o carbonizarse. En los polímeros termoplásticos, la descomposición se presenta en el estado líquido; en los termoestables, en el estado sólido. Cuando los plásticos se queman, generan humo, lo cual es peligroso. (Askeland, 2004, p.589)

Tabla 9-2: Rangos de temperatura de fusión vítrea(°C) para polímeros termoplásticos

Propiedades	ABS	PLA
Resistencia a la tracción	27 MPa	37MPa
Elongación	3.5-50%	6%
Módulo de flexión	2.1-7.6 GPa	4 GPa
Densidad	1.0-1.4 g/cm ³	1.3g/cm ³
Punto de fusión	N/A ()	173 °C
Biodegradable	No	sí, en las condiciones correctas
La temperatura de transición vítrea	105 °C	60 °C
Precio de la bobina (1Kg, 1.75 mm, Black)	\$ USD 21.99	\$ USD 22.99

Fuente: (ASKELAND, 2004, p.589)

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

2.1.8.1 Resistencias

Son utilizadas para incrementar la temperatura en un área requerida eficazmente, existen una gran variedad de modelos. (Sanara, 2012, p.1)

Con soporte de mica

Sin escafandra

Resistencia eléctrica cilíndrica con el cierre al lado de la conexión.



Figura 6-2. Resistencia eléctrica cilíndrica sin escafandra

Fuente (Sanara, 2012, p.1)

Con escafandra

Resistencia eléctrica cilíndrica con escafandra incorporada



Figura 7-2. Resistencia eléctrica cilíndrica con escafandra

Fuente (Sanara, 2012, p.1)

En la actualidad existen diversas formas de conexión: con tornillos, cables, cajón, cazoleta y prensa. (Sanara, 2012, p.1)

CPC

La CPC es una resistencia con Cámara Protectora de Calor, que permite un ahorro de energía y que el desprendimiento de temperatura hacia el exterior sea menor. (Sanara, 2012, p.1)



Figura 8-2. Resistencia con cámara protectora de calor

Fuente (Sanara, 2012, p.1)

2.1.8.2 Reguladores e indicadores de temperatura y procesos

Reguladores de temperatura

SRC dispone de varios modelos de reguladores de temperatura para procesos de control sencillos o de precisión. Estos equipos presentan una entrada de señal para la medición de la temperatura (PT100, termopar o analógica) y una salida de control mediante relé, SSR o analógica para controlar distintos equipos de regulación. (SRC, 2016, p.1)

Equipos de regulación

Estos reguladores de temperatura comandan equipos como contactores (estos son los equipos con menor durabilidad y precisión), relés de estado sólido (buena durabilidad y precisión) y equipos de control de potencia proporcionales (excelente durabilidad, precisión y ahorro energético). SRC recomienda este último sistema junto con un regulador de temperatura de precisión ya que a medio plazo supone un ahorro considerable en mantenimiento (mayor duración de resistencias eléctricas) y en energía (evita picos de tensión). (SRC, 2016, p.1)

Cómo escoger un regulador de temperatura

El regulador de temperatura es una parte esencial de todo el sistema de control, y se deberá analizar todo el sistema para seleccionar el equipo adecuado. Se deberán tener en cuenta los siguientes elementos al escoger un regulador (SRC, 2016, p.1):

- Tipo de sensor de entrada (termopar, RTD) y rango de temperatura

- Tipo de salida requerida (relé electromecánico, SSR o relé de estado sólido, salida analógica)
- Algoritmo de regulación necesario (encendido y apagado, proporcional, PID)
- Número y tipo de salidas (calentar, enfriar, alarma, límite)

Tipos de reguladores de temperatura

Existen tres diferentes tipos de nivel básico de reguladores: On-Off, proporcional y PID. Dependiendo del sistema a regular, se podrá usar cualesquiera de estos para controlar el proceso. (SRC, 2016, p.1):

- Serie SR
- Serie FY
- Termostato digital SR322
- CH3000
- Serie FA RAIL DIN
- Racks cámara caliente

Termocupla

Es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje que es función de la diferencia de temperatura. (Flores, 2013, p.52)

Termocupla tipo J

Este tipo de termocupla es conocida como la termocupla hierro – constatan donde el hierro es el conductor positivo, mientras que para el conductor negativo se recurre a una aleación de 55% de cobre y 45% de níquel (constatan). (Flores, 2013, p.52)

Las termocuplas Tipo J resultan satisfactorias para uso continuo en atmósferas oxidantes, reductoras inertes y en vacío hasta 760°C. Por encima de 540°C, el alambre de hierro se oxida rápidamente, requiriéndose entonces alambre de mayor diámetro para exceder su vida en servicio. La ventaja fundamental de la termocupla Tipo J es su bajo costo. Las siguientes limitaciones se aplican al uso de las termocuplas Tipo J (Flores, 2013, p.52):

- No se debe usar en atmosferas sulfurosas por encima de 540°C
- A causa de la oxidación y fragilidad potencial, no se las recomienda para temperaturas inferiores a 0°C
- No se deben someter a ciclos por encima de 760°C, aun durante cortos períodos de tiempo.



Figura 9-2. Termocupla

Fuente: (Flores, 2013,p ,53)

2.1.9 *Presiones en una extrusora*

Es necesario calcular las presiones ejercidas en la parte delantera del husillo, dichas presiones determinarán los factores de acabado y procesado del material. (Manuel, y otros, 2015)

2.1.9.1 *Presión máxima*

Para la determinación de la presión máxima que se generaría en la parte final del tornillo de extrusión, se tomará como referencia $Q=0$. (Manuel, y otros, 2015)

$$P_{\text{máx.}} = \frac{6 \times \pi \times D \times L_t \times n \times \mu}{h_3^2 \times \tan \varphi} \quad (2)$$

Donde:

- Profundidad del canal (h).
- Diámetro de la broca (D).
- Número de revoluciones (n).
- Viscosidad efectiva (μ).
- Longitud total de trabajo (L_t).

2.1.9.2 *Presión de operación*

Fórmula para el cálculo de la presión en la cual opera la extrusora, esta operación se centrará en la parte del dado o boquilla de extrusión. (Manuel, y otros, 2015)

$$P_{op} = \frac{2 \times \pi \times \mu \times D^2 \times n \times h_3 \times \text{sen}\varphi \times \text{cos}\varphi}{\left(\frac{R^4}{2 \times h_1}\right) + \left(\frac{D \times h_3^3 \times \text{sen}^2\varphi}{3 \times L}\right)} \quad (3)$$

Donde:

- Presión de operación (P_{op})
- Longitud del husillo (L)
- Radio del alma del husillo (R)
- Diámetro del husillo (D)
- Número de revoluciones del husillo en rev/s (n)
- Altura en la zona de alimentación (h_1)
- Altura en la zona de dosificación (h_3)
- Viscosidad efectiva en $\frac{N}{m^2}$ (μ)

2.1.10 *Potencia requerida*

La potencia es la rapidez con que se efectúa un trabajo por unidad de tiempo; conociendo el diámetro del husillo, el factor de proporcionalidad ($K = 66,7$)¹⁹ y el número de revoluciones podemos obtener la potencia dada. (Sabgorodny, 1973)

$$n = \frac{K^2 \times N}{\pi \times D^3} \quad (4)$$

Donde:

- Potencia (N)
- Diámetro de la broca (D)
- Numero de revoluciones (n)
- Factor de proporcionalidad (K)

2.1.11 *Velocidad de extrusión*

El estudio del movimiento de un material viscoso en el tornillo de una máquina de extrusión se simplifica considerando tres tipos distintos de flujo: el flujo de arrastre o de fricción, QD, que es debido a la fricción del material con el tornillo y con las paredes del cilindro, es el principal responsable del movimiento del material desde la tolva de alimentación hasta la boquilla; el flujo de presión o de retroceso, QP, opuesto al anterior y debido a la diferencia de presión entre la tolva y el cabezal de la máquina, presión esta última que es originada por la restricción que impone la boquilla o el plato rompedor. Finalmente, el flujo de pérdida o de fugas, que tiene lugar entre el

cilindro y el filete del tornillo y es también opuesto al flujo de arrastre y originado por el gradiente de presión a lo largo del tornillo. La tolerancia radial de ajuste entre el tornillo y las paredes internas del cilindro es generalmente muy pequeña (del orden de 0,1 milímetros) y, por tanto, el flujo de pérdidas es mucho más pequeño que los dos mencionados anteriormente. El flujo total a lo largo del tornillo viene dado por la suma de los tres flujos anteriores (Beltran, 2012)

$$Q_{total} = Q_D + Q_p + Q_{p\acute{e}rdida} \quad (5)$$

Una representación esquemática de la distribución de velocidades para cada tipo de flujo viene dada por las figuras 15-2, 16-2 y 17-3. El flujo de arrastre tiene lugar debido a que el material fundido en el canal del tornillo se adhiere a las paredes internas del cilindro, que se mueven respecto al tornillo. Si solamente existiera el flujo de arrastre, el perfil de velocidades sería aproximadamente lineal (figura 1), y si la superficie en movimiento tuviera una velocidad V , la velocidad media de avance el material en el canal sería $V/2$. (Beltran, 2012)

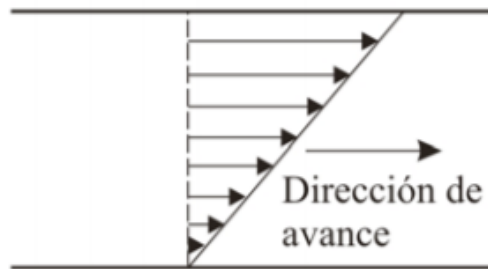


Figura 10-2. Perfil de velocidades originado por el flujo de arrastre

Fuente: (Beltran, 2012, p, 128)

El flujo de presión se debe, como ya se ha indicado, al gradiente de presión a lo largo del cilindro. La presión es mayor en el lado de la boquilla, y este gradiente de presión tiende a hacer que el material fluya hacia atrás a lo largo del canal del tornillo oponiéndose pues al flujo de arrastre y suponiendo un retroceso del material en el canal del tornillo. El perfil de velocidades debido a la existencia de un gradiente de presión es parabólico y se representa en la figura 16-2 (Beltran, 2012)

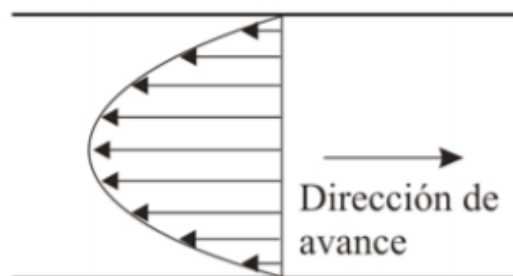


Figura 11-2. Perfil de velocidades originado por el flujo de arrastre

Fuente: (Beltran, 2012, p, 128)

El flujo de pérdidas es mucho menor que los dos anteriores y no es preciso considerarlo. El flujo total a lo largo del canal del tornillo es el resultado del flujo de avance y del de presión y su perfil de velocidades puede determinarse sumando algebraicamente los dos. Se ha representado en la figura 17-2. (Beltran, 2012)

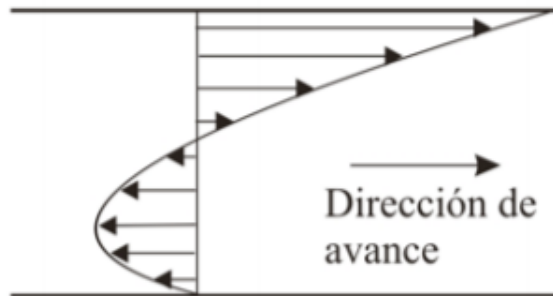


Figura 12-2. Perfil de velocidades originado por el flujo de arrastre

Fuente: (Beltran, 2012, p, 128)

Para facilitar la visualización del movimiento del fluido dentro de la extrusora, supongamos que tenemos un canal desenrollado (tornillo) sobre el que se encuentra un plano (cilindro). El canal permanece quieto, mientras el plano se mueve sobre el canal con una velocidad tangencial V_b , cuyo vector no es paralelo a las paredes del canal, sino que se encuentra girado un ángulo θ , que coincide con el ángulo de los filetes del tornillo. En consecuencia, en una extrusora trabajando en condiciones normales (esto es con una boquilla que provoca una caída de presión a lo largo de la extrusora) existirá un perfil de velocidades tal como el mostrado en la figura 17-2 tanto en la dirección axial del tornillo como en la transversal. Esto es, en ambas direcciones existirá flujo de arrastre y flujo de presión, éste último originado por la boquilla en el caso del flujo en la dirección axial del canal, Z, y por las paredes del filete en el caso del movimiento del material que se dirige hacia ellas, (dirección X). El flujo total será la suma del flujo en las direcciones X y Z. (Beltran, 2012)

2.1.11.1 Ecuaciones de velocidad

Desde un punto de vista teórico se analiza en mayor profundidad la zona de dosificado, en esta zona los cálculos se simplifican mucho respecto de las otras zonas debido a que todo el material se encuentra en estado fundido y se puede considerar que es homogéneo. Considerando algunas aproximaciones los resultados del análisis se pueden expresar en forma de ecuaciones simples que son útiles como primera aproximación a la operación de la extrusora en esta zona. (Verdú, 2016)

- Para el cálculo y el estudio del movimiento del material a través del tornillo se supone o se considera que:
- El proceso es continuo y se ha alcanzado el régimen estacionario.

- El canal del tornillo es de sección rectangular.
- El sistema de coordenadas es el de la figura
- El canal del tornillo se encuentra desenrollado.
- El cilindro es una superficie plana que se mueve sobre el canal del tornillo, arrastrando el material.
- El fundido tiene un comportamiento newtoniano.
- El fundido tiene un comportamiento incompresible

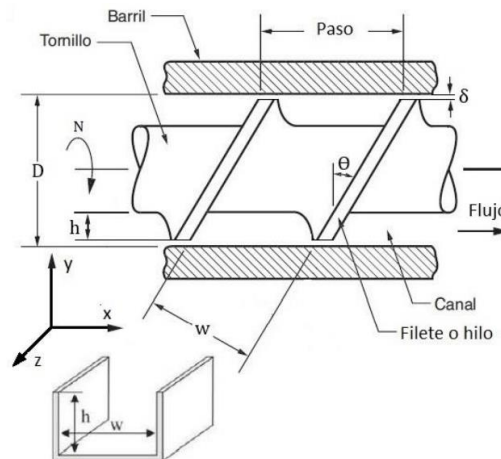


Figura 13-2. Sistema de coordenada nomenclatura

Fuente: (Verdú, 2016,p ,26)

Donde:

- Diámetro del tornillo (D)
- Ancho del canal (W)
- Profundidad del canal (h)
- Número de revoluciones alas que gira el tornillo (N)
- Ángulo del filete del tornillo con la vertical (Θ)
- Holgura entre el cilindro y el filete (δ)

Como se ha comentado anteriormente existen dos tipos de flujo a lo largo del eje Z. El flujo de fricción o flujo de arrastre es el culpable del movimiento del material y está provocado por el movimiento de la superficie del cilindro (siempre en $+Z$ o hacia la boquilla). Cuando existe algún impedimento al flujo (por ejemplo, alguna boquilla, válvula, etc.) se crea un gradiente de presión en dirección Z, lo cual causa un flujo en dirección $-Z$ llamado flujo de presión o flujo de retroceso.

El análisis del caudal en esta sección se basa en considerar el flujo newtoniano e isotermo de un fluido incompresible en un canal rectangular de ancho w y altura h . Se desprecia δ (holgura entre el tornillo y el cilindro) porque $\delta \ll h$ y se supone que el flujo es uniforme. Realizando un balance

de cantidad de movimiento sobre un sistema de este tipo se obtiene la siguiente expresión (ec. Navier-Stokes). (Verdú, 2016)

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{dP}{dZ} \right) \quad (6)$$

Donde:

- Gradiente de presión a lo largo del canal $\left(\frac{dP}{dZ} \right)$
- Velocidad del fluido en el canal (v)
- Viscosidad del fluido (η)

La ecuación anterior se puede simplificar si se considera que $w \gg h$, de modo que $\partial \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \ll \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}$ lo que supone despreciar el efecto que puedan tener las paredes del canal en el flujo. Con esto, las ecuaciones del flujo se simplifican a: (Verdú, 2016)

$$\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{dP}{dZ} \right) \quad (7)$$

Usando esta última ecuación se obtienen unos resultados que discrepan menos del 10% de los obtenidos con la ecuación completa si la relación del ancho del canal (w) a la profundidad del mismo (h) es mayor de 10. Este es precisamente el caso de la mayoría de los tornillos usados en las máquinas de extrusión de plásticos. Integrando la ecuación (7) se obtiene: (Verdú, 2016)

$$\frac{dv}{dy} = \frac{y}{\eta} \left(\frac{dP}{dZ} \right) + C1 \quad (8)$$

Integrando nuevamente:

$$v = \frac{y^2}{2\eta} \left(\frac{dP}{dZ} \right) + C1y + C2 \quad (9)$$

Teniendo en cuenta las condiciones límite: cuando $y = 0$, es decir, junto al tornillo $v = 0$. Sustituyendo esta condición en la ecuación (8), se obtiene $C2 = 0$. Por otro lado, junto a la pared del cilindro donde $y = h$, la velocidad será $v = V$, velocidad lineal periférica del cilindro, con lo que resulta: (Verdú, 2016)

$$C1 = \frac{V}{h} - \frac{h}{2\eta} \left(\frac{dP}{dZ} \right) \quad (10)$$

Sustituyendo el valor de $C1$ y $C2$ en la expresión (Verdú, 2016)

$$V = \frac{Vy}{h} + \frac{y(y-h)}{2\eta} \left(\frac{dP}{dZ} \right) \quad (11)$$

2.1.12 *Eficiencia del extrusor*

Es un factor que indica el grado de pérdida de energía, trabajo o potencia del extrusor. Es un principio físico fundamental al igual que la conservación de masa, que es aplicado para determinar las cantidades de energía que es intercambiada y acumulada dentro del extrusor. (Vélez, 2014)

$$E = \frac{W}{Q_2} \quad (12)$$

Donde:

- Eficiencia (E ;%)
- Calor generado por las resistencias (Q_2 ;KW)
- Potencia o Trabajo (W ; KW)

Es aplicable para maquinas extrusoras de tornillo o husillo simple, en donde la energía puede transformarse de unas formas a otras (mecánica, térmica, química, etc.), lo que obliga a considerar este aspecto en las ecuaciones. (Vélez, 2014)

2.1.12.1 *Calefacción y regulación de temperatura*

El calor requerido al arrancar la extrusora, es el máximo, ya que se deben llevar a la temperatura de operación el cilindro, y el cabezal de ésta. Los tipos de calentadores seleccionados son bandas calefactoras diseñadas especialmente para trabajar en el procesamiento de plásticos. Los calentadores se sitúan por zonas, las cuales poseen, para el control de temperatura, una conexión de termocupla y un dispositivo regulador de temperatura. (Maldonado Castro, Mario Andrés, 2008)

2.1.12.2 *Potencia de los calefactores*

La potencia que deberán suministrar las bandas calefactoras para poder elevar la temperatura del cilindro y del husillo, está en función del calor necesario que se produce en el estado transitorio. Se debe considerar este estado, puesto que el cilindro debe ser calentado hasta alcanzar la temperatura de trabajo antes de empezar a extruir el material plástico.

El cilindro y el husillo se encuentran al arrancar el equipo a temperatura ambiente, iniciado el proceso, se cierra el circuito de corriente de los elementos calefactores, los cuales comienzan a transferir calor, el mismo que se va acumulando y elevando su temperatura conforme pasa el tiempo. (Maldonado Castro, Mario Andrés, 2008)

2.1.12.3 Balance energético en el estado transitorio

Este balance se lo hace, considerando el cilindro y el husillo como dos sistemas, el husillo no gira y se desprecia el aire que se encuentra en el interior de los mismos. (Maldonado Castro, Mario Andrés, 2008)

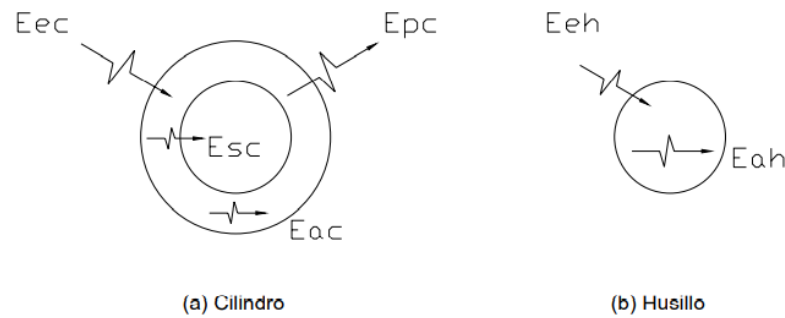


Figura 2-2. Sistema de análisis para balance energético

Fuente: (Maldonado, Mario, 2008,p,118)

Realizando el análisis energético de la figura 19-2 se tiene:

$$E_{ec} = E_{ac} + E_{sc} + E_{pc} \quad (13)$$

$$E_{eh} = E_{ah} \quad (14)$$

Donde:

- Energía que entra al cilindro, proviene de los calefactores eléctricos (E_{ec} ; W)
- Energía almacenada por el cilindro (E_{ac} ; W)
- Energía que sale del cilindro hacia el exterior (E_{pc} ; W)
- Energía que sale del cilindro hacia el husillo (E_{sc} ; W)
- Energía que entra al husillo, proviene del cilindro (E_{eh} ; W)
- Energía almacenada por el husillo (E_{ah} ; W)
- Considerando que existe un contacto térmico ideal entre el cilindro y el husillo, se tiene:

Se considera un contacto ideal térmico entre el husillo y el cilindro como se presentó en la ecuación 14, la energía almacenada por el cilindro es: (Maldonado Castro, Mario Andrés, 2008)

$$E_{ac} = m_c \cdot Cp_c \left(\frac{dT_c}{dt} \right) \quad (15)$$

Donde:

- Masa del cilindro (m_c)
- Calor específico del material del cilindro (C_{pc}); 0.11 Kcal/Kg °C, acero
- Variación de la temperatura respecto al tiempo $\frac{dT_c}{dt}$

La energía emitida por el cilindro al exterior es:

$$E_{pc} = h \cdot A [T_{c(t)} - T_\alpha] \quad (16)$$

Donde:

- Coeficiente de transferencia de calor (h); W/m² °C
- Área de transferencia de calor (A); m²
- Temperatura del cilindro, variable con el tiempo ($T_{c(t)}$); °C
- Temperatura del medio ambiente (T_α); °C

La energía que se almacena en el husillo es:

$$E_{ah} = m_h \cdot C_{ph} \cdot \left(\frac{dT_h}{dt} \right) \quad (17)$$

Donde:

- Masa del husillo (m_h)
- Calor específico del material del husillo ($C_{ph} \cdot \left(\frac{dT_h}{dt} \right)$); 0.11 Kcal/Kg °C, acero
- Variación de la temperatura respecto al tiempo $\left(\frac{dT_h}{dt} \right)$

Para facilitar la solución de las ecuaciones (13) y (14), se considera que el husillo y el cilindro tienen la misma temperatura conforme varía el tiempo, consideración debida a que la termocupla se la coloca lo más cerca posible al polímero, en las cercanías del husillo, y dicho sensor indica la temperatura del interior del cilindro y del exterior del husillo. Al combinar las ecuaciones (13) y (14) y reemplazando además las ecuaciones (15), (16) y (17), se llega a la siguiente expresión: (Maldonado Castro, Mario Andrés, 2008)

$$E_{ec} = (m_c \times C_{pc} + m_h \times C_{ph}) \frac{dT}{dt} + h \times A \times [T_{c(t)} - T_\alpha] \quad (18)$$

Esta ecuación la resolvemos realizando los siguientes remplazos

$$Q = E_{ec} \quad (19)$$

$$Q_{(t)} = T_{(t)} - T_\alpha \quad (20)$$

$$dQ_{(t)} = dT_{(t)} \quad (21)$$

$$M = \frac{h \times A}{m_c \times C_{pc} + m_h \times C_{ph}} \quad (22)$$

$$P = \frac{Q}{m_c \times C_{pc} + m_h \times C_{ph}} \quad (23)$$

Reduciéndose a:

$$\frac{dQ_{(t)}}{dt} + M \times Q_{(t)} = P \quad (24)$$

Al resolver la ecuación 24 tenemos:

$$\frac{Q_{(t)}}{dt} = Q_0 \times e^{(-Mt)} + [1 - e^{(-Mt)}] \left(\frac{P}{M} \right) \quad (25)$$

Remplazando los valores precios, y considerando que $T(0)=T_\infty$, la ecuación queda expresada de la siguiente manera

$$T_{(t)} = \left[1 - e^{\left(-\frac{h \times A t}{m_c \times C_{pc} + m_h \times C_{ph}} \right)} \right] \left(\frac{Q}{h \times A} \right) + T_\alpha \quad (26)$$

En esta ecuación interviene el coeficiente de transferencia de calor por convección, el que analizaremos a continuación.

2.1.12.4 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor (Maldonado Castro, Mario Andrés, 2008)

Este coeficiente es igual a la suma del coeficiente de convección y del coeficiente de radiación:

$$h = h_c + h_r \quad (27)$$

Dónde:

- Coeficiente de transferencia de calor por convección (h_c); $\frac{W}{m^2} \times ^\circ C$
- Coeficiente de transferencia de calor por radiación (h_r) $\frac{W}{m^2} \times ^\circ C$

2.1.13 *Ensayo de impacto (Brusil Andrade, y otros, 2017)*

Según (Nuñez, y otros, 2004): “El aparato utilizado en este ensayo es un péndulo físico que en su caída desde una determinada altura golpea a la probeta de ensayo que se encuentra situada en el camino de oscilación del péndulo. La masa y dimensiones del péndulo permiten aplicar energías de impacto que oscilan entre 30 J para polímeros y 360 J para metales y aleaciones. La masa de caída posee una cuchilla roma de forma y dimensiones normalizadas situada de tal modo que la mitad de su filo coincida con el centro de gravedad de la masa del péndulo. Esta masa golpea en el centro de una probeta de una forma y tamaño también normalizados. La probeta, que está apoyada en sus dos extremos, sufre una flexión a tres puntos que, finalmente, produce su fractura. Puesto que la fractura se produce después de la flexión de la probeta, el ensayo se conoce como ensayo de flexión por choque.”

2.1.13.1 *Variables importantes del ensayo de impacto*

Se ha determinado mediante varias investigaciones que los resultados obtenidos en los ensayos de impacto difieren al realizar cambios en ciertas variables. A continuación, en la tabla 1 se detallan los parámetros y su influencia en el ensayo de impacto: (Brusil Andrade, y otros, 2017)

Tabla 10-2: Variables de ensayo de impacto

Variables del ensayo de impacto	
VARIABLE	CAMPO DE FLUENCIA
Energía que genera el péndulo	La máxima energía generada por el péndulo restringe el tipo de materiales con los que se pueden realizar las pruebas.
Masa del martillo	La masa del martillo debe presentar la mayor parte del peso del péndulo, para que cumpla con la norma y se produzca la ruptura de la probeta con la fuerza dinámica suficiente.
Velocidad de Impacto	La velocidad que adquiere la masa al golpear la probeta queda determinada por la altura del péndulo.
Angulo de elevación del martillo	El ángulo inicial suministra la velocidad final de impacto, a mayor ángulo mayor velocidad.

Tabla 10-2: (Continuación)

Dimensiones de las probetas	Para que el ensayo cumpla con los estándares, las probetas deben tener las dimensiones especificadas en la norma.
Temperatura	La temperatura de las probetas influye en las características mecánicas del material.

Fuente: (Brusil Andrade, y otros, 2017, p, 10)

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

2.1.13.2 Norma ASTM D6110-02

La norma describe los métodos estándar de prueba para determinación de la resistencia al impacto Charpy en materiales plásticos. Los métodos de ensayo se utilizan para determinar la resistencia de los plásticos a la rotura por choque flexional, indicando la energía extraída del péndulo tipo martillo estandarizado, montado en máquinas estandarizadas, rompiendo probetas estándar con una oscilación del péndulo. Se requieren que las probetas se hagan con una muesca fresada, la muesca produce una concentración de esfuerzos que promueven una fractura quebradiza, más que una fractura dúctil. Los resultados de los métodos de ensayo se presentan en términos de energía absorbida por unidad de ancho de la probeta. (D6110, 2002)

2.1.13.3 Resumen del método de la prueba

Una probeta con muesca se apoya como una viga horizontal simple y se rompe por un solo giro del péndulo a medio camino con la línea de impacto entre los soportes y directamente opuesto a la muesca (Brusil Andrade, y otros, 2017)

2.1.13.4 Criterios importantes para el diseño (Brusil Andrade, y otros, 2017)

A continuación, se citan algunos criterios relevantes a tomar en cuenta para el diseño de la máquina para ensayos de impacto

- El ensayo de impacto del péndulo de energía en exceso indica la energía para romper probetas de ensayo estándar de tamaño especificado bajo condiciones estipuladas de montaje de la probeta, muesca (concentración de esfuerzos) y velocidad del péndulo al impacto.
- La energía perdida por el péndulo durante la rotura de la probeta es la suma de las energías requeridas para iniciar la fractura de la probeta.
- Para los materiales relativamente frágiles para los cuales la energía de propagación de la fractura es pequeña en comparación con la energía de iniciación de la fractura, la

energía impactada indicada absorbida es, para todos los propósitos prácticos, la suma de la energía requerida para iniciar la fractura de la probeta y la energía de lanzamiento.

- En una máquina bien diseñada de suficiente rigidez y masa, las pérdidas debidas a vibración y fricción en el cojinete del péndulo y en el mecanismo de indicación de energía en exceso deberían ser muy pequeñas.

Estos métodos de prueba requieren que la muestra se rompa completamente. Para materiales resistentes el péndulo puede no tener la energía necesaria para completar la rotura de las fibras extremas y tirar la pieza o piezas rotas. Los resultados obtenidos a partir de probetas no rotas o de otros tipos de probetas parcialmente rotas se considerarán como una desviación de la norma y no deben ser reportados como un resultado estándar. (D6110, 2002)

2.1.13.5 Dimensiones de las probetas (Brusil Andrade, y otros, 2017)

La probeta deberá ajustarse a las dimensiones y geometría de la figura 7, teniendo la opción de variar la anchura entre 3,00 y 12,7 [mm]. Todas las muestras que tengan una dimensión inferior a 12,7 mm tendrán la muesca cortada en el lado más corto. (D6110, 2002)

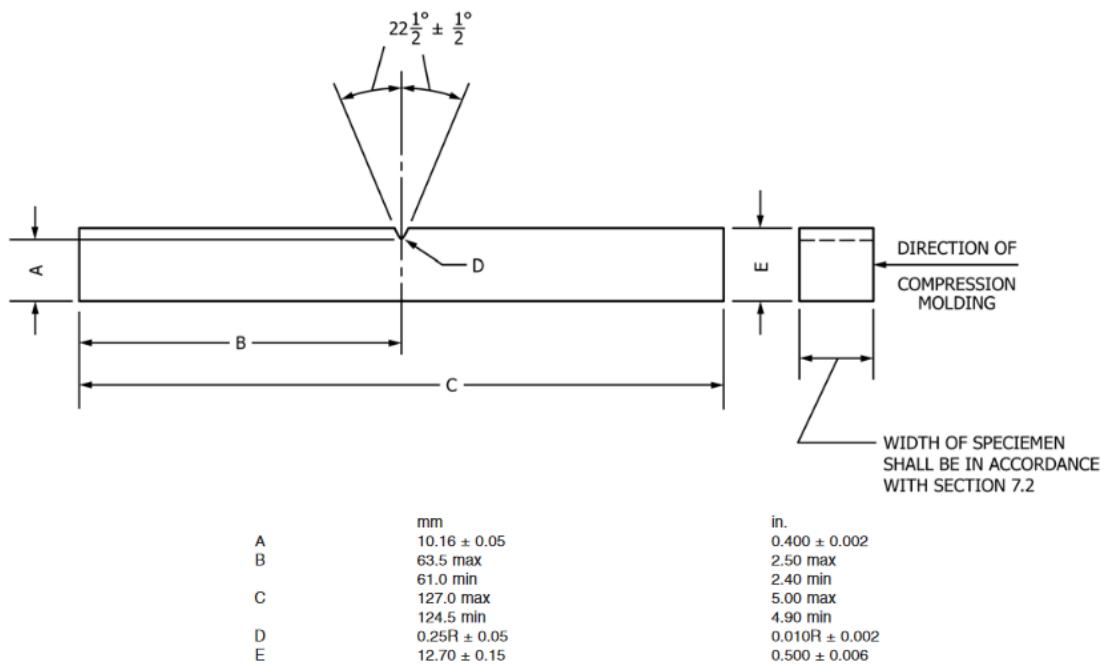


Figura 15-2. Dimensiones de la probeta para ensayos de impacto

Fuente: (Brusil Andrade, y otros, 2017, p, 10)

2.1.13.6 *Procedimiento*

Preparación de la probeta (Brusil Andrade, y otros, 2017)

Prepare las muestras de ensayo de acuerdo con los procedimientos anteriormente descritos. Se deben hacer al menos cinco y preferiblemente diez o más determinaciones individuales de resistencia al impacto para determinar la resistencia media al impacto de una muestra en particular.

Preparación de la máquina (Brusil Andrade, y otros, 2017)

Calcule la energía de ruptura para la muestra y seleccione un péndulo de energía adecuada. Seleccione el péndulo estándar más ligero que se espera que rompa todas las probetas del grupo con una pérdida de energía no superior al 85% de su capacidad.

Pruebas de muestra (Brusil Andrade, y otros, 2017)

- Compruebe que todas las probetas del grupo de muestras estén en conformidad con los requisitos de la norma. Mida la anchura de cada espécimen en la región de la muesca con un calibre micrométrico a 0,025 [mm] más cercano y registre su anchura promedio junto con sus marcas de identificación, si las hay.
- Coloque una muestra de ensayo horizontalmente sobre los soportes y contra los yunques de manera que queden impactados en la cara opuesta a la muesca. La muesca debe estar centrada entre los yunques. Una plantilla de centrado es útil para este propósito.
- Levante y asegure el péndulo en el mecanismo de liberación. Encere el mecanismo de indicación de energía en exceso.
- Suelte el péndulo, permitiendo que el borde de impacto del péndulo impacte con la probeta. Observe la energía de ruptura indicada.
- Calcular la energía de ruptura. Si la energía de rotura neta es mayor que 85% de la energía nominal del péndulo, se usó el péndulo equivocado. Deseche el resultado. Seleccione e instale un péndulo con una mayor energía disponible o añada peso adicional al péndulo, determine el factor de corrección de velocidad y fricción y repita el ensayo con una nueva muestra.
- Si se utilizó el péndulo apropiado, probar las muestras restantes como se describe. Los resultados de los especímenes que no se rompen deben ser descartados. Un espécimen que no se rompa completamente en dos o más piezas no es considerado como roto.
- Después de probar todos los especímenes de la muestra, calcule la resistencia al impacto, en Joules por metro, para cada muestra individual.

- Calcular la resistencia al impacto promedio para el grupo de muestras. Los valores obtenidos de los especímenes que no se rompieron completamente no se incluirán en el promedio. (D6110, 2002)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Método de diseño

Se ha optado por un diseño de una extrusora de tipo horizontal con tornillo y resistencias.

Para poder proceder al diseño se realizan cálculos manuales de acuerdo con el marco teórico y posteriormente se elaboran los planos mediante el programa CAD Solidworks.

Se ha optado por el siguiente método:

- Análisis y selección de alternativas
- Cálculos
- Selección de materiales mediante ces-edupack
- Análisis estructural empleando Solidworks
- Elaboración de planos
- Construcción de la máquina
- Pruebas de funcionamiento
- Obtención de filamentos para impresión 3D
- Validación de las propiedades mecánicas del material reciclado mediante pruebas de impacto.

3.2 Análisis y selección de alternativa

3.2.1 *Despliegue de la función de calidad (casa de la calidad)*

Por medio del análisis de la casa de calidad obtenemos los requerimientos que necesita el usuario, los cuales se identifican en función del desempeño, funcionalidad, costos y diseño para posteriormente transformarlos en parámetros técnicos para así lograr la elaboración del proyecto.

Tabla 1-3: Voz del usuario

DESEMPEÑO	Potencia
	Capacidad de producción
	Velocidad
	Operación silenciosa
	Seguridad de operación
FUNCIONALIDAD	Unidad recolectora
	Fácil de Manejar
	Tiempo de trabajo
	Dimensiones compactas

Tabla 1-3: (Continuación)

COSTOS	Costos de adquisición de componentes
	Costos de construcción
DISEÑO	Materiales resistentes
	Estético/llamativo
	Eficiente

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.2.1.1 *Evaluación del usuario*

Tabla 2-3: Resultados de las encuestas aplicadas

Pregunta	Referencia	Muy importante 5	Importante 4	Relativamente importante 3	Poco importante 2	Nada importante 1	Total encuestados	Promedio de importancia	Promedio aproximado
Pregunta 1	Potencia	21	5	2	1	1	30	4,46	5
Pregunta 2	Capacidad de producción	17	7	5	1	0	30	4,33	4
Pregunta 3	Velocidad	9	13	3	3	2	30	3,8	4
Pregunta 4	Operación silenciosa	17	11	0	2	0	30	4,43	4
Pregunta 5	Seguridad de operación	19	5	3	1	2	30	4,26	4
Pregunta 6	Posea una unidad recolectora	12	9	5	2	2	30	3,9	4
Pregunta 7	Fácil de manejar	13	6	9	1	1	30	3,96	4
Pregunta 8	Tiempo de trabajo	12	7	10	0	1	30	3,96	4
Pregunta 9	Dimensiones compactas	9	14	5	2	0	30	4	4
Pregunta 10	Costos de adquisición de componentes	11	7	7	4	1	30	3,76	4
Pregunta 11	Costos de construcción	9	11	7	2	1	30	3,83	4

Tabla 2-3: (Continuación)

Pregunta 12	Materiales resistentes	8	10	2	0	0	20	4,3	4
Pregunta 13	Estético/ llamativo	6	13	4	4	3	30	3,5	4
Pregunta 14	Eficiente	7	9	5	6	3	30	3,36	3

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.2.1.2 Análisis de competitividad

Tabla 3-3: Análisis de competitividad

		VOZ DEL INGENIERO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
			Evaluación Usuario				Objetivos	Índice de mejora	Factor de venta	Importancia	Ponderación	Ponderación en %
			Propia empresa	Competencia 1 (Shen Jia/ao)	Competencia 2 (Wellzoom)	Competencia 3 (Z-SJ45)						
Desempeño	Potencia	B	1	2	2	4	3	3	●	5	23	13
	Capacidad de producción	B	1	2	2	4	3	3	●●	4	18	10
	Velocidad	B	1	2	2	4	2	2	●	3	7,2	4,1
	Operación silenciosa	B	1	3	4	2	3	3	●	3	11	6,2
	Seguridad de operación	E	1	4	4	4	3	3	●	4	12	6,9
Funcionali	Posea una unidad recolectora	O	1	2	1	5	3	3	●	3	9	5,1
	Fácil de Manejar	O	1	3	3	2	2	2	●	3	6	3,4
	Tiempo de trabajo	B	1	3	2	4	3	3	●	4	14	8,2
	Dimensiones compactas	O	1	5	5	2	2	2	●	4	9,6	5,5
Costo	Costos de adquisición de componentes	B	1	3	3	4	3	3	●	4	12	6,9
	Costos de construcción	B	1	3	3	4	3	3	●	4	12	6,9
Diseñ	Materiales resistentes	O	1	3	2	4	3	3	●	5	18	10
	Estético/llamativo	E	1	3	2	3	3	3	●	3	9	5,1
	Eficiente	B	1	2	2	4	3	3	●	4	14	8,2
Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)											175	100

Tabla 4-3: Voz del usuario y voz del ingeniero

Desempeño	Potencia	B	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Potencia de trabajo</td> </tr> <tr> <td>Volumen de extrusión</td> </tr> <tr> <td>Sistema de transmisión</td> </tr> <tr> <td>Nivel de ruido</td> </tr> <tr> <td>Operatividad</td> </tr> <tr> <td>Volumen de captación</td> </tr> <tr> <td>Intuitivo</td> </tr> <tr> <td>Velocidad del proceso</td> </tr> <tr> <td>Volumen del equipo</td> </tr> <tr> <td>Costos directos</td> </tr> <tr> <td>Costos indirectos</td> </tr> <tr> <td>Materiales resistentes</td> </tr> <tr> <td>Ergonomía</td> </tr> <tr> <td>Diseño eficiente</td> </tr> </tbody> </table>	Potencia de trabajo	Volumen de extrusión	Sistema de transmisión	Nivel de ruido	Operatividad	Volumen de captación	Intuitivo	Velocidad del proceso	Volumen del equipo	Costos directos	Costos indirectos	Materiales resistentes	Ergonomía	Diseño eficiente
	Potencia de trabajo																
	Volumen de extrusión																
	Sistema de transmisión																
	Nivel de ruido																
Operatividad																	
Volumen de captación																	
Intuitivo																	
Velocidad del proceso																	
Volumen del equipo																	
Costos directos																	
Costos indirectos																	
Materiales resistentes																	
Ergonomía																	
Diseño eficiente																	
Capacidad de producción	B																
Velocidad	B																
Operación silenciosa	B																
Seguridad de operación	E																
Funcionalidad	Que posea una unidad recolectora	O															
	Fácil de Manejar	O															
	Tiempo de trabajo	B															
	Dimensiones compactas	O															
Costos	Costos de adquisición de componentes	B															
	Costos de construcción	B															
Diseño	Materiales resistentes	O															
	Estético/llamativo	E															
	Eficiente	B															

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Competencia 1

Marca: Shen Jia/ao

Producto: Extrusora de filamento plástico para impresión 3D

Descripción: Una extrusora para filamento 3D pequeña y compacta la cual puede adaptarse al material PLA y ABS, consta de 2 boquillas de 1,75mm y 3mm

Tabla 5-3: Parámetros técnicos de la extrusora Shen Jia/ao

Características técnicas	
Potencia	120 W
Voltaje	220 V
Frecuencia	50-60 Hz
Tamaño	600×450×200 mm
Capacidad de procesado	0,3-0,5 kg/h
Diámetro de extrusión	1,75mm ; 3 mm
Materiales a trabajar	PLA, ABS, PVA

Fuente: (Jia Ao, 2021)

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Competencia 2

Marca: Wellzoom

Producto: Extrusora de filamento plástico para impresión 3D

Descripción: Wellzoom B2 Desktop es una maquina extrusora diseñada específicamente para usos no profesionales, basada en un concepto minimalista de fácil utilización, consta con un control de velocidad y un motor paso a paso.

Tabla 6-3: Parámetros técnicos de la extrusora Wellzoom

Características técnicas	
Potencia	150 W
Voltaje	110/220 V
Temperatura máxima de trabajo	300°C
Tamaño	502×138×252 mm

Tabla 6-3: (Continuación)

Frecuencia	50-60 Hz
Velocidad de extrusión	300-600 $\frac{mm}{min}$
Diámetro de extrusión	1,75mm ; 3 mm
Materiales a trabajar	PLA, ABS, PVA, HIPS

Fuente: (Tudou, 2020)

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Competencia 3

Marca. - Z-SJ45

Producto. - Extrusora de filamento plástico para impresión 3D

Descripción: La extrusora puede procesar materiales de poliolefina como PE, PVC, PS, PP, y ABS. La máquina de extrusión con un volumen elevado y preciso de proceso brindando un excelente estado de plastificación.

Tabla 7-3: Parámetros técnicos de la extrusora Z-SJ45

Características técnicas	
Potencia	7,5 KW
Voltaje	380 V
Frecuencia	50 Hz
Velocidad del tornillo	20-150 rpm
Capacidad de procesado	0,3-0,5 kg/h
Diámetro de extrusión	1,75mm ; 3 mm
Materiales a trabajar	ABS , PVC, PP, PE, PS

Fuente: (Wuhan Zeqi Plastic Machinery Product Co.ltd, 2020)

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.2.1.3 Casa de Calidad

Tabla 8-3: Casa de Calidad

		VOZ DEL INGENIERO											Evaluación Usuario													
		Potencia de trabajo	Volumen de extrusión	Sistema de transmisión	Nivel de ruido	Operatividad	Volumen de captación	Intuitivo	Velocidad del proceso	Volumen de equipo	Costos directos	Costos indirectos	Materiales resistentes	Ergonomía	Diseño eficiente	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
DESEMPEÑO	Potencia	B	○	○											1	2	2	4	3	3	●	5	23	13		
	Capacidad de producción	B	○	○											1	2	2	4	3	3	●	4	18	10		
	Velocidad	B	○	○											1	2	2	4	2	2	●	3	7,2	4,1		
	Operación silenciosa	B	▽			○		▽							1	3	4	2	2	2	●	4	11	6,2		
	Seguridad de operación	E				○		▽							1	4	4	4	3	3	●	4	12	6,9		
FUNCIONALIDAD	Que posea una unidad recolectora	O				○		○	▽		○	▽	▽		1	2	1	5	3	3	●	3	9	5,1		
	Fácil de Manejar	O				○		○							1	3	3	2	2	2	●	3	6	3,4		
	Tiempo de trabajo	B									○	○	○		1	3	2	4	2	2	●	4	14	8,2		
COSTOS	Dimensiones compactas	O	▽	○		○	▽			○					1	5	5	2	2	2	●	4	9,6	5,5		
	Costos de adquisición de componentes	B				○					○	○	○		1	3	3	4	3	3	●	4	12	6,9		
	Costos de construcción	B				○					○	○	○		1	3	3	4	3	3	●	4	12	6,9		
DISEÑO	Materiales resistentes	O									○	○	○		1	3	2	4	3	3	●	5	18	10		
	Estético/llamativo	E				▽					○	○	○		1	3	2	3	3	3	●	3	9	5,1		
	Eficiente	B					▽			○	▽		○		1	2	2	4	3	3	●	4	14	8,2		
Propia empresa			4	3	3	3	4	4	4	3	3	4	4	4	3	5	ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA						5	23	13	
Competencia 1			2	3	4	4	4	3	4	2	4	3	3	2	3	3							4	18	10	
Competencia 2			2	3	3	4	4	4	2	3	2	5	3	3	2	4	4	3	3	3	●	3	7,2	4,1		
Competencia 3			5	5	4	3	4	5	4	4	2	5	5	4	3	5							4	11	6,2	
Incidencia			266,1	425,7	132,3	118,8	305	166	66	286	163,8	325,8	316,8	351,9	284,4	344,7	3554,1							4	12	6,9
Incidencia en %			7,487	11,98	3,722	3,343	8,59	4,68	1,857	8,05	4,609	9,167	8,914	9,901	8,002	9,699	100							4	14	8,2
VALORES DE REFERENCIA																										
Motor de 3/4 Hp																										
0,8-1 kg/hora																										
Poleas y bandas																										
Sistema aislado																										
Protecciones contra accidentes																										
0,007 m3																										
Accesibilidad al tablero de control																										
14 rpm																										
0,66 m3																										
\$2255																										
\$400																										
Óptimas propiedades mecánicas																										
Confort de operación																										
Cumpliendo los requerimientos																										

○	Muy Positiva
○	Positiva
×	Negativa
×	Muy negativa

B	BÁSICO
O	UNIDIMENSIONAL
E	ESTIMULANTE

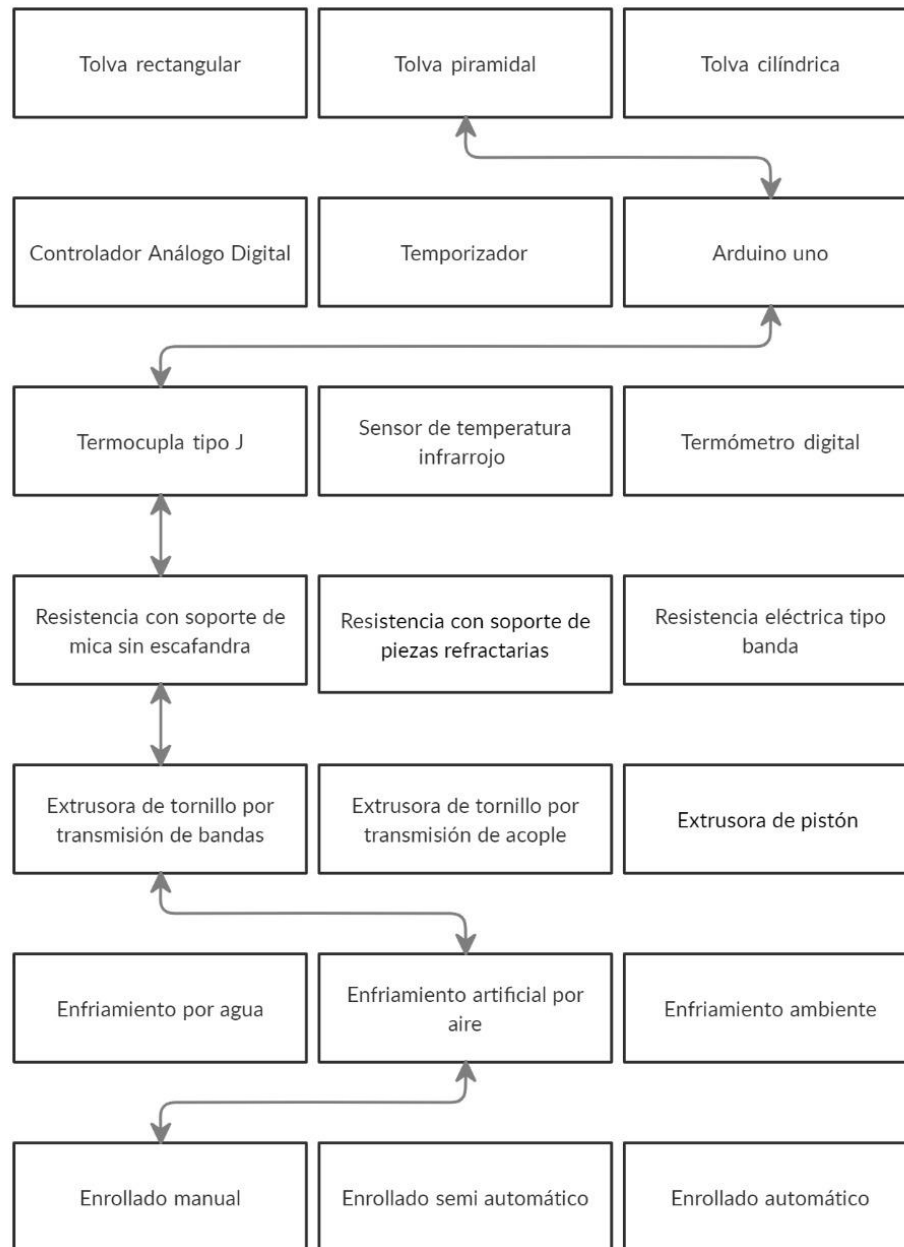
Factor de Incidencia	
Fuerte =9	○
Medio=3	○
Bajo=1	▽

Factor de Venta	
Fuerte=1,5	●
Posible=1,2	●
Ningún=1	●

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.2.1.4 Matriz morfológica

Tabla 9-3: Matriz morfológica



Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.3 Diseño conceptual

Para el funcionamiento óptimo de la extrusora depende de varios aspectos como el tornillo sin fin y el barril, es por eso que en el presente capítulo se describe la fundamentación teórica, el diseño y la construcción de la maquina extrusora.

3.3.1 Cálculos

Para el diseño de la máquina extrusora, en primer lugar, se ha realizado una serie de cálculos y procedimientos centrándose en las dimensiones del husillo o tornillo, el empuje y la velocidad del motor.

3.3.1.1 Cálculo relación L/D broca

La relación que obtenemos al dividir la longitud/diámetro de la broca debe estar en un intervalo de 10:1 a 30:1, elegimos una broca de 39x600mm de longitud total, de la cual 500mm son de trabajo que es la parte en interés, en este caso tenemos una parte de broca que encontramos en la parte de la tolva la cual se encuentra libre de trabajo (100mm), una vez presentado los parámetros anteriores se procede a realizar los cálculos.

$$\text{Relación } \frac{L}{D}; 10 \leq \frac{L}{D} \leq 30$$

Longitud de broca (L).

Diámetro de broca (D).

$$\text{Relación} = \frac{L}{D} = \frac{500}{39} = 12,82 \text{ mm} \quad (28)$$

Para el análisis de nuestra longitud de trabajo total es necesario restarle de la longitud del husillo la longitud del tornillo en la zona de alimentación de la tolva



Figura 1-3. Tornillo de extrusora

Fuente: (Sabgorodny, 1973, p.2)

3.3.1.2 Longitud de la rosca

$$L_{\text{Tornillo}} = L + 3\text{mm} \quad (28)$$

$$L_{\text{Tornillo}} = 497\text{mm} + 3\text{mm}$$

$$L_{\text{Tornillo}} = 500 \text{ mm}$$

3.3.1.3 Cálculo de longitudes de zonas

Para el diseño del tornillo hay que tener en cuenta que este se divide en 3 zonas: zona de alimentación, zona de compresión y zona de dosificación. (Sabgorodny, 1973, p.9)

$$L_{Alimentación} = \frac{L_{Tornillo}}{2} \quad (29)$$

$$L_{Alimentación} = \frac{500 \text{ mm}}{2}$$

$$L_{Alimentación} = 250 \text{ mm}$$

$$L_{Compresión} = \frac{L_{Tornillo}}{4}$$

$$L_{Compresión} = \frac{500 \text{ mm}}{4}$$

$$L_{Compresión} = 125 \text{ mm}$$

$$L_{Dosificación} = \frac{L_{Tornillo}}{4}$$

$$L_{Dosificación} = \frac{500 \text{ mm}}{4}$$

$$L_{Dosificación} = 125 \text{ mm}$$

3.3.1.4 Paso

$$t = 1 * D \quad (30)$$

$$t = 1 * 39 \text{ mm}$$

$$t = 39 \text{ mm}$$

3.3.1.5 Anchura de la cresta del filete

$$e = 0,1 * D \quad (31)$$

$$e = 0,1 * 39 \text{ mm}$$

$$e = 3,9 \text{ mm}$$

3.3.1.6 Profundidad en el canal helicoidal de alimentación h_1

$$h_1 = 0,12 * D \quad (32)$$

$$h_1 = 0,12 * 39 \text{ mm}$$

$$h_1 = 4,68 \text{ mm}$$

3.3.1.7 Profundidad del canal de dosificación h_3

Profundidad en el canal helicoidal de dosificación h_3 (para la relación de h_1 y h_3 se puede considerar un grado de compresión entre $\frac{1,5}{1}$, $\frac{5}{1}$ para nuestro caso se ha tomado la media con un valor de 3,5).

$$h_3 = \frac{h_1}{3,5} \quad (33)$$

$$h_3 = \frac{4,68 \text{ mm}}{3,5}$$

$$h_3 = 1,337 \text{ mm}$$

Tabla 10-3: Dimensiones del tornillo

Diámetro (D), mm	39
Diámetro alma (d), mm	36
Longitud total (L), mm	600
Longitud de trabajo total (L_t), mm	500
Paso (t), mm	39
Número de canales (N)	1
Anchura cresta filete (e), e	3,9

3.3.1.8 Ángulo de hélice del canal helicoidal: Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{t}{\pi \times D} \quad (34)$$

D = Diámetro de la variable del cañón

t = Paso del husillo

φ = Ángulo de hélice del canal

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{39 \text{ mm}}{\pi \times 39 \text{ mm}}$$

$$\varphi = 17,65^\circ$$

3.3.1.9 Producción del tornillo

La producción del hilo o filamento depende de tres diferentes flujos, para nuestro análisis intervinieron:

Flujo de Presión (β), es el flujo que se opone al flujo del sistema.

Flujo de arrastre (α), es provocado por la rotación del tornillo.

Flujo de filtración (γ), es el flujo que representa las pérdidas de material en las holguras.

Determinamos el flujo Volumétrico (Q_v)

Constante del cabezal o cabeza perfiladora (k)

$$Q_v = \frac{\alpha \times k}{k + \beta + \gamma} \times n \quad (35)$$

Flujo de arrastre

$$\alpha = \frac{\pi \times m \times D \times h_1 \times \left(\frac{t}{m} - e\right) \times \cos^2 \varphi}{2} \quad (36)$$

$$\alpha = \frac{\pi \times 1 \times 39mm \times 4,68 \times \left(\frac{39mm}{1} - 3,9mm\right) \times \cos^2 17,65}{2}$$

$$\alpha = 9138,1mm^3$$

Flujo de presión

$$\beta = \frac{m \times h_1^3 \times \left(\frac{t}{m} - e\right) \times \sin \varphi \times \cos \varphi}{12 \times L_t} \quad (37)$$

$L_t =$ Longitud de trabajo propia.

$$\beta = \frac{1 \times (4,68 mm)^3 \left(\frac{39mm}{1} - 3,9mm\right) \times \sin 17,65 \times \cos 17,65}{12 \times 500mm}$$

$$\beta = 0,1732 mm^3$$

Flujo de filtración

$$\gamma = \frac{\pi^2 \times D^2 \times \delta^3 \times \tan \varphi}{10 \times e \times L_t} \quad (38)$$

$\delta =$ *Holgura del filete*

$$\delta = 0,0025 \times D$$

$$\delta = 0,0025(39 \text{ mm}) = 0,0975 \text{ mm}$$

$$\gamma = \frac{\pi^2 \times (39 \text{ mm})^2 \times (0,0975 \text{ mm})^3 \times \tan 17,65}{10 \times 3,9 \text{ mm} \times 500}$$

$$\gamma = 0,000227 \text{ mm}^3$$

3.3.1.10 *Número de filetes N_F*

$$N_F = \frac{L_{\text{Tornillo}}}{D} \quad (39)$$

$$N_F = \frac{500 \text{ mm}}{39 \text{ mm}}$$

$$N_F = 12,82 \text{ mm}$$

3.3.1.11 *Constante total de la cabeza*

Para poder obtener el valor de la constante K, dividimos en zonas de distinta configuración, llegando a establecer una constante para cada zona logrando obtener un coeficiente equivalente de forma geométrica.

Para diseñar la boquilla se tomó en cuenta dos configuraciones de forma geométrica cónica y cilíndrica

Canal cilíndrico

$$L_{\text{canal}} = L_{\text{Cabezal}} - L_{\text{Boquilla}} \quad (40)$$

$$L_{\text{canal}} = 36\text{mm} - 25\text{mm}$$

$$L_{\text{canal}} = 11\text{mm}$$

$d =$ *Diámetro del filamento*

$$d = 1,75\text{mm}$$

$$K_1 = \frac{\pi \times d^4}{128 \times L_{\text{canal}}} \quad (41)$$

$$K_1 = \frac{\pi \times d^4}{128 \times L_{\text{canal}}}$$

$$K_1 = \frac{\pi \times 1,75^4}{128 \times 11}$$

$$K_1 = 0,021 \text{ mm}^3$$

3.3.1.12 Disco o plato rompedor

Para mejorar la presión y homogeneidad del material se utiliza un disco o plato rompedor según (Marcilla, 2012) donde señala los parámetros de diseño.

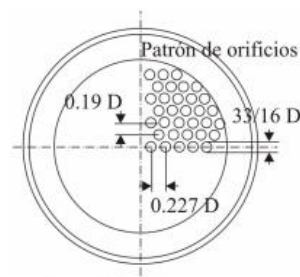


Figura 2-3. Plato rompedor

Fuente: (Sabgorodny, 1973, p.80)

Diámetro interno del cilindro ($D_{\text{Int cilindro}}$)

Diámetro de agujeros (d_a)

$$d_a = \frac{3}{16} \times D_{\text{Int cilindro}} \quad (42)$$

$$d_a = \frac{3}{16} \times 39,5 \text{ mm}$$

$$d_a = 7,4 \text{ mm}$$

Distancia horizontal entre centros (D_{Hcentros})

Distancia vertical entre centros (D_{Vcentros})

$$D_{\text{Hcentros}} = 0,227 \times D_{\text{Int cilindro}} \quad (43)$$

$$D_{\text{Hcentros}} = 0,227 \times 39,5 \text{ mm}$$

$$D_{\text{Hcentros}} = 8,96 \text{ mm}$$

$$D_{Vcentros} = 0,19 \times D_{Int\ cilindro} \quad (44)$$

$$D_{Vcentros} = 0,19 \times 39,5mm$$

$$D_{Vcentros} = 7,5mm$$

3.3.1.13 Coeficiente geométrico de forma para un disco o plato rompedor (K_2)

Número de agujeros (n)

Diámetro de agujeros (d_a)

Espesor de la placa (b)

$$K_2 = \frac{\pi \times n \times d_a^4}{128 \times b} \quad (45)$$

$$K_2 = \frac{\pi \times 13 \times 7,4^4}{128 \times 6}$$

$$K_2 = 0,159mm^3$$

3.3.1.14 Coeficiente geométrico de forma K_3 (Sabgorodny, 1973)

Coeficiente geométrico de forma (K_3)

Diámetro de ingreso del material (d_0)

Diámetro de salida del material (d_1)

$$K_3 = \frac{3 \times \pi \times d_0^3 \times d_1^3}{128 \times L_{canal} \times (d_0^2 + (d_0 \times d_1) + d_1^2)} \quad (46)$$

$$K_3 = \frac{3 \times \pi \times 39,5^3 \times 3^3}{128 \times 11 \times (39,5^2 + (39,5 \times 3) + 3^2)}$$

$$K_3 = 6,59 mm^3$$

3.3.1.15 Constante del cabezal

La constante del cabezal la obtenemos sumando las resistencias en paralelo de las diferentes zonas.

$$K = \frac{1}{\Sigma \frac{1}{K_1} + \Sigma \frac{1}{K_2} + \dots \Sigma \frac{1}{K_i}} \quad (47)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{0,021} + \frac{1}{0,159} + \frac{1}{6,59}}$$

$$K = 0,0185 \text{ mm}^3$$

3.3.1.16 Caudal

Calculamos el caudal con una velocidad de rotación del tornillo de 12,2 rpm.

$$Q = \frac{\alpha \cdot k}{k + \beta + \gamma} \times n \quad (48)$$

Flujo de arrastre (α).

Flujo de presión (β).

Flujo de filtración (γ).

Constante total de la forma geométrica de la cabeza perfiladora (K).

$$Q = \frac{9138,1 \times 0,0185}{0,0185 + 0,1732 + 0,000227} \times 12,2$$

$$Q = 10746,11 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$$

$$Q = 0,0006447 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

3.3.1.17 Flujo másico

Empleamos los valores presentes de densidad de la Tabla 1,2 para el PLA.

$$m = Q \times \delta \quad (49)$$

$$m = 0,0006447 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1250 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 0,8059 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$$m = 805,9 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

3.3.1.18 Potencia requerida

Se calculará la potencia en relación al diámetro del husillo, con el factor de proporcionalidad ($K=66,7$) (Sabgorodny, 1973) y el número de revoluciones.

La potencia se calculará en función del diámetro del husillo, el factor de proporcionalidad:

$$n = \frac{K^2 \times N}{\pi \times D^3} \quad (50)$$

Potencia (N)

Diámetro de la broca (D)

Numero de revoluciones (n)

Factor de proporcionalidad (K)

$$N = \frac{n \times \pi \times D^3}{K^2} \quad (51)$$

$$N = \frac{12,2 \times \pi \times 39^3}{66,7^2}$$

$$N = 511 \text{ W}$$

$$N = 0,685 \text{ Hp}$$

3.3.1.19 Viscosidad efectiva

Es necesario obtener la viscosidad efectiva del plástico para hallar así las presiones en el canal.

Para esto es necesario calcular la velocidad de cortadura, una vez obtenido dicho dato y sabiendo la temperatura de extrusión, se puede obtener de una gráfica dicha viscosidad.

Para el caso de dicha extrusora tenemos una boquilla con final cilíndrico:

$$V = \frac{32 \times Q}{\pi \times d^3} \quad (52)$$

$V =$ Velocidad de cortadura.

$Q =$ Caudal.

$d =$ Diámetro del dado de extrusión.

$$V = \frac{32 \times (1,79102 \times 10^{-7} \frac{m^3}{s})}{\pi \times (0,00175m)^3}$$

$$V = 340,4 \frac{1}{s}$$

Mediante los cálculos realizados podemos obtener la viscosidad efectiva con la siguiente gráfica.

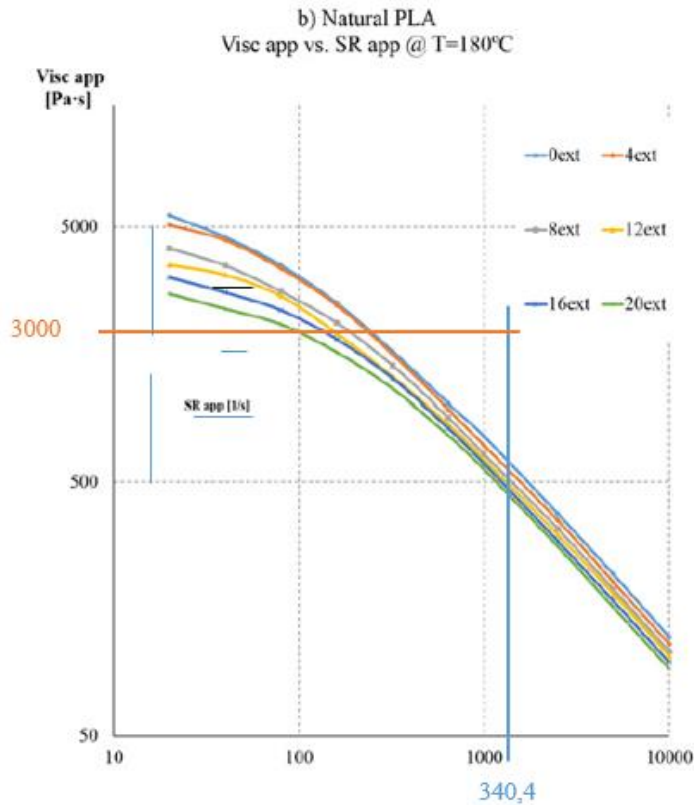


Gráfico 1-3. Curvas de velocidad de cortadura

Fuente: (Parra, 2017, p.85)

Como resultado se obtuvo una viscosidad de 3000 Pa s

3.3.1.20 Presiones en la extrusora

Es necesario calcular las presiones ejercidas en la parte delantera del husillo, dichas presiones determinarán los factores de acabado y procesado del material.

Presión máxima

Para la determinación de la presión máxima que se generaría en la parte final del tornillo de extrusión, se tomará como referencia $Q=0$.

$$P_{\text{máx.}} = \frac{6 \times \pi \times D \times L_t \times n \times \mu}{h_3^2 \times \tan \varphi} \quad (53)$$

Altura del canal de la zona de dosificación (h_3)

Diámetro de la broca (D)

Número de rpm (n)

Viscosidad efectiva (μ)

Longitud de trabajo (L_t)

$$P_{\text{máx.}} = \frac{6 \times \pi \times 39\text{mm} \times 500\text{mm} \times \frac{12,2\text{rad}}{60\text{s}} \times 3000 \text{ Pa.s}}{1,337^2 \times \tan 17,65^\circ}$$

$$P_{\text{máx.}} = 394,21 \text{ MPa}$$

Presión de operación

Se calcula la presión a la que opera la extrusora, esta presión de operación se centrara en la parte del dado de extrusión

$$P_{\text{op}} = \frac{2 \times \pi \times \mu \times D^2 \times n \times h_3 \times \text{sen}\varphi \times \text{cos}\varphi}{\left(\frac{R^4}{2 \times h_1}\right) + \left(\frac{D \times h_3^3 \times \text{sen}^2\varphi}{3 \times L}\right)} \quad (54)$$

Presión de operación (P_{op})

Longitud husillo (L)

Radio del alma del husillo (R)

Diámetro del husillo (D)

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

Altura en la zona de alimentación (h_1)

Altura en la zona de dosificación (h_3)

Viscosidad efectiva en $\frac{N}{m^2}$ (μ)

$$R = \frac{29\text{mm}}{2}$$

$$R = 14,5\text{mm}$$

$$P_{op} = \frac{2\pi \times 3000 \text{ Pas} \times (0,039\text{m})^2 \times \frac{12,2 \text{ rad}}{60\text{s}} \times 0,001337\text{m} \times \text{sen}17,65^\circ \times \text{cos}17,65^\circ}{\left(\frac{(0,0145\text{m})^4}{2 \times 0,00468\text{m}}\right) + \left(\frac{0,039\text{m} \times (0,001337\text{m})^3 \times \text{sen}^2 17,65^\circ}{2 \times 0,5\text{m}}\right)}$$

$$P_{op} = 4,71 \text{ MPa}$$

3.3.1.21 Cálculo de fuerzas del husillo

Hay que comprobar ahora las dimensiones asignadas previamente al husillo y determinaremos la flecha máxima admisible. Para ver con más detenimiento las tensiones que se producen en el husillo se adjunta un diagrama de fuerzas de un husillo.

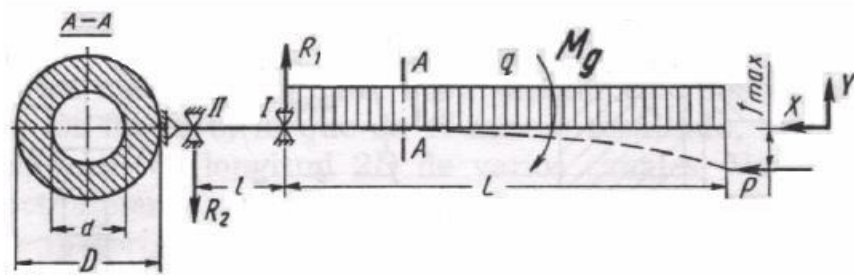


Gráfico 2-3. Fuerzas presentes en el husillo

Fuente: (Sabgorodny, 1973, p.24)

Para comprobar calculamos las tensiones, fuerza axial, momento de giro y la carga distribuida que se da debido a su propio peso.

Momento torsor

Calculamos el momento torsor que se da debido a la acción del motor sobre el husillo.

$$Mt = 9550 \times \frac{N}{n} ; [N m] \quad (55)$$

Potencia en KW (N)

Número de revoluciones en RPM (n)

Momento torsor del motor (Mt)

$$Mt = 9550 \times \frac{0,685}{12,2} [N m]$$

$$Mt = 536,21 N m$$

Fuerza ejercida sobre la superficie

A continuación, calculamos la fuerza ejercida sobre la superficie del husillo teniendo en cuenta la sección transversal y la presión a la que se encuentra el material en la parte de la boquilla, se ha optado por la presión más perjudicial (Presión máxima)

$$F = S \times p; [N] \quad (56)$$

Sección transversal o área transversal del husillo en m^2 (S).

Presión en la boquilla o parte delantera del husillo en $\frac{N}{m^2}$ (p).

Fuerza axial (F)

Relación entre diámetros del husillo ($\frac{d}{D}$)

$$S = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times (1 - u^2) \quad (57)$$

$$\mu = \left(\frac{29}{36}\right)$$

$$\mu = 0,805$$

$$S = \pi \times \left(\frac{0,036}{2}\right)^2 \times (1 - 0,805^2)$$

$$S = 3,582 \times 10^{-4} m^2$$

$$F = S \times p, \quad N$$

$$F = 3,586 \times 10^{-4} (394,21 \times 10^6)$$

$$F = 141363,706 N$$

Esfuerzo máximo

Calculamos el esfuerzo máximo presente en el husillo:

$$\tau = \frac{Mt}{Wp}, \frac{N}{m^2} \quad (58)$$

Esfuerzo tangencial o cortante en MPa (τ).

Momento torsor en Nm (Mt).

Momento polar resistente en m^3 (Wp).

$$Wp = \frac{\pi \times D^3}{16} \times (1 - \mu^4) \quad (59)$$

$$Wp = \frac{\pi \times 0,039^3}{16} \times (1 - 0,805^4)$$

$$Wp = 6,756 \times 10^{-6} [m^3]$$

$$\tau = \frac{536,21}{6,756 \times 10^{-6}} \cdot \frac{N}{m^2}$$

$$\tau = 79,36 \text{ MPa},$$

Esfuerzos normales

Los esfuerzos normales son provocados debido a la fuerza axial F y a la carga distribuida por lo que los esfuerzos máximos están presentes en los rodamientos

$$\sigma = \frac{F}{S} + \frac{Mf}{Wo}, \frac{N}{m^2} \quad (60)$$

Fuerza axial (F)

Sección o área transversal del husillo (S)

Momento flector máximo (Mf)

Momento resistente con respecto al eje neutro (Wo)

$$Wo = \frac{\pi \times D^3}{32} \times (1 - \mu^4), m^3 \quad (61)$$

$$Mf = \frac{\gamma \times L^2}{2} \times \frac{\pi \times D^2}{4} \cdot (1 - \mu^3), Nm$$

Densidad del material del husillo (γ)

Longitud total del husillo (L)

Diámetro del husillo (D)

Relación entre diámetros del husillo (μ)

$$Wo = \frac{\pi \times 0,039^3}{32} \times (1 - 0,805^4); m^3$$

$$Wo = 3,378 \times 10^{-6} [m^3]$$

Densidad del acero AISI 4340 (705)

$\rho = 7,84 \text{ g/cm}^3$

$$\rho = 7840 \text{ Kg/m}^3$$

$$Mf = \frac{\rho \times L^2}{2} \times \frac{\pi \times D^2}{4} \times (1 - u^3); \text{ N m} \quad (62)$$

$$Mf = \frac{7840 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times (9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \times (0,5\text{m})^2}{2} \times \frac{\pi \times (0,039\text{m})^2}{4} \times (1 - 0,805^3)$$

$$Mf = 5,49 \text{ N.m}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} + \frac{Mf}{W_o}; \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (63)$$

$$\sigma = \frac{141363,706 \text{ N}}{3,582 \times 10^{-4} \text{ m}^2} + \frac{5,49 \text{ N.m}}{3,378 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma = 396,2754 \text{ MPa}$$

Esfuerzo resultante

Necesitamos aplicar la resistencia equivalente, para esto usaremos el cortante y el esfuerzo máximo encontrado con anterioridad.

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2}, \text{ N/m}^2 \quad (64)$$

Esfuerzo resultante (σ_r)

Esfuerzo tangencial o cortante (τ)

Esfuerzo máximo (σ)

$$\sigma_r = \sqrt{396,2754^2 + 4(79,36^2)}$$

$$\sigma_r = 426,88 \text{ MPa}$$

Con el resultado obtenido se procede a comprobar si el husillo soportará los esfuerzos para este caso en particular se tiene un esfuerzo admisible de 800 MPa pertenecientes al Acero AISI 4340 (705).

Para que las dimensiones del husillo sean válidas el esfuerzo resultante calculado anteriormente debe ser menor al esfuerzo admisible del material.

$$\sigma_r < \sigma_{\text{Admisible}} \quad (65)$$

$$426,88 \text{ Pa} < 800 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad

Se obtiene un factor de seguridad de:

$$Fs = 1,874$$

Flecha o deformación máxima

Finalmente calculamos la flecha máxima o deformación máxima del husillo al aplicarle una carga distribuida:

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{q \times L^4}{8 \times E \times J}; m \quad (66)$$

Flecha máxima ($f_{m\acute{a}x}$)

Carga distribuida del husillo debido al peso ($q = \rho g A$; $A = \frac{V}{L}$)

Longitud de trabajo (L_p)

Módulo de Young o elasticidad (E)

Momento de inercia de la sección transversal A-A (J)

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{q \times L^4}{8 \times E \times J}; m$$
$$J = \frac{\pi \times D^4}{64} (1 - \mu); m^4 \quad (67)$$

Diámetro del husillo (D)

Relación entre diámetros del husillo (μ)

$$J = \frac{\pi \times 0,039^4}{64} (1 - 0,805)$$

$$J = 2,2144 \times 10^{-8} m^4$$

Volumen total del husillo obtenido del solidworks

$$V = 562928,93 \text{ mm}^3 = 5,629 \times 10^{-4} m^3$$

$$q = \rho \times g \times \frac{V}{L} \quad (68)$$

$$q = 7850 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \frac{5,629 \times 10^{-4} m^3}{0,5 m}$$

$$q = 86,696 \frac{N}{m}$$

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{q \times L^4}{8 \times E \times J}; m \quad (69)$$

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{86,696 \frac{N}{m} \times 0,5^4 m^4}{8 \times (210 \times 10^9) \frac{N}{m^2} \times 2,2144 \times 10^{-8} m^4}$$

$$f_{m\acute{a}x} = 1,4565 \times 10^{-4} m$$

$$f_{m\acute{a}x} = 0,1456 mm$$

3.3.1.22 Análisis térmico

Temperatura fílmica

Temperatura de la superficie (T_s)

Temperatura ambiente (T_α)

Temperatura fílmica (T_f)

$$T_s = 240 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_\alpha = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2} \quad (70)$$

$$T_f = \frac{240 + 20}{2}$$

$$T_f = 130 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Propiedades del aire a 130°C y 1 atm de presión

Los valores fueron obtenidos de las tablas de Cengel

Número de Prandtl ($P_r = 0,7057$)

Viscosidad cinemática ($\gamma = 2,6335 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$)

Conductividad térmica ($k = 0,033045 \frac{W}{m \times K}$)

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (71)$$

$$\beta = \frac{1}{130 + 273}$$

$$\beta = 2,481 \times 10^{-3} \frac{1}{K}$$

Número de Grashof

Gravedad ($9,81 \frac{m}{s^2}$)

Diámetro del cilindro (0,039 m)

$$\Delta T = T_s - T_\alpha \quad (72)$$

$$\Delta T = 240 - 20$$

$$\Delta T = 220 K$$

$$G_r = \frac{\beta \times g \times \Delta T \times D^3}{\nu^2} \quad (73)$$

$$G_r = \frac{2,481 \times 10^{-3} \times 9,81 \times 220 \times 0,039^3}{2,6335 \times 10^{-5^2}}$$

$$G_r = 457979$$

$$P_r \times G_r = 0,7057 \times 457979$$

$$P_r \times G_r = 323195,78$$

Número de Nusselt

Tabla 11-3: Constantes para convección libre sobre un cilindro circular horizontal

Ra_D	C	n
$10^2 - 10^4$	0,850	0,188
$10^4 - 10^7$	0,480	0,250
$10^7 - 10^{12}$	0,125	0,333

Fuente: (Todoenpolimero, 2016, p.1)

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

$$c = 0,48$$

$$a = 0,25$$

$$Nu = c \times (Pr \times Gr)^a \quad (74)$$

$$Nu = 0,48 \times (323195,78)^{0,25}$$

$$Nu = 11,44$$

Coefficiente de convección

$$h_c = \frac{Nu \times k}{D} \quad (75)$$

$$h_c = \frac{11,44 \times 0,033045}{0,039}$$

$$h_c = 9,69 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Coefficiente de radiación

Emisividad del acero a 513 K ($e_1 = 0,61$)

Constante de Stefan Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$)

$$T_{s1} = 240 + 273$$

$$T_{s1} = 513K$$

$$T_{\alpha 1} = 20 + 273$$

$$T_{\alpha 1} = 293 K$$

$$h_r = \frac{e_1 \times \sigma \times (T_{s1}^4 - T_{\alpha 1}^4)}{(T_{s1} - T_{\alpha 1})} \quad (76)$$

$$h_r = \frac{0,61 \times 5,67 \times 10^{-8} \times (513^4 - 293^4)}{(513 - 293)}$$

$$h_r = 9,72 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Coefficiente de transferencia de calor total

$$h = h_r + h_c \quad (77)$$

$$h = 9,72 + 9,69$$

$$h = 19,41 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Longitud del tornillo zona de calefacción

$$L = 0,5 \text{ m}$$

Área de la zona de calefacción

$$S = \pi \times D \times L \quad (78)$$

$$S = \pi \times 0,039 \times 0,5 = 0,06126 \text{ m}^2$$

Pérdidas por radiación:

$$Q_r = s \times e_1 \times \sigma \times (T_{s1}^4 - T_{\alpha 1}^4) \quad (79)$$

$$Q_r = 0,06126 \times 0,61 \times 5,67 \times 10^{-8} \times (513^4 - 293^4)$$

$$Q_r = 131,128 \text{ W}$$

Pérdidas por convección:

$$Q_c = h_c \times \Delta T \times S \quad (80)$$

$$Q_c = 9,69 \times 220 \times 0,06126$$

$$Q_c = 130,59 \text{ W}$$

Calor requerido para elevar la temperatura del material a temperatura de trabajo

$$m = 0,8059 \frac{kg}{h}$$

$$C_p = 0,2854 \frac{kcal}{kg \text{ } ^\circ C}$$

$$Q_n = m \times C_p \times (T_s - T_a) \quad (81)$$

$$Q_n = 0,8059 \times 0,2854 \times 220$$

$$Q_n = 50,6 \frac{kcal}{h} = 58,84 \text{ W}$$

Energía que sale del sistema:

$$E_s = Q_r + Q_c + Q_n \quad (82)$$

$$E_s = 131,128 + 130,59 + 58,84 = 320,558$$

Temperatura en un tiempo T

$$T_{(t)} = (1 - e^{\frac{h \cdot A \cdot t \cdot 60}{m_c C_{pc} + m_h C_{ph}}}) \quad (83)$$

Tabla 12-3: Variación de la temperatura a través del tiempo

Tiempo (min)	Temperatura(K)	T(C)
1	299,678765	26,6787652
2	306,316046	33,3160465
3	312,912101	39,9121014
4	319,467186	46,4671861
5	325,981555	52,981555
6	332,455461	59,4554611
7	338,889156	65,8891556
8	345,282888	72,2828883
9	351,636907	78,6369074
10	357,95146	84,9514597
11	364,22679	91,2267902
12	370,463143	97,4631426
13	376,660759	103,660759
14	382,81988	109,81988

Tabla 12-3: (Continuación)

15	388,940745	115,940745
16	395,023591	122,023591
17	401,068654	128,068654
18	407,07617	134,07617
19	413,046371	140,046371
20	418,979489	145,979489
21	424,875754	151,875754
22	430,735396	157,735396
23	436,558642	163,558642
24	442,345717	169,345717
25	448,096848	175,096848
26	453,812256	180,812256
27	459,492164	186,492164
28	465,136792	192,136792
29	470,746359	197,746359
30	476,321084	203,321084
31	481,861182	208,861182
32	487,366869	214,366869
33	492,838358	219,838358
34	498,275862	225,275862
35	503,679592	230,679592

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.4 Selección de materiales mediante Ces-Edupack

Ces-Edupack es un programa líder para ingeniería, fabricación y diseño en la rama de materiales.

3.4.1 Procedimiento llevado para seleccionar el material del tornillo y cilindro.

- Ejecución del programa
- Seleccionamos de categoría avanzada de nivel 3
- Seleccionamos la opción Gráficos/Seleccionar
- Ingresamos nuestros parámetros para la selección en la opción límite

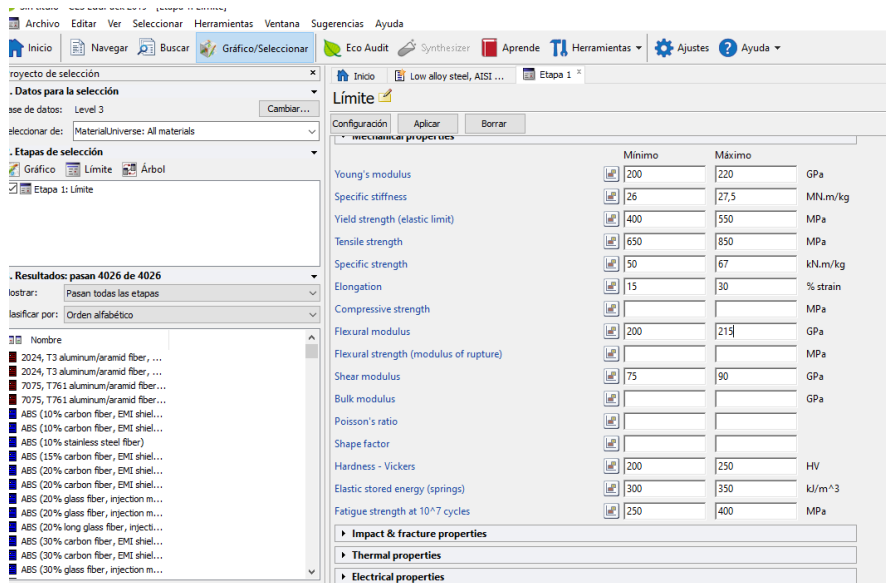


Gráfico 3-3. Parámetros de selección para el husillo y cilindro

Fuente: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

- Seleccionamos la opción Gráfica
- Ubicamos nuestras propiedades de Ejes X, Y por categoría y atributo

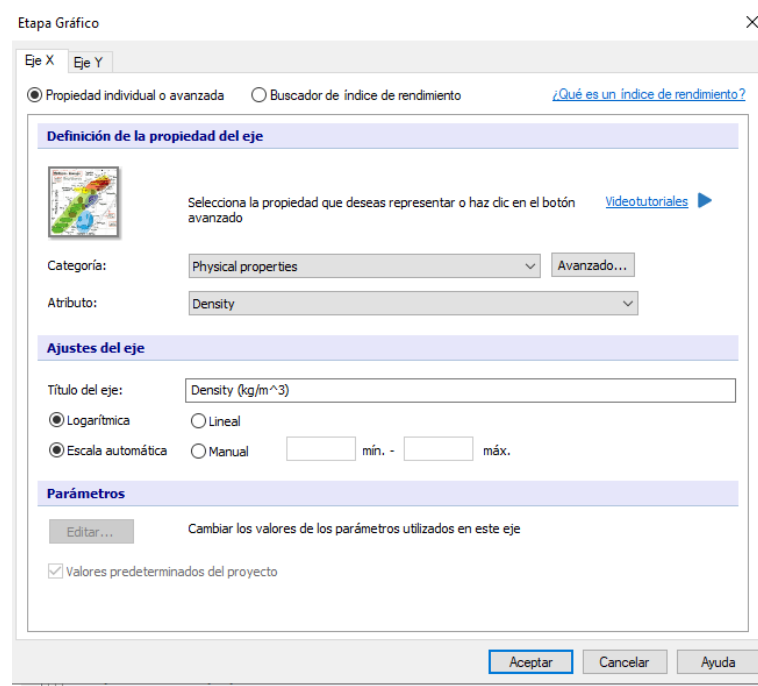


Gráfico 4-3. Parámetros eje X del husillo y cilindro

Fuente: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

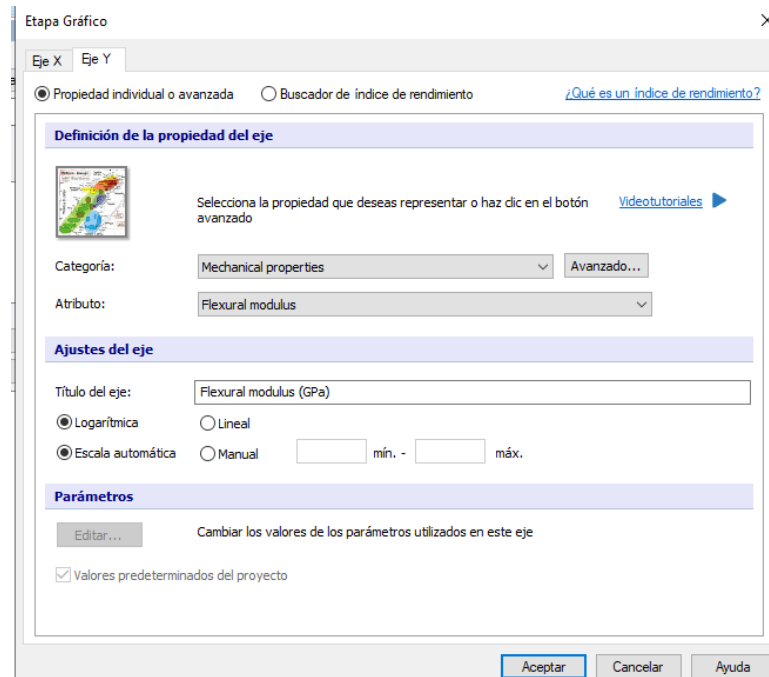


Gráfico 5-3. Parámetros eje Y del husillo y cilindro

Fuente: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Como última etapa se obtuvo los materiales que cumplen con los parámetros y requerimientos necesarios para diseñar el cilindro y husillo de la máquina extrusora

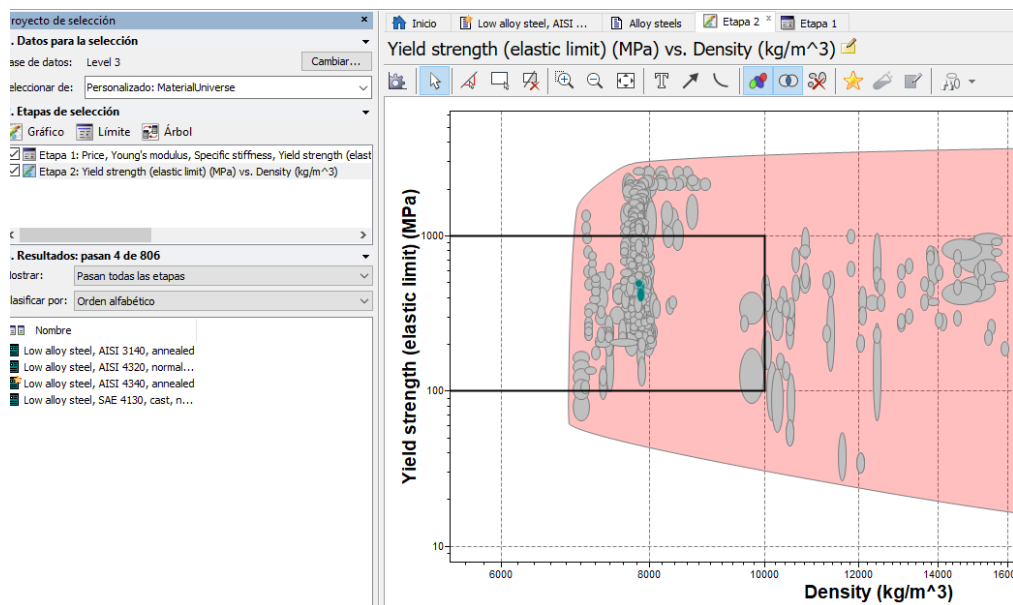


Gráfico 6-3. Materiales obtenidos con el programa para el husillo y cilindro

Fuente: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Observamos en la Fig. 8-3. que del universo de materiales con los que cuenta la base de datos del programa Ces-Edupack 2019 los que cumplen con los parámetros y requerimientos son:

- AISI 3140
- AISI 4320

- AISI 4340
- SAE 4130

Se ha seleccionado el acero AISI 4340 debido a sus propiedades mecánicas, térmicas y por ser un acero altamente comercial.

3.4.2 Procedimiento para seleccionar el material de la estructura, tolva y base de la extrusora de filamento.

Se ha optado por elegir un acero de categoría estructural con denominación A36, se escogió este material por sus buenas propiedades mecánicas y su gran facilidad de encontrarlo en el mercado ecuatoriano, a continuación, se presenta las tablas de propiedades del acero A36.

- Ejecución del programa
- Seleccionamos de categoría avanzada de nivel 3
- Seleccionamos la opción Gráficos/Seleccionar
- Ingresamos nuestros parámetros para la selección en la opción Límite

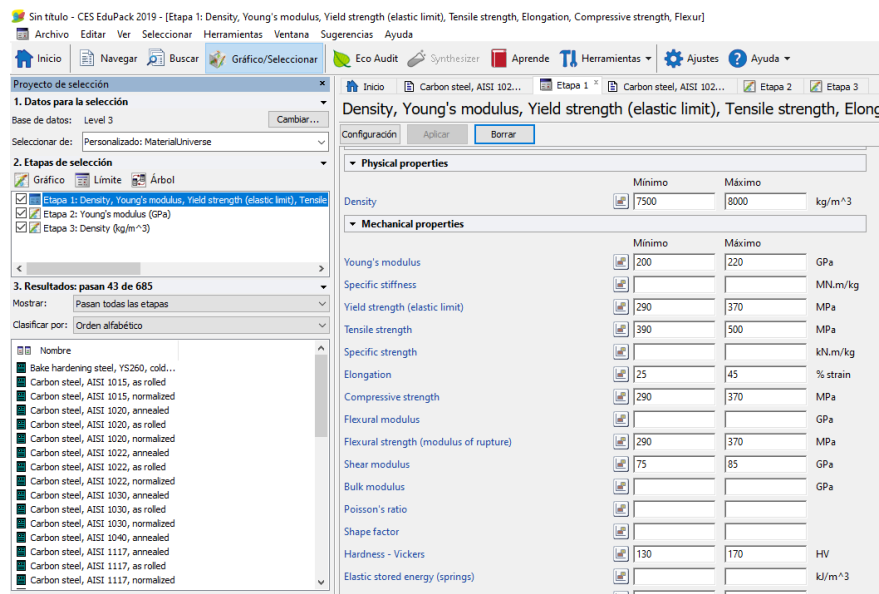


Gráfico 7-3. Parámetros de selección para la tolva, estructura y base de la extrusora

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

- Seleccionamos la opción Gráfica
- Ubicamos nuestras propiedades de Ejes X, Y por categoría y atributo

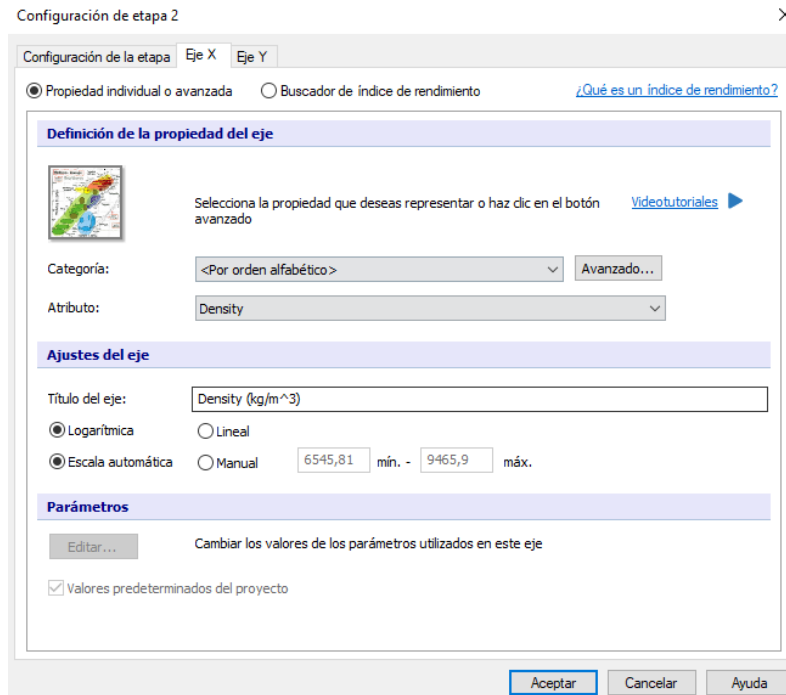


Gráfico 8-3. Restricciones eje X para la tolva, estructura y base de la extrusora

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

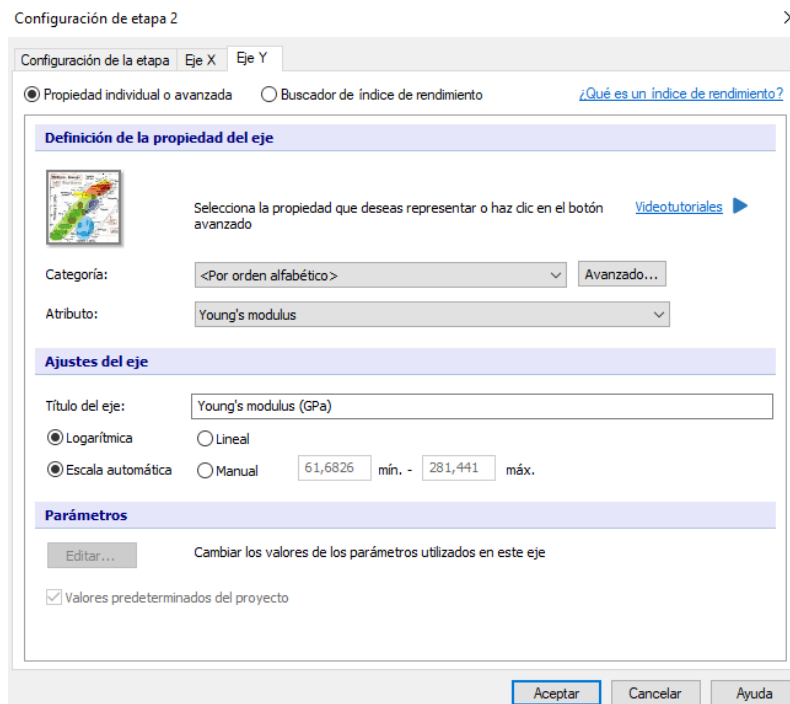


Gráfico 9-3. Restricciones eje Y para la tolva, estructura y base de la extrusora

Fuente: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Como última etapa se obtuvo los materiales que cumplen con los parámetros y requerimientos necesarios para diseñar el cilindro y husillo de la máquina extrusora

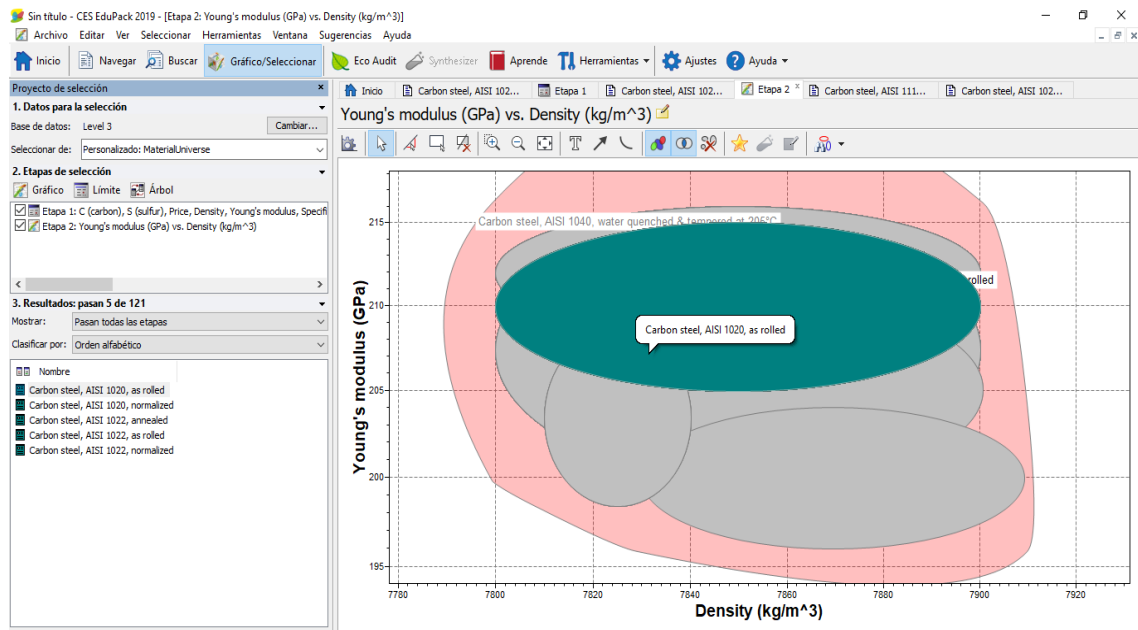


Gráfico 10-3. Materiales obtenidos con el programa para la tolva, estructura y base de la extrusora

Fuente: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Observamos que del universo de materiales con los que cuenta la base de datos del programa Ces-Edupack los que cumplen con los parámetros y requerimientos son:

- AISI 1020 conformado en frío
- AISI 1020 normalizado
- AISI 1020 recocido
- AISI 1022 conformado en frío
- AISI 1022 normalizado

Se ha seleccionado el acero AISI 1020 conformado en frío primordialmente por sus propiedades mecánicas que este presenta, las cuales cumplen con los parámetros necesarios para la aplicación que se va a realizar, el material AISI 1020 de categoría estructural se presenta en el mercado ecuatoriano como un acero estructural A36 el que es altamente comercial y conocido en el medio.

3.5 Análisis estructural

El análisis estructural se lo realizo utilizando el software Solidworks 2020, se define el material el cual es un acero ASTM A36, el valor de cargas que se utilizaron son los pesos propios de los componentes y elementos que conforman la maquina extrusora.

Tabla 13-3: Peso de los componentes de la extrusora

Componente	Peso en kilogramos
Motoreductor	0
Conjunto (camisa, tornillo, tolva, polea, base, cabezal)	23 Kg
Total	42 Kg

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.5.1 *Análisis de esfuerzos*

El esfuerzo máximo presente en la estructura es de 5,847 MPa, el mínimo es de 0,0196 MPa, el límite elástico del acero A36 es de 250 MPa.

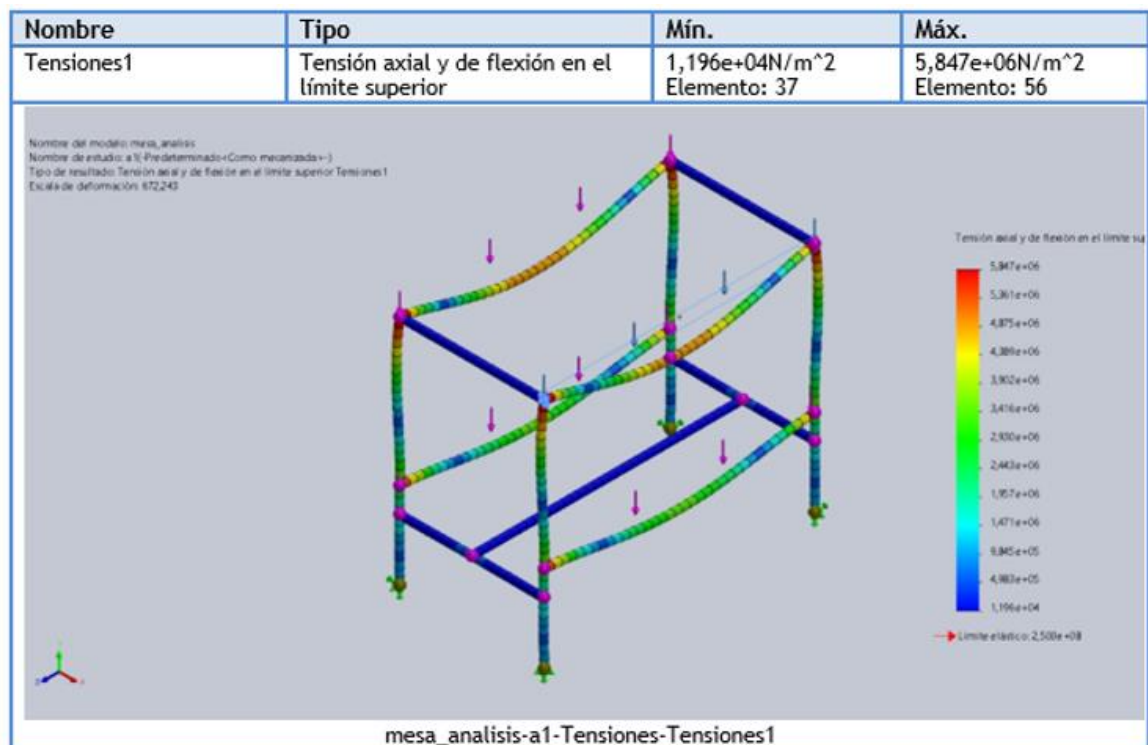


Gráfico 11-3. Análisis de tensión axial y de flexión.

Fuente: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.5.2 *Análisis de deformaciones*

El desplazamiento mínimo que presenta la estructura es de 0mm, el desplazamiento máximo es de 0,151 mm como se puede observar en la siguiente figura.

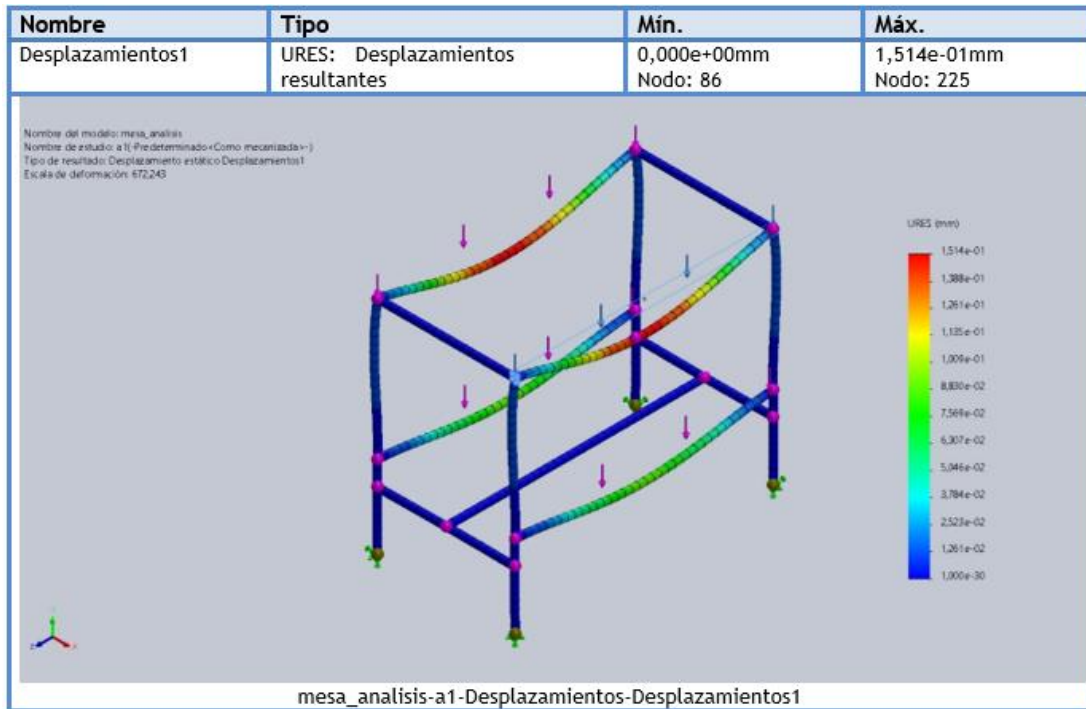


Gráfico 12-3. Desplazamientos resultantes

Fuente: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.5.3 Factor de seguridad de la estructura

La estructura presenta un factor en los elementos más críticos con un valor mínimo de 43.

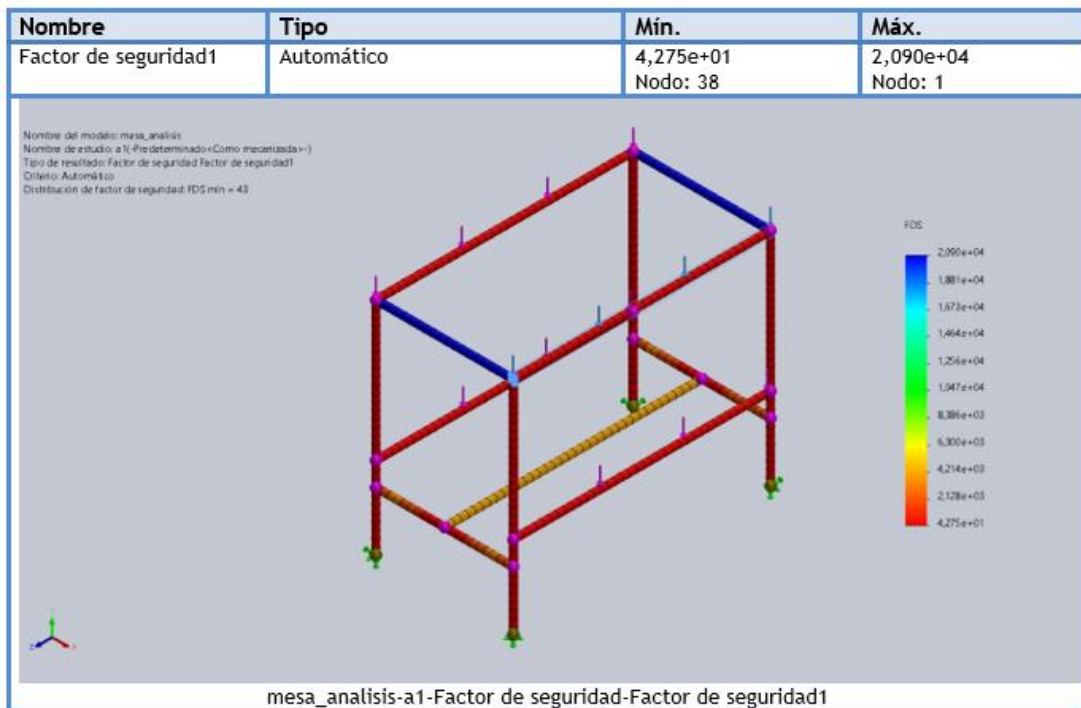


Gráfico 13-3. Factor de seguridad

Fuente: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

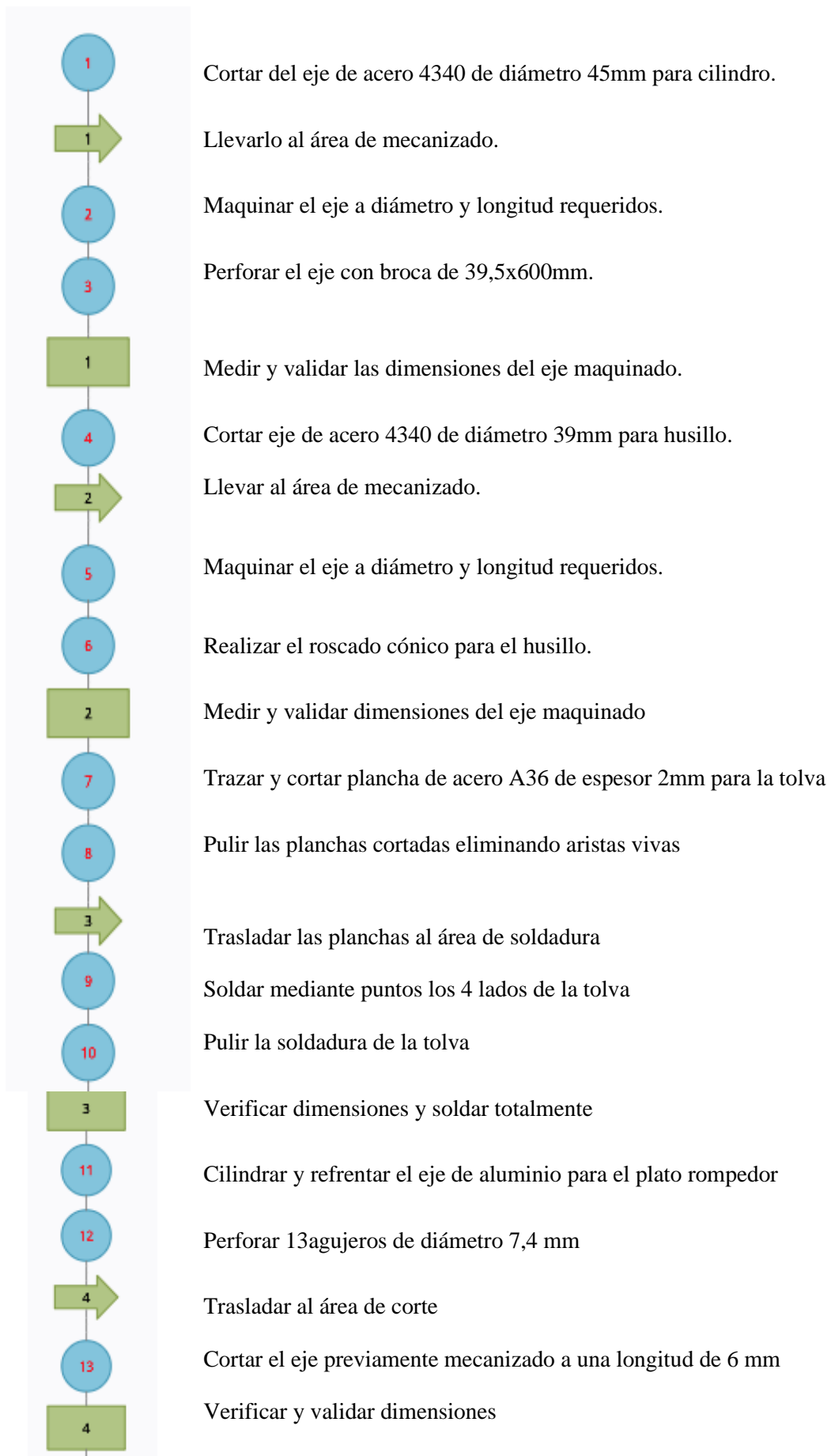
Elaboración de planos

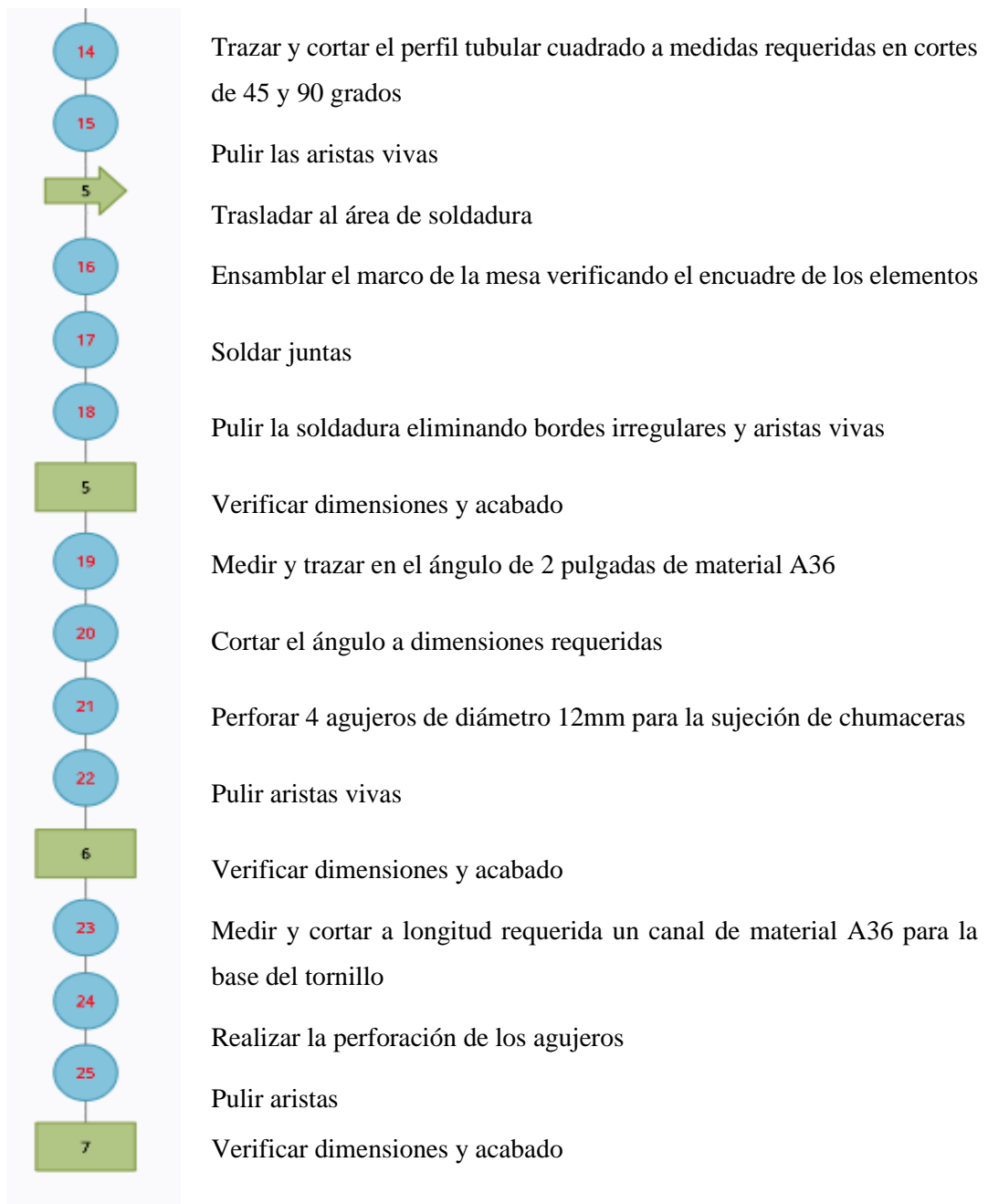
Las elaboraciones de los planos son fundamentales se los realiza a partir del diseño mecánico y estructural que se realizó, son necesario para la construcción a su vez fueron realizados con ayuda del software solidworks 2019 versión, los planos se encuentran ubicados en la parte de anexos.

3.6 Construcción de la máquina

Habiendo concluido con el cálculo de los parámetros necesarios para el diseño mecánico teniendo en cuenta un análisis funcional, se obtuvo la mejor alternativa para llegar a un diseño eficiente, seleccionando el material adecuado se procedió con la elaboración de planos para continuar con la construcción, para lo que se ha maquinado en talleres calificados los cuales nos permite garantizar una extrusora de alta calidad.

Seguidamente se detalla de forma general todo el procedimiento utilizado para la construcción de la máquina extrusora de filamentos a partir de los residuos plásticos de impresiones 3D para el grupo de investigación GIDETER-ESPOCH.





3.6.1 *Construcción detallada de los elementos*

3.6.1.1 *Tornillo de la extrusora*

El tornillo o husillo es la parte fundamental de una extrusora, la producción de la extrusora dependerá del diámetro de este, la conducción del plástico triturado desde la tolva hacia la boquilla como material fundido homogéneo es la principal función del husillo.

Para el maquinado del tornillo se adquirió un eje de acero AISI 4340 de 50mm de diámetro con una longitud de 650mm, se procedió a ubicar el eje de acero en el mandril del torno, se realizó un refrentado a ambas caras, seguidamente se perforo el agujero de centros empleando como herramienta una broca de centros, se ubicó el contrapunto con el punto móvil en el agujero de

centros y se procede al mecanizado en el torno CNC debido a que en un torno tradicional no se logra una buena calidad en la rosca de tipo cónica, durante el proceso de mecanizado se utilizó taladrina con el fin de lubricar y refrigerar.



Figura 3-3. Tornillo de la extrusora maquinado

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.6.1.2 *Cilindro de la extrusora*

El cilindro que se utiliza en una extrusora es un cilindro hueco de un espesor considerable debido a que debe soportar las presiones generadas en el interior de este las cuales son producidas por el husillo y el material plástico, además este se encarga de transmitir el calor de las resistencias al material.

En el caso de las extrusoras el cilindro debe tener una rugosidad alta esto con el fin de aumentar las fuerzas de cizalla para permitir que el material fluya a lo largo de la extrusora. El cilindro por lo general debe ser construido de materiales resistentes, en algunos casos tiene un revestimiento bimetalico, esto con el fin de aumentar su resistencia considerablemente.

Para el mecanizado del cilindro de la extrusora se adquirió un eje de acero de diámetro 70mm con una longitud de 600mm, se realizó un corte a longitud de 300mm con la finalidad de obtener 2 ejes de igual longitud esto se lo hizo con el fin de tener una menor longitud para que las brocas puedan atravesar longitudinalmente el eje de acero, se ubicó y sujeto el material en el mandril del torno y se procede a realizar el refrentado de ambas caras, seguidamente se realizó el perforado de los agujeros de centros utilizando como herramienta una broca de centros, a continuación, ubicamos nuestra broca en el porta brocas del contrapunto encendemos la bomba del refrigerante y procedemos a realizar las perforaciones a lo largo de nuestro eje este procedimiento se realizó utilizando diferentes pasos de brocas hasta llegar al diámetro requerido de 39,5 mm, en una de las 2 secciones perforadas se realizó una rosca la que servirá de unión para el cabezal extrusor, a la otra sección perforada se la trasladó al área de fresado, se procedió a la ubicación y sujeción

del eje de acero perforado en la prensa de banco, con una fresa de tipo cilíndrica frontal se procedió a realizar el mecanizado logrando obtener la zona de ingreso de material a la zona de alimentación ubicada entre la tolva y el cilindro.



Figura 4-3. Cilindro de la extrusora

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.6.1.3 Tolva

La tolva es el espacio donde se deposita la materia prima, que en este caso es el material reciclado de impresiones previas, la tolva es de forma rectangular en su parte inferior tiene un orificio que se lo conoce como garganta de alimentación, esta es la que se comunica con la entrada del extrusor.

Se transportó el material al área de corte, se procedió a trazar y cortar las planchas de acero A36 de espesor 2 mm con una amoladora realizamos los cortes de las 4 planchas que conformaran la tolva, una vez cortado realizamos un pulido de aristas con el fin de eliminar las rebabas que quedan después del corte, se trasladó el material al área de soldadura y se procede a realizar el ensamble por medio de soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido E6011, por último se procedió al pulido de los cordones de soldadura logrando eliminar imperfecciones y rugosidades.



Figura 5-3. Tolva

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.6.1.4 Dado del extrusor y boquilla

El dado extrusor es la parte frontal que se une al cilindro mediante una rosca interna, dentro de este se acumula la materia prima calentada y ayuda a la dosificación uniforme antes de salir por la boquilla.

La boquilla es la que nos ayuda a obtener los filamentos de diámetros de 1,75mm y 3 mm.

Para el mecanizado del dado del extrusor se adquirió un eje de acero de diámetro 75mm y longitud 125mm se trasladó el eje al área de mecanizado donde ubicamos y sujetamos en el mandril al acero, se procede al refrentado de las 2 caras, a continuación, se realizan las perforaciones de los agujeros de centros utilizando como herramienta una broca de centros, se ubica el eje entre el mandril y el punto móvil ubicado en el contrapunto, procedemos a cilindras y mecanizar el eje en base a los planos, se realizó una perforación con la finalidad de permitir que entre el porta herramientas para rosca interna, se realizó un roscado interno, este roscado permite la unión del cabezal extrusor con el cilindro de la extrusora.



Figura 6-3. Dado del extrusor con boquilla

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.6.1.5 Estructura o mesa

La mesa es una estructura metálica la cual brinda el soporte a los elementos y equipos mecánicos que conforman la extrusora con la finalidad de fijar los elementos a la bancada del mismo.

Se adquirió perfil tubular cuadrado de 1 pulgada con un espesor de 2 mm, se trasladó los perfiles al área de corte, se procedió a realizar el trazado y cortado seguidamente realizamos el pulido aristas eliminando rebabas y filos cortantes, se trasladó el material al área de soldadura y se procedió al ensamble y unión por medio de soldadura por arco eléctrico utilizando electrodos E6011 una vez que se realizó las uniones soldadas se procede a pulir los cordones de soldadura, se trasladó la estructura al área de pintado donde se limpió la superficie y se procedió a realizar el fondeado a la estructura y posteriormente se lijo el fondo para eliminar en su mayoría las rugosidades y se aplicó 3 capas de esmalte sintético anticorrosivo de grado automotriz.



Figura 7-3. Estructura o mesa

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.6.1.6 Base del motor

Es la parte mecánica que se ubica debajo del tablero, brinda soporte al motor y nos sirve como sistema de regulación para la tensión del sistema de transmisión por banda.

Una vez adquirida las planchas de acero A36 de espesor 3 mm se trasladó el material al área de corte donde se realizó en trazado y cortado a las dimensiones requeridas, se procede al doblado de la plancha con el fin de conformar la base del motor esto se realizó en una dobladora de tol marca Niagara, seguidamente se realiza el trazado y perforado de las planchas previamente dobladas, se procedió a la unión de los pernos del sistema de templado de la base del motor esto se realizó mediante soldadura por arco eléctrico utilizando un electrodo E7018.



Figura 8-3. Base del motor

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.6.1.7 Base de la extrusora

Es el elemento en donde descansa el cilindro y tolva de la extrusora, brinda sujeción y firmeza entre la extrusora y la mesa.

Se traslada el perfil tubular cuadrado de 2 pulgadas con 2 mm de espesor al área de corte, se trazó y corto el perfil a dimensiones requeridas, realizamos mediante soldadura por arco eléctrico la junta entre los soportes secundarios con el cuerpo principal ubicamos los ángulos perforados donde ira ubicada la chumacera unimos el conjunto por medio de soldadura, seguidamente se pulen las aristas con la finalidad de reducir las aristas vivas y filos cortantes



Figura 9-3. Base de la extrusora

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.6.1.8 *Ensamble*

Para realizar el ensamble de los elementos y componentes los que conforman la extrusora se siguió el siguiente orden.

Se procedió a ensamblar la mesa con la base del motor, el acople se lo realizó mediante pernos M8, se procede a la colocación del perno guía seguidamente se ubican todos los pernos en sus respectivos lugares y se los ajusta, para el motoreductor se lo ubica en su base y se lo asegura mediante pernos M8.



Figura 10-3. Ensamble del conjunto mesa, base del motor, y motoreductor.

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Para el ensamble del componente extrusor se procedió a ubicar el cilindro sobre la base de la extrusora sujetándolo mediante una abrazadera con perno, verificando la alineación correcta entre la abertura donde ira ubicado la tolva para así de esta manera lograr un buen acople entre la tolva y el cilindro logrando de esta forma tener un buen ingreso del material, se ubicó interior al cilindro el tornillo extrusor el cual en su parte posterior se lo sujeto mediante una chumacera a la base del extrusor.

Se ubica el plato rompedor al interior del dado extrusor, se coloca el dado extrusor en la parte frontal del cilindro y mediante la junta roscada se procede a su sujeción, posteriormente se coloca la boquilla de extrusión en la rosa interna frontal del dado extrusor



Figura 11-3. Ensamble del conjunto base del extrusor, tolva, cilindro, tornillo y mesa

Fuente: (Betancourt Jhony, Cruz William, 2021)

3.6.1.9 *Sistema de enfriamiento*

Para la colocación del sistema de enfriamiento se procedió a la sujeción de 2 ventiladores de 110 Voltios AC a 50/60Hz con una corriente de 0.21A cada uno se los ubica uno en la parte superior y otro en la parte inferior de la mesa su sujeción se lo realizo con tornillos sujetos al tablero de la mesa

3.6.1.10 *Sistema eléctrico y electrónico*

El circuito de fuerza o encendido de resistencias cuenta con los siguientes elementos:

- Breaker
- Contactor
- Botón de paro de emergencia
- Relé Térmico de 12 Amperios
- 5 resistencias tipo abrazadera de 300 W
- Cables conductores

Para el circuito de encendido del motor cuenta con:

- Relé térmico NS2-25 de la marca CHNT de 6-10 Amperios
- Encendido on/off con luz piloto rojo, verde.

El circuito de enfriamiento cuenta con los siguientes elementos:

- Encendido on/off
- 2 ventiladores de 110 Voltios AC a 50/60Hz

El circuito eléctrico utilizado para el encendido del motor, encendido de resistencias y encendido de ventiladores se presenta a continuación donde se pueden apreciar las conexiones y los elementos utilizados.

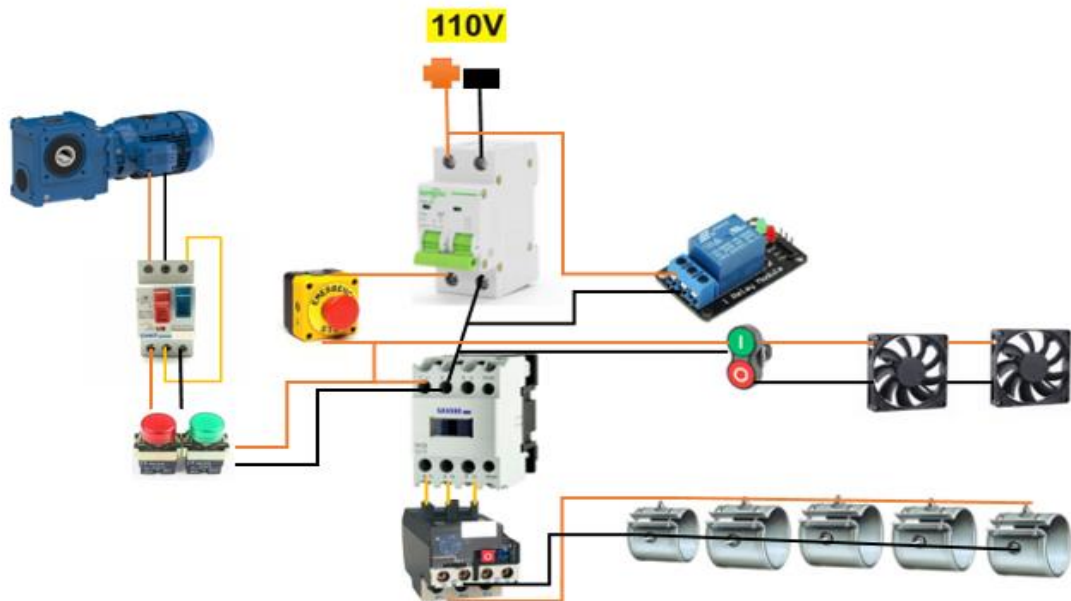


Figura 12-3. Circuito electrónico del sistema motriz, calentamiento y enfriamiento

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

El sistema de control de temperatura se desarrolló en el software Arduino 1.8.15, la programación permite controlar la temperatura de extrusión logrando estabilizar de mejor manera que un encendido de tipo on/off.

```

Control_extrusora Arduino 1.8.15
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Control_extrusora
int PULSADOR1=4;
int LUZ=7;
int RELAY=5;
int POT=0;
int TFUN; //Temperatura de funcionamiento en el cilindro
int TMIN; //Temperatura mínima de funcionamiento en el cilindro
int TMAX; //Temperatura máxima de funcionamiento en el cilindro
int TOL=2; //Tolerancia de temperatura de funcionamiento
int VMIN=25; //Valor máximo del rango de temperatura permisible
int VMAX=250; //Valor máximo del rango de temperatura permisible
int COND; //Condición de encendido
String ESTADO;
#include<max6675.h>
int CSK=10;
int CS=9;
int SO=8;
MAX6675 termopar(CSK,CS,SO);
int TACT; //Temperatura actual en el cilindro
#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7);
void setup()
{
  pinMode(PULSADOR1, INPUT);
  pinMode(LUZ, OUTPUT);
  pinMode(RELAY, OUTPUT);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), PULSADOR2, LOW);
  digitalWrite(RELAY, HIGH);
}

```

Gráfico 14-3. Declaración de variables en Arduino

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

```

Control_extrusora Arduino 1.8.15
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Control_extrusora
Serial.begin(9600);
lcd.setBacklightPin(3, POSITIVE);
lcd.setBacklight(HIGH);
lcd.begin(16, 2);
lcd.clear();
COND=0;
}
void loop()
{
TFUN=map(analogRead(POT), 0, 1023, VMIN, VMAX);
delay(100);
TMIN=TFUN-TOL;
TMAX=TFUN+TOL;
TACT=termopar.readCelsius();
Serial.print(TACT);
Serial.println(" C");
delay(50);
if((TACT<=TMIN && digitalRead(PULSADOR1)==HIGH) || (TACT<=TMIN && COND==1))
{
digitalWrite(LUZ, HIGH);
digitalWrite(RELAY, LOW);
COND=1;
}
else
{
if(TACT>=TMAX)
{
digitalWrite(LUZ, LOW);
digitalWrite(RELAY, HIGH);
}
}
}

```

Gráfico 15-3. Código de programación

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

```

Control_extrusora Arduino 1.8.15
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Control_extrusora
if(digitalRead(LUZ)==LOW)
{
ESTADO="off";
}
else
{
ESTADO="on ";
}
if(TACT<100&&TFUN<100)
{
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Th:"); //Temperatura actual en el cilindro
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print(" ");
lcd.print(TACT);
lcd.print(" C");
lcd.setCursor(13,0);
lcd.print("Es:"); //Estado del cilindro
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Tf:"); //Temperatura de funcionamiento
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(" ");
lcd.print(TFUN);
lcd.print(" C");
lcd.setCursor(13,1);
lcd.print(ESTADO);
}
else
{

```

Gráfico 16-3. Programación de condicionales

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

```
Control_extrusora Arduino 1.8.15
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Control_extrusora
{
  if (TACT<100&&TFUN>=100)
  {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Th:");           //Temperatura actual en el cilindro
    lcd.setCursor(4,0);
    lcd.print(" ");
    lcd.print(TACT);
    lcd.print(" C");
    lcd.setCursor(13,0);
    lcd.print("Es:");          //Estado del cilindro
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("If:");          //Temperatura de funcionamiento
    lcd.setCursor(4,1);
    lcd.print(TFUN);
    lcd.print(" C");
    lcd.setCursor(13,1);
    lcd.print(ESTADO);
  }
  else
  {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Th:");           //Temperatura actual en el cilindro
    lcd.setCursor(4,0);
    lcd.print(TACT);
    lcd.print(" C");
    lcd.setCursor(13,0);
    lcd.print("Es:");          //Estado del cilindro
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("If:");          //Temperatura de funcionamiento
    lcd.setCursor(4,1);
    lcd.print(TFUN);
    lcd.print(" C");
    lcd.setCursor(13,1);
    lcd.print(ESTADO);
  }
}

void PULSADOR2()
{
  digitalWrite(LUZ, LOW);
  digitalWrite(RELAY, HIGH);
  COND=0;
}
```

Gráfico 17-3. Programación de impresión de resultados

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

El esquema de circuito de control de temperatura fue desarrollado en el programa Fritzing el que nos permite guiarnos de mejor manera debido a que es un esquema gráfico donde se visualizan los elementos y componentes utilizados para el armado del circuito de control de temperatura.

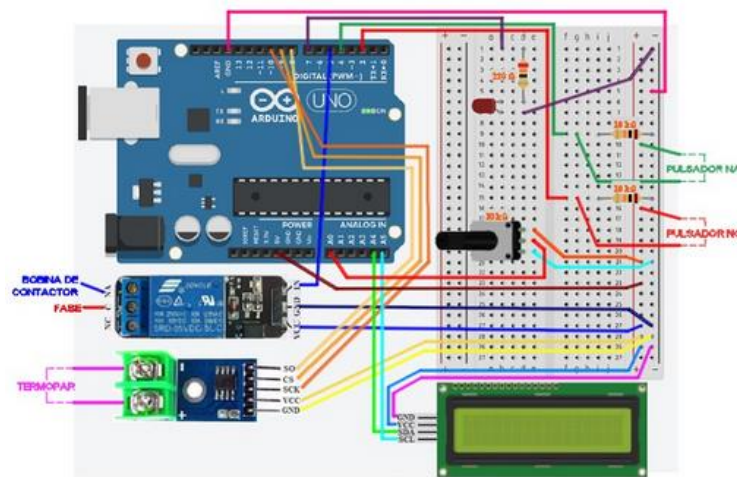


Figura 13-3. Circuito electrónico del control de temperatura.

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.7 Pruebas de funcionamiento.

3.7.1 Preparación de la máquina extrusora.

Se debe seguir los siguientes parámetros antes de encender el equipo:

- Verificación de la toma de alimentación 110/220 voltios
- Revisar tensión de la banda
- Examinar que no existan residuos ajenos que no sean plásticos u objetos ajenos en la tolva de alimentación debido a que estos pueden causar que el tornillo se remuerda
- Colocar la boquilla requerida
- Verificación botoneras y pantalla del sistema electrónico
- Examinar resistencias del sistema de control de temperatura
- Revisar el sistema de enfriamiento
- Revisar el sistema de enrollado

3.7.2 Encendido del sistema de calentamiento.

Una vez alimentada la máquina se procede a encender las resistencias con la finalidad de que el cilindro de la extrusora adquiera la temperatura adecuada de trabajo y a su vez realizar un precalentamiento, de esta manera se garantiza que los residuos que quedan dentro del tornillo no provoquen un atascamiento del mismo.

3.7.3 Encendido del sistema motriz.

Después de verificar que el motor de la extrusora esté conectado a la alimentación 110/220 se procede a dar el arranque del mismo por medio del accionamiento del switch, con la finalidad de

empezar a extraer los residuos plásticos que quedan dentro, de esta manera evitamos mezclar residuos de diferente color.

3.7.4 Alimentación de los residuos plásticos triturados en la tolva.

Se procede a ubicar los residuos triturados de termoplásticos asegurando que todos sean del mismo material, se coloca en la tolva de alimentación, recordando que si deseamos un proceso continuo se deberá mantener la tolva siempre con material para de esta manera evitar que se quede sin materia prima para la extrusión de los filamentos para impresión 3D

3.7.5 Encendido del sistema de enfriamiento

Una vez que observamos que el filamento ha empezado a salir por la boquilla encendemos nuestro sistema de enfriamiento mediante ventiladores los cuales previamente se verificaron que estén conectados a la alimentación, el propósito de este sistema de enfriamiento es disminuir la temperatura del filamento plástico para que se facilite su enrollado en el carrete.

3.7.6 Enrollado del filamento plástico

Colocamos de forma manual el inicio del filamento al seguro del carrete, rotamos uniformemente el carrete con el propósito de no elongar el filamento y que este a su vez pueda ser almacenado.

3.8 Obtención del filamento 3D.

Para obtener el filamento se trabajó a una temperatura de 170°C utilizando como materia prima material triturado de PLA, se precalentó la máquina con la finalidad de verificar la temperatura máxima que esta puede alcanzar.

Tabla 14-3: Temperatura vs tiempo de precalentamiento

Temperatura °C	Tiempo (min)
18	0
20	1
27	3
35	5
39	6
60	11
80	15
96	19
105	20
115	23
122	25
140	31
145	33
155	36
170	43

Tabla 14-3: (Continuación)

185	50
198	60
208	70
215	80
222	101
230	125

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.9 Validación de propiedades mecánicas del material reciclado mediante prueba de impacto.

Para la validación de las propiedades mecánicas nos basamos en la norma ASTM D6110 la que es utilizada para ensayos de impacto Charpy en probetas con muesca de material plástico.

3.9.1 *El alcance que presenta la norma ASTM D6110 es el siguiente:*

La norma ASTM D6110 define el procedimiento a utilizar para establecer la resistencia que los plásticos presentan frente a la rotura, esto se obtiene mediante el impacto que ocasiona un péndulo equipado con un martillo en su extremo a una probeta con muesca de material plástico con una configuración de flexión a tres puntos.

Este ensayo de impacto Charpy es utilizado para determinar la cantidad de energía necesaria para fracturar y romperla mediante un choque, determinando mediante los datos obtenidos el valor de tenacidad y resiliencia del material termoplástico.

Los parámetros a utilizar se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 15-3: Parámetros recomendados para la impresión de las probetas

PARAMETROS	PLA	ABS
Temperatura del extrusor	210°C	245°C
Temperatura de la cama o mesa de impresión	65°C	110°C
Velocidad de impresión	50 mm/s	45 mm/s
Velocidad de desplazamiento	130 mm/s	120 mm/s
Velocidad de capa inicial	20 mm/s	20 mm/s
Altura de capa	0,2mm	0,2mm
Porcentaje de relleno	80%	80%
Tipo de relleno	Concéntrico	Concéntrico

Fuente: (Arias, y otros, 2021, p.44)

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.9.2 Procedimiento.

El ensayo de impacto Charpy se lo realizó en el laboratorio de resistencia de materiales de la facultad de mecánica-Espoch, para llevarlo a cabo se siguió el siguiente procedimiento el cual se lo obtuvo en función a los parámetros que establece la norma ASTM D6110 y el laboratorio de resistencia de materiales.

- Colocarse los equipos de protección personal (EPP) requeridos para el ingreso al laboratorio casco, mandil y calzado adecuado.
- Validar las dimensiones de las probetas utilizando un calibrador pie de rey
- Colocar y asegurar la probeta en el soporte para probetas de la máquina, la entalladura se dispondrá en a cara opuesta a la que recibe el impacto, coincidiendo el impacto del martillo con el eje de la entalladura.
- Verificar que la aguja de la caratula esté encerada.
- Tomar el martillo del péndulo y levantarlo hasta la altura requerida para este ensayo.
- Verificar que el martillo al caer se ubique en un solo plano y no existan obstáculos frente a él.
- Liberar el martillo.
- Observar y anotar la cantidad de energía que se ha absorbido durante el impacto.
- Observar el tipo de fractura.
- Retirar la probeta.

3.10 Evaluación de costos

3.10.1 Costos directos

Son aquellos costos que se pueden identificar o cuantificar plenamente con los productos terminados, como, por ejemplo, los materiales directos y la mano de obra directa destinados a la fabricación del producto.

3.11.1.1 Costo de materiales

A continuación, en la tabla 15-3 detallamos los materiales empleados en la construcción de la extrusora de filamento con sus respectivos costos.

Tabla 16-3: Costos de materiales

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
1	Brida FF-165 P/MOTOR 1F W21- 3F W22/80	1	u	40,26	40,26
2	Polea de aluminio (1 canal 2 pulgadas)	1	u	2,20	2,20
3	Polea de aluminio (1 canal 7 pulgadas)	1	u	7,20	7,20
4	Piloto chint verde (220v ND16-22D/4)	1	u	1,68	1,68
5	Piloto chint Rojo (220v ND16-22D/4)	1	u	1,68	1,68
6	Pulsador plastico chint rojo (2 contactos NC)	1	u	2,35	2,35
7	Pulsador plastico chint (NP2-EA33 VERDE 2 contactos NA)	1	u	2,35	2,35
8	MOTOR WEG MONOFASICO (0,75 HP 1700RPM 110-220V CERRADO)	1	u	195,70	195,70
9	GUARDAMOTOR CHINT NS2-25X-10 (6-10A 110V/220VV/440V)	1	u	30,24	30,24
10	REDUCTOR FCNDK 0,75 HP/ 1HP / 1,5HP i=40 M80-R63 87/116/ 138Nm 1,6/1,2/1,1 FS	1	u	196,56	196,56
11	abrazadera de 3 pulgadas con perno	1	u	3	3
12	Chaveta 9x9x20	1	u	1	1
13	Chaveta 5x5x20	1	u	1	1
14	Acero ASTM A36 para estructura (perfil cuadrado de 1"x 2 mm)	17,63	kg	1,40	24,69
15	Pintura sintético automotriz (color azul)	1	gal	20	20

Tabla 16-3: (Continuación)

16	Electrodos AGA 6011	1	kg	5	5
17	Eje de acero AISI 4340 tornillo (diámetro 50 mm x long 650 mm)	10,02	Kg	8,65	86,673
18	Tubo cuadrado de 2"x 2 mm (base de tornillo)	1,81	Kg	1,40	2,54
19	Tabla triplex 50x96 cm espesor 12 mm	7	kg	1.43	10
20	Eje de acero 4340 cilindro (diámetro 70 mm x long de 600 mm)	18,13	kg	8,65	156,82
21	Eje de aluminio diámetro 70 mm x 40 mm (plato rompedor)	0.42	kg	9,52	4
22	Chumacera snr F206	1	u	15	15
23	Ángulo de 1,5" x 750 long x 3 mm de espesor	1,4	Kg	1,40	1,96
24	Platina 1"x 3mm x long 300 mm	0,18	Kg	1,40	0,25
25	Base de motor	1	u	100	100
26	Pintura para altas temperaturas	4	u	5,50	22
27	Cable multifilar concéntrico flexible numero 10	6	m	2,5	15
28	Cable para altas temperaturas #12	3	m	1,75	5,25
29	Resistencias eléctricas metálicas tipo abrazadera 300 watts 110 v	5	u	15	75
30	Terminales redondos	10	u	0,10	1
31	Enchufe	3	u	2	6
32	Taype 3M	1	u	2	2
33	Caja metálica	1	u	24	24
34	Regleta eléctrica	1	u	2	2

Tabla 16-3: (Continuación)

35	Arduino uno	1	u	18,75	18,75
36	Termocupla tipo K	1	u	12	12
37	Modulo Max 6675	1	u	7	7
38	Potenciómetro con perilla	1	u	1	1
39	Resistencias	3	u	0,40	1,20
40	Diodo Led	1	u	0,15	0,15
41	Pantalla lcd	1	u	5	5
42	Módulo relay 5v-110v	1	u	4	4
43	Breaker 20 amp	1	u	15	15
44	Relé térmico 12-15 amp	1	u	13	13
45	Contactador AC SASSIN 3SC8-1811	1	u	28	28
46	Cables # AWG20	1	u	5	5
47	Ventiladores 110v	2	u	17	34
48	Banda A49 en V	1	u	6	6
49	Pernos M6 grado 8,8 con tuerca y arandela	4	u	0,40	1,60
50	Pernos M8 grado 8,8 x 1 con tuerca y arandela	2	u	0,45	1,80
41	Pernos M10 grado 8,8 x 1,5 con tuerca y arandela	4	u	0,45	1,80
52	Pernos M10 grado 8,8 x 1 con tuerca y arandela	8	u	0,45	3,60
53	Pernos 1/4 x 2" con tuerca y arandela	2	u	0,45	0,9
54	Pernos 3/16 x 1,5" con tuerca y arandela	10	u	0,25	2,50
				Subtotal	\$ 1226,7

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.11.1.2 Costo de mano de obra, equipos y herramientas

Para los costos de mano de obra se consideró la remuneración diaria que implica cada técnico especialista en el sector de mecanizado, metal mecánica y electrónica.

Tabla 17-3: Costo de mano de obra.

Cantidad	Descripción	Días/hombre	Costo/día (\$)	Total (\$)
1	Técnico en metal mecánica	10	25	250
1	Técnico en mecanizado	8	40	320
1	Técnico electrónico y eléctrico	3	40	120
			Subtotal	\$ 690

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Se presenta los costos de utilización de los distintos equipos, máquinas y herramientas que se utilizaron para el mecanizado, construcción y ensamble de los diferentes elementos que conforman la maquina extrusora de filamento

Tabla 18-3: Costos de equipos y herramientas

Horas	Descripción	Costo/hora (\$)	Total (\$)	
25	Torno	8	200	
5	Soldadora	4	20	
3	Amoladora	3	9	
3	Prensa	1	3	
3	Dobladora	1	3	
5	Herramientas menores	1	5	
			Subtotal	\$ 240

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.11.1.3 Costos por transporte

Se tomó en cuenta el valor monetario que costo el transporte de la materia prima a los diferentes talleres para su mecanización y construcción.

Tabla 19-3: Costos de transporte

Descripción	Valor (\$)
Transporte para materia prima	\$ 75

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.11.1.4 Costo directo total

Obtenemos el costo total directo sumando todos los costos obtenidos anteriormente.

Tabla 20-3: Costo directo total.

Descripción	Valor (\$)
Materiales	1226,7
Equipos y herramientas	240
Mano de obra	690
Transporte	75,00
Total costos directos	\$ 2231,7

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.10.2 Costos indirectos

Se presentan los costos que no se pudieron ser cuantificados en el producto terminado

Tabla 21-3: Costos de indirectos

Descripción	Cantidad (% CD)	Valor Total (\$)
Ingenieriles	4%	89,268
Imprevistos	1%	22,31
	Total costos indirectos	\$ 111,58

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

3.10.3 Costo total

Tabla 22-3: Costos totales

Descripción	Valor total (\$)
Costos directos	2231,7
Costos indirectos	111,58
TOTAL (\$)	\$ 2343,28

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Diseño de la máquina extrusora

Se presenta el diseño realizado mediante la utilización del software Solidworks 2020.

Tabla 1-4: Características generales de la máquina extrusora

Características generales	
Unidad de captación	Tolva de tipo piramidal
Controlador de temperatura	Arduino uno
Sensor de temperatura	Termocupla tipo J
Sistema de calentamiento	Resistencia tipo abrazadera sin escafandra
Tipo de extrusora	De tornillo por transmisión de bandas
Sistema de enfriamiento	Enfriamiento artificial por ventiladores
Enrollado	Tipo manual

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

4.1.1 Tornillo

El tornillo fue fabricado de acero AISI 4340, se lo dividió en tres zonas, alimentación, compresión y dosificación.



Figura 1-4. Tornillo realizado en Solidworks

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

4.1.2 Cilindro de la extrusora

El cilindro se fabricó en dos partes por separado a partir de dos ejes de acero AISI 4340, el cual fue diseñado para soportar las cargas y presiones que se generan al momento de extruir la materia prima.



Figura 2-4. Cilindro de la extrusora realizado en Solidworks
Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

4.1.3 *Tolva*

Se diseñó una tolva de tipo piramidal la que posteriormente fue construida a partir de planchas de acero ASTM A36 con un espesor de 2 mm, nos brinda una capacidad de alimentación de metros $0,0222 m^3$.

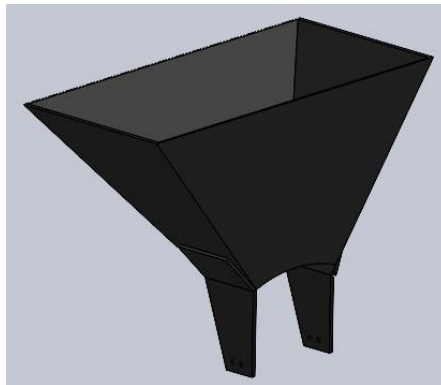


Figura 3-4. Tolva realizada en Solidworks
Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

4.1.4 *Base del cilindro*

La base se diseñó con la finalidad de brindar un soporte entre el conjunto extrusor y la mesa asegurándolas mediante pernos, el material utilizado para la construcción fue perfiles de acero ASTM A36.

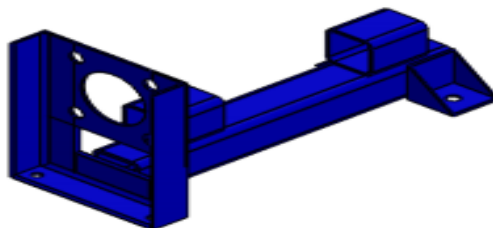


Figura 4-4. Base del cilindro realizado en Solidworks
Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Estructura o mesa

Se diseñó la estructura con la finalidad de brindar soporte a los equipos y elementos que constituyen la extrusora, la mesa se fabricó utilizando perfiles tubulares cuadrados de acero ASTM A36, para el tablero se utilizó un tablero de madera triplex de espesor 12 mm.

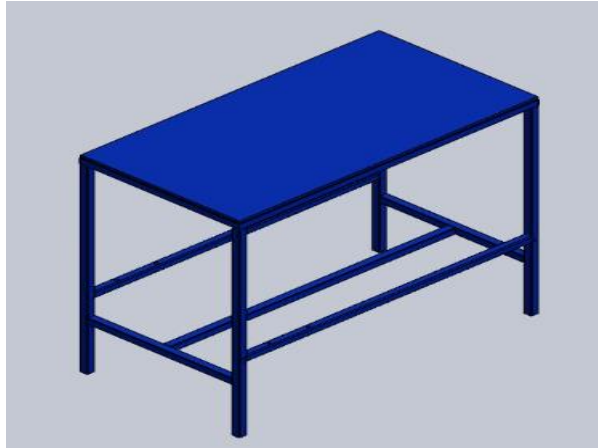


Figura 5-4. Estructura o mesa realizado en Solidworks

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

4.1.5 *Dado del extrusor*

El dado extrusor se fabricó de un eje de acero AISI 4340, el dado extrusor nos permite la sujeción de la boquilla de extrusión por medio de una rosca interna.



Figura 6-4. Dado extrusor realizado en Solidworks

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

4.1.6 *Boquilla*

La boquilla se lo realizo de un perno de acero grado 8,8 previamente perforado a 1,75mm y 3 mm de diámetro, lo que brinda una extrusión para 2 diferentes diámetros de filamentos según sea necesario.

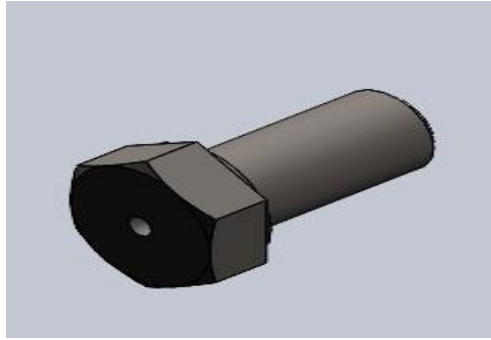


Figura 7-4. Boquilla realizada en Solidworks

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

4.1.7 *Plato rompedor*

El plato rompedor se diseñó y construyó con la finalidad de romper la memoria de forma del PLA fundido, deteniendo el material en el cabezal evitando que el material que no se logró fundir obstruya la boquilla de extrusión, se encuentra ubicado internamente en el dado extrusor, el material utilizado para su fabricación fue un eje de aluminio.

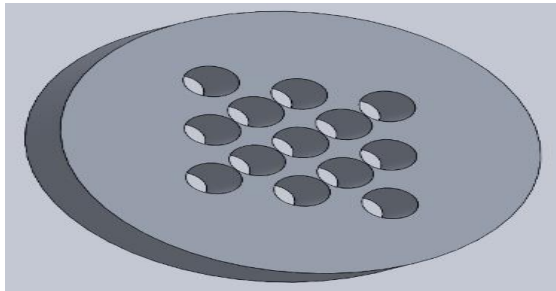


Figura 8-4. Plato rompedor realizado en Solidworks

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

4.1.8 *Base del motor*

La base del motor se diseñó con la finalidad de brindar una buena sujeción del motoreductor a la estructura y a su vez nos facilita el tensado de la banda motriz por medio de su configuración.

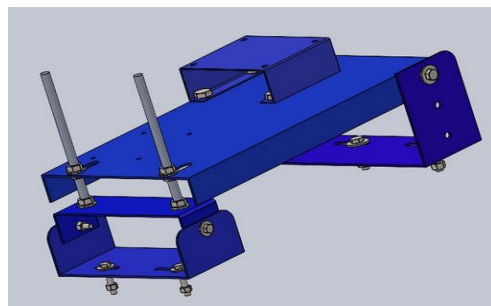


Figura 9-4. Base del motor realizado en Solidworks

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

4.1.9 Parámetros de construcción

Tabla 2-4: Parámetros técnicos de los elementos que constituyen la máquina extrusora



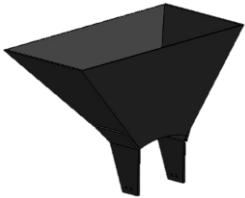
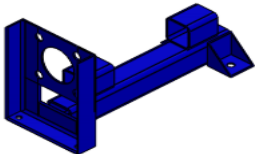
Parámetros técnicos	
Tornillo	
	Material: acero AISI 4340
	Dimensiones: Longitud de alimentación: 160 mm Longitud de compresión: 180 mm Longitud de dosificación: 160 mm Longitud total: 600 mm Longitud de trabajo: 500 mm Número de canales: 1 Diámetro: 39 mm
Cilindro de la extrusora	
	Material: acero AISI 4340
	Dimensiones: Longitud: 500 mm Diámetro externo: 65 mm Diámetro interno: 39,5
Tolva	
	Capacidad de alimentación: 0,0222 m ³ .
	Material: acero ASTM A36
	Espesor: 2 mm
	Dimensiones: 280 x 310 mm
Base del cilindro	
	Material: acero ASTM A36
	Dimensiones: Largo: 378,1 mm Ancho: 154,99 mm Alto: 194,99

Tabla 2-4: Continuación

Estructura o mesa	
	Material: acero ASTM A36
	Dimensiones: Largo: 985,4 mm Ancho: 525,4 mm Alto: 842,7 mm
	Tablero: Triplex 12 mm de espesor
Dado del extrusor	
	Material: acero AISI 4340
	Dimensiones: Diámetro externo: 72 mm Longitud: 92 mm
Boquilla	
	Material: Perno de acero grado 8,8
	Dimensiones: M 12x25 mm
	Diámetro de la boquilla: 1,75-3mm
Plato rompedor	
	Material: Aluminio
	Numero de orificios: 13
	Dimensiones: Diámetro: 63 mm Espesor: 10 mm
Base del motor	
	Material: acero ASTM A36
	Dimensiones: Largo: 560 mm Alto: 153 mm Ancho: 266 mm

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

4.1.10 Características técnicas de la máquina extrusora de filamento plástico.

Mediante el diseño realizado en el capítulo III se obtuvo las siguientes características técnicas:

Tabla 3-4: Características técnicas de la máquina extrusora

Características técnicas	
Potencia	560 W
Voltaje del motor	110-220 V
Voltaje de las resistencias	110 V
Frecuencia	50-60 Hz
Tamaño	1180×560×1100mm
Capacidad de procesado	0,6-1,2 kg/h
Diámetro de extrusión	1,75mm ; 3 mm
Materiales a trabajar	PLA

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

La extrusora diseñada cumple con las requerimientos necesarios para el grupo de investigación GIDETER-ESPOCH.

4.2 Construcción y ensamble

Se presenta la máquina construida y ensamblada en su totalidad.

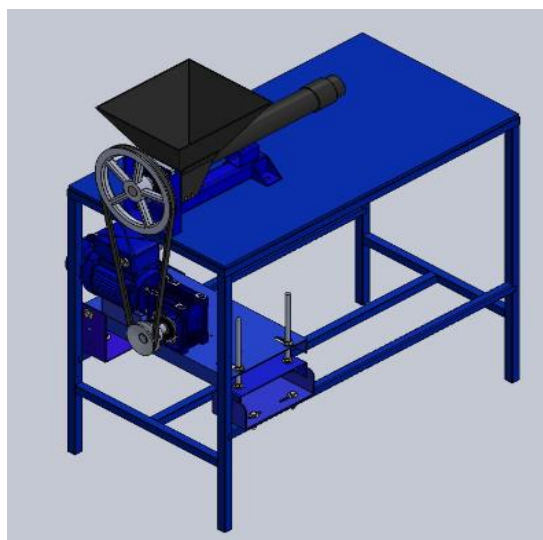


Figura 10-4. Ensamble realizado en Solidworks

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Se construyó la máquina extrusora de filamento utilizando materiales que podemos encontrar en el mercado ecuatoriano, para realizar este proceso nos basamos en los planos obtenidos mediante el programa SolidWorks, estudiando las necesidades obtenidas por el usuario y transformando estas a un lenguaje ingenieril.

Para la selección de materiales se optó por utilizar el programa Ces-Edupack, adquiriendo los materiales para su construcción en locales comerciales reconocidos en el Ecuador los cuales están certificados.

El proceso de construcción fue realizado en talleres certificados que presentan maquinaria actual y calibrada, logrando de esta forma un producto de buena calidad.

La máquina presenta un ensamblaje desmontable de los equipos y elementos lo que facilita una mayor accesibilidad para poder brindar un soporte técnico o mantenimiento.

La extrusora posee sistemas de protección que permiten salvaguardar la seguridad del equipo y sus usuarios.



Figura 11-4. Ensamble total de la máquina extrusora

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

4.3 Protocolo de pruebas de funcionamiento y validación de propiedades mecánicas mediante ensayo de impacto Charpy

4.3.1 Obtención del filamento

Para la obtención del filamento se utilizaron los siguientes parámetros:

Tabla 4-4: Parámetros para extrusión de filamento

Parámetros de extrusión	
Temperatura de extrusión	170 °C
Velocidad de giro del tornillo	12,2 rpm
Materia prima	PLA
Cantidad de materia prima	1,1 Kg
Diámetro de la boquilla	1,75
Tiempo de calentamiento	43 minutos

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Tabla 5-4: Velocidad de calentamiento de la extrusora.

Temperatura (°C)	Tiempo (min)
18	0
20	1
27	3
35	5
39	6
60	11
80	15
96	19
105	20
115	23
122	25
140	31
145	33
155	36
170	43
185	50
198	60
208	70
215	80
222	101
230	125
231	135
232	150
233	170

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

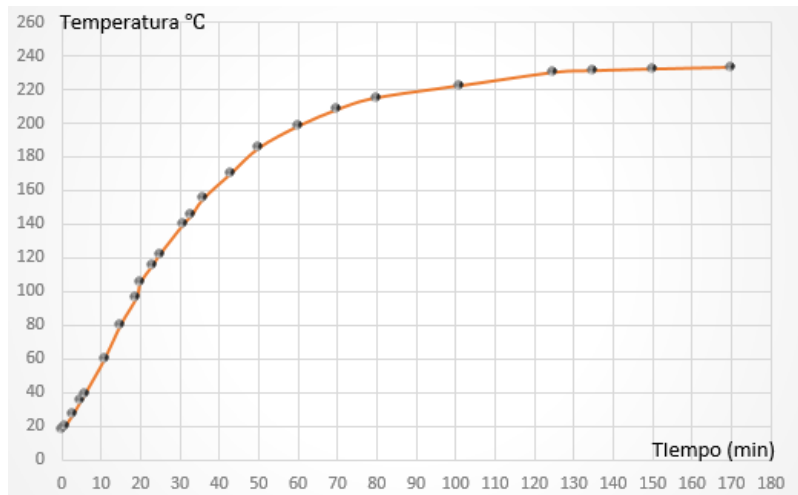


Gráfico 1-4. Curva de calentamiento de la máquina extrusora

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

En la curva de calentamiento de la máquina extrusora se puede observar la temperatura a través del tiempo con lo que podemos observar que hasta los 200 °C presenta un calentamiento creciente y casi constante a partir de los 200 °C el tiempo de calentamiento aumenta llegando a estabilizarse a 230 °C en 125 minutos. Con los parámetros presentados anteriormente se procedió a obtener el filamento.



Figura 12-4. Obtención del filamento

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Posteriormente se obtuvo que la máquina construida tiene una capacidad de $0,9 \frac{kg}{h}$ en función a las pruebas realizadas.

4.3.2 *Ensayo de probetas*

Se realizó el ensayo en base a la norma ASTM D6110 presentada en el capítulo II, se presentan los resultados obtenidos posteriormente a realizar el ensayo en el lote A de material nuevo sin reciclar y del lote B de material reciclado, estas probetas fueron impresas por medio de impresión 3D del filamento nuevo adquirido y del filamento triturado y extruido.

Las probetas fueron impresas a partir del filamento de PLA de la marca CREALITY del proveedor SAIS 3D

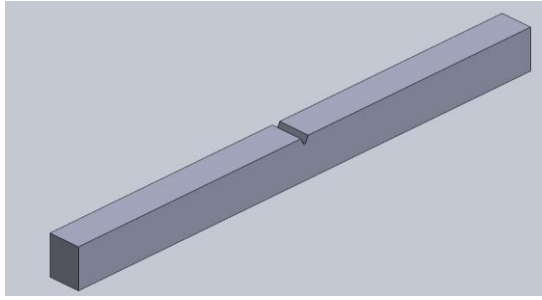


Figura 13-4. Forma de la probeta

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

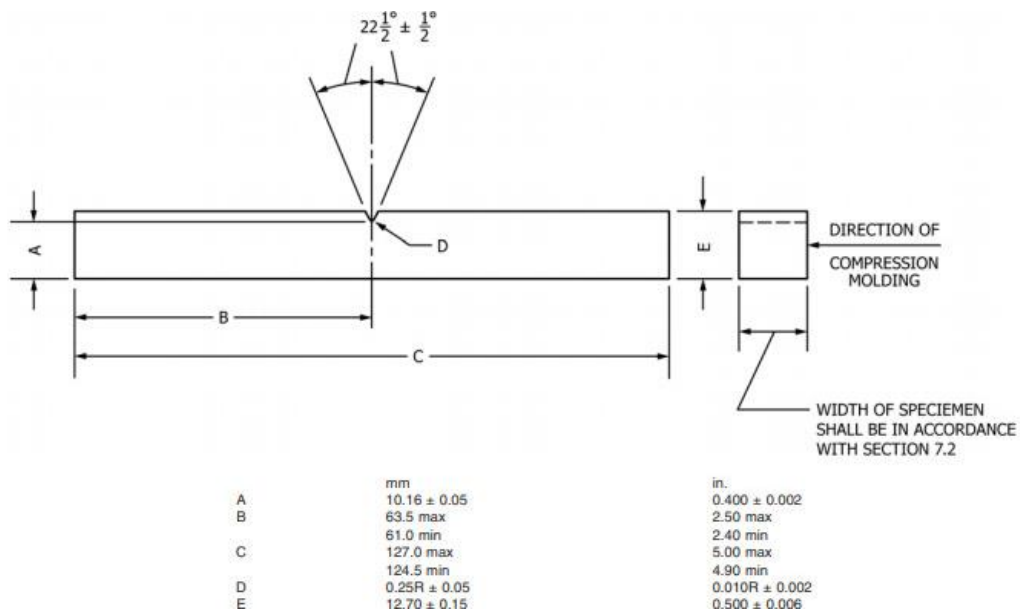


Gráfico 2-4. Dimensiones de la probeta obtenida de la norma ASTM D6110

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Tabla 6-4: Dimensiones de la probeta

Longitud	127
Ancho	8
Espesor	12,7
Angulo de entalladura	$22\frac{1}{2} \pm \frac{1}{2}^\circ$
Profundidad de la entalladura	2,54 mm
Radio de la entalladura	$0,25R \pm 0,05$

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Tabla 7-4: Energía absorbida en el impacto Charpy de las probetas

Probetas de material nuevo lote A		Probetas de material reciclado lote B	
Probeta 1		Probeta 1	
Área de impacto (mm^2):	81,28	Área de impacto (mm^2):	81,28
Energía absorbida (J):	1,30 J	Energía absorbida (J):	1,29 J
Probeta 2		Probeta 2	
Área de impacto (mm^2):	81,28	Área de impacto (mm^2):	81,28
Energía absorbida (J):	1,26 J	Energía absorbida (J):	1,2 J
Probeta 3		Probeta 3	
Área de impacto (mm^2):	81,28	Área de impacto (mm^2):	81,28
Energía absorbida (J):	1,23 J	Energía absorbida (J):	1,16 J
Probeta 4		Probeta 4	
Área de impacto (mm^2):	81,28	Área de impacto (mm^2):	81,28
Energía absorbida (J):	1,31 J	Energía absorbida (J):	1,19 J
Probeta 5		Probeta 5	
Energía absorbida (J):	81,28	Área de impacto (mm^2):	81,28
Energía absorbida (J):	1,24 J	Energía absorbida (J):	1,14 J
Probeta 6		Probeta 6	
Energía absorbida (J):	81,28	Área de impacto (mm^2):	81,28
Energía absorbida (J):	1,28	Energía absorbida (J):	1,17 J

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

Procesamiento de datos

Obtención de la resiliencia mediante la fórmula:

$$K = \frac{Ea}{A}$$

$Ea =$ energía absorbida ($kgf \times m$)

$A:$ Área de impacto (cm^2)

Tabla 8-4: Resiliencia de las probetas

Resiliencia de material nuevo lote A		Resiliencia de material reciclado lote B	
Probeta 1		Probeta 1	
Resiliencia $\left(\frac{kgf\ m}{cm^2}\right)$	0,1630	Resiliencia $\left(\frac{kgf\ m}{cm^2}\right)$	0,1617
Probeta 2		Probeta 2	
Resiliencia $\left(\frac{kgf\ m}{cm^2}\right)$	0,1579	Resiliencia $\left(\frac{kgf\ m}{cm^2}\right)$	0,1504
Probeta 3		Probeta 3	
Resiliencia $\left(\frac{kgf\ m}{cm^2}\right)$	0,1542	Resiliencia $\left(\frac{kgf\ m}{cm^2}\right)$	0,1454
Probeta 4		Probeta 4	
Resiliencia $\left(\frac{kgf\ m}{cm^2}\right)$	0,1642	Resiliencia $\left(\frac{kgf\ m}{cm^2}\right)$	0,1492
Probeta 5		Probeta 5	
Resiliencia $\left(\frac{kgf\ m}{cm^2}\right)$	0,1555	Resiliencia $\left(\frac{kgf\ m}{cm^2}\right)$	0,1429
Probeta 6		Probeta 6	
Resiliencia $\left(\frac{kgf\ m}{cm^2}\right)$	0,1605	Resiliencia $\left(\frac{kgf\ m}{cm^2}\right)$	0,1467
Promedio	0,1592	Promedio	0,1493

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

La resiliencia del lote A en comparación al lote B presenta una diferencia de $0,0099\left(\frac{kgf\ m}{cm^2}\right)$



Figura 14-4. Probetas de PLA de material nuevo lote A antes de realizar el ensayo

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)



Figura 15-4. Probetas de PLA de material reciclado lote B antes de realizar el impacto Charpy

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

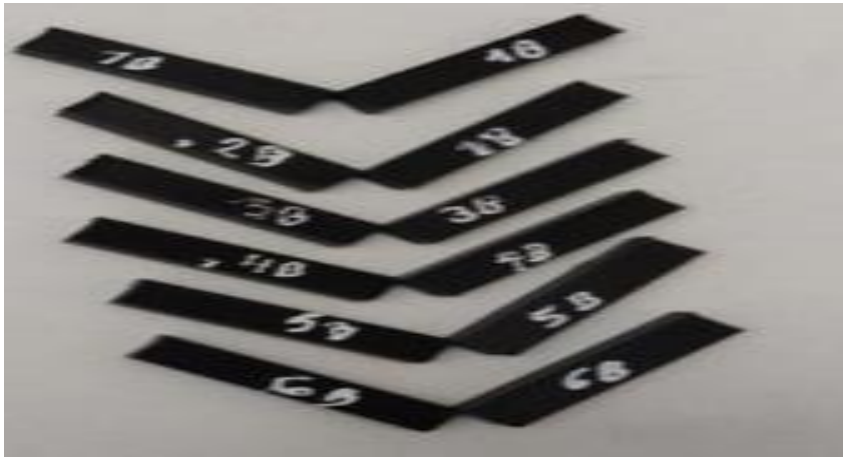


Figura 16-4. Probetas de PLA de material nuevo lote A después de realizar el impacto Charpy

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)



Figura 17-4. Probetas de PLA de material reciclado lote B después de realizar el impacto Charpy

Realizado por: (Betancourt, J., Cruz, W., 2021)

CONCLUSIONES

- Se logró diseñar la máquina extrusora de filamentos para impresiones 3D, realizando cálculos ingenieriles presentados en el capítulo III, iniciando con el dimensionamiento del tornillo que es la parte fundamental para poder continuar con el diseño, posteriormente se diseñaron los demás elementos constituyentes de la extrusora, logrando obtener un factor de seguridad de 1,874 para el tornillo y un factor de seguridad de 43 para la estructura.
- Para la selección de materiales se utilizó el programa Ces-Edupack logrando obtener materiales adecuados, optimizando recursos y cumpliendo con los requerimientos necesarios para esta aplicación, el control de temperatura se programó mediante arduino permitiéndonos controlar de forma más estable con una tolerancia mínima de $\pm 1^\circ\text{C}$ al valor seteado de la máquina.
- Se realizó el protocolo de pruebas de la máquina, logrando obtener la tabla de parámetros para extrusión de filamentos con diámetros 1,75 y 3 mm. Los ensayos realizados de impacto Charpy nos dio como resultado que para las probetas impresas a partir de material nuevo lote A presentan una resiliencia promedio de $0,1592 \frac{\text{kgf m}}{\text{cm}^2}$, mientras que las probetas de material reciclado lote B presentan una resiliencia promedio de $0,1493 \frac{\text{kgf m}}{\text{cm}^2}$, concluyendo que el material PLA puede ser reutilizado sin llegar a afectar de manera significativa sus propiedades referentes a impacto.

RECOMENDACIONES

- Realizar el precalentamiento del equipo antes de encender el motor para evitar atascamientos debido al material solidificado interiormente.
- Se recomienda utilizar el material PLA frente al ABS, debido a que el PLA al momento de extruirlo no presenta emanación de gases tóxicos para el usuario llegando a ser más amigable con el ambiente.
- Como complemento a este trabajo se puede realizar el diseño y construcción de una trituradora para materiales termoplásticos de diferentes tamaños de trituración.
- Para realizar una extrusión en menor tiempo, se puede variar la velocidad del tornillo o aumentar la potencia de las resistencias eléctricas.
- Se recomienda utilizar una boquilla con diámetro 1,75 mm debido a que esta medida es más comercial en comparación a la de diámetro 3 mm.

GLOSARIO

Ensayo de impacto: es el método para determinar el comportamiento del material sometido a la carga de choque en la flexión, tracción o torsión. La cantidad que se suele medir es la energía absorbida al romper la probeta en un único golpe. (Díaz, et al., 2018, p.267)

Extrusora: son máquinas industriales que aplican presión sobre medios sólidos y viscosos para forzar su paso a través de la abertura de una boquilla. (Callister et al., 2016: p.124)

Filamento: es un bioplástico degradable procedente del maíz, que no contiene metales pesados, ftalatos o BPA. (Fabela, et al., 2013, p.57)

Metodología QFD: Identifica las necesidades y expectativas de los clientes, tanto externos como internos. Priorizar la satisfacción de estas expectativas en función de su importancia. (Pat, 2001, p.431)

Propiedades mecánicas: son las que describen el comportamiento de un material ante las fuerzas aplicadas sobre él, por eso son especialmente importantes al elegir el material del que debe estar construido un determinado objeto. (Pat, 2001, p.431)

BIBLIOGRAFÍA:

ARIAS, Moab & LÓPEZ, Diego. Estudio de la resistencia al impacto del acrilonitrilo butadieno estireno ABS y ácido polilactico PLA fabricado mediante impresora 3D [En línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador. 2021. pp. 10-80. [Consulta: 01 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15115/1/15T00765.pdf>

ASKELAND, D. *Ciencia e Ingeniería de los materiales*. 7^{ma} ed. D.F México - México: Thomson, 2004, pp. 687-712.

BELTRAN, Maribel; & MARCILLA, Antonio. *Tecnología de polímeros*. San Vicente : Universidad de Alicante, 2012.

BERRAL, I. *Equipos microinformaticos*. Madrid : Paraninfo, 2016. [Consulta: 10 junio 2021]. Disponible en: [https://www.ticarte.com/contenido/conceptos-generales-sobre-equipos-microinformaticos#:~:text=Los%20equipos%20microinform%C3%A1ticos%20\(microcomputers\)%20aquellos,%2C%20routers%2C%20switches%2C%20etc](https://www.ticarte.com/contenido/conceptos-generales-sobre-equipos-microinformaticos#:~:text=Los%20equipos%20microinform%C3%A1ticos%20(microcomputers)%20aquellos,%2C%20routers%2C%20switches%2C%20etc).

BRUSIL ANDRADE, María José, & CIFUENTES MUÑOZ , Alexis Germán. Diseño, construcción e implementación de un pendulo charpy para analizar la resistencia al impacto en polímeros de acuerdo a la norma ASTM [En línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad de las Fuerzas Armadas, Rumiñahui - Ecuador. 2017. pp. 1-173. [Consulta: 03 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13358/1/T-ESPE-057313.pdf>.

CADENA, Francisco; & QUIROZ, Francisco. Manual de Reciclaje de Plásticos. Quito : Corporación Oikos, 2000. p. 18. 2017

CALLISTER, W. *Ciencia e ingeniería de materiales* [en línea]. Barcelona - España: Reverté, 2016.

CHAKRAVORTY, Dibya. *ALL3DP*. [en línea]. [Consulta: 14 de Junio 2020]. Disponible en: <https://all3dp.com/1/cura-tutorial-software-slicer-cura-3d/>.

ASTM D6110-18. *Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics*.

GARCIA, R; et al. "Design of an extrusion machine for the manufacture of plastic tubes". The electronical society [en línea], 2019, 1257,(1), pp.1-9. [Consulta: 18 agosto 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/334079260_Design_of_an_extrusion_machine_for_the_manufacture_of_plastic_tubes

DÍAZ, Vicente; et al. *Mecánica de Materiales teoría y aplicaciones*. DF México, México: Patria Educación, 2018. pp.233-284.

FABELA, Manuel; et al. *La extensimetría como técnica de medición experimental*. Querétaro : Sanfandilla, 2013.[Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=276&IdBoletin=92>

FAJARDO, J & COBOS, C. Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca EMAC 2011 [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11164/1/Diseno%20de%20un%20sistema%20de%20extrusion%20peletizado%20para%20el%20procesamiento%20de%20los%20residuos%20plasticos%20para%20la%20Empresa%20Municipal%20de%20Aseo%20de%20Cuenca%20EMAC.pdf>.

FLORES SALAZAR, Leonel Ismael. Máquina extrusora para reciclaje de plástico. [En Línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. 2013. pp. 1-88. [Consulta: 28 julio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3523/1/04%20MEC%20022%20TESIS.pdf>.

GARCÍA ACEVEDO, Carlos Alberto. Diseño de una extrusora para filamento de impresión 3D [En Línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. 2015. pp. 12 - 50. [Consulta: 28 junio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/135054/Diseno-de-una-extrusora-para-filamento-de-impresion-3D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

GUTIÉRREZ PAREDES, Carlos Andrés & VARGAS AYALA, Luis Enrique. Diseño y fabricación de una máquina extrusora para crear el filamento de la impresora 3D a partir del material plástico [En Línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. pp.05-107. [Consulta: 28 julio 2021]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/7922/1/85T00470.pdf>

HXX. *Blog de HXX* [en línea]. [Consulta: 22 abril 2021]. Disponible en: <http://hxx.es/2015/03/12/materiales-de-impresion-3d-i-pla-acido-polilactico/#:~:text=El%20PLA%20es%20en%20su,para%20otros%20productos%20no%20alimenticios>.

IMPRIMALIA3D. Imprimalia3D. [en línea]. [Consulta: 22 enero 2021]. Disponible en: <http://imprimalia3d.com/noticias/2016/01/21/005676/caja-filamentos-impresi-n-3d-suscripci-n-mensual>.

JIA AO, S. [en línea]. [Consulta: 10 junio 2021]. Disponible en: <https://m.es.aliexpress.com/i/32823464933.html>.

KALPAKJIAN, S. *Fundamentos de Manufactura Moderna*. DF México, México: McGraw-Hill, 2007.

LANZA, S. *Estudio del reciclaje de polímeros para la impresion 3D*. Cantabria : Imprimalia, 2015. [Consulta: 08 Junio 2021]. Disponible en: <http://imprimalia3d.com/recursosimpresion3d/estudio-del-reciclaje-pol-meros-impresi-n-3-d-caracterizaci-n-del-pla>

LANZOTTI, A et al. "A comparison between mechanical properties of specimens 3D printed with virgin and recycled PLD". *ScienceDirect*, 79, (2019), (Italia) pp.143-146.

LOMBARD LEANDRO, Cesar Cristobal. Extrusora de filamentos poliméricos [En Línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. 2019. pp.10-98. [Consulta: 22 Octubre 2019]. Disponible en: <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/384/LCCLombardi-TFG-IEe-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

LUNA, J & VALADEZ, B. *Elaboración de filamentos de PLA*. Villa de Alvarez : s.n., 2016. [Consulta: 22 Octubre 2019]. Disponible en: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/disen-de-una-maquina-de-termoconformados-para-la-fabricacion-de

MANUEL, Franco. & MEDINA, Carlos. Extrusora de plásticos para fabricacion de filamento de impresora 3D [En Línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad de la Laguna, España. 2015. pp.10-87. [Consulta: 15 julio 2019]. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/836/Extrusora+de+plasticos+para+fabricacion+de+filamento+de+impresora+3D..pdf?sequence=1>.

MÉDICO BRAVO, Alejandro Javier. Propiedades mecánicas de componentes fabricados mediante modelado por deposición fundida [En Línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad de la Laguna, España. 2017. pp.20-76. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/5823>.

MOLINA OSEJOS, Jaime Vinicio. Caracterización de materiales termoplásticos de Abs y Pla semi – rígidos impresos. [En Línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2017. pp.20-90. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/13064>.

MONTALVO, L. *Plásticos industriales y su procesamiento*. Buenos Aires, Argentina: El Cid Editor, 2007.

MORALES ILE, Rosa Jimena. Diseño y construcción de una maquina recicladora y extrusora de plástico PLA para el observatorio astronómico de Quito de la EPN [En Línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2018. pp.10-98. [Consulta: 10 junio 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19803/1/CD-9213.pdf>

MORALES, J. *Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos.* Mexico : Trillas, 2010, pp. 153-257.

NUÑEZ, CARLOS; et al. *Comportamiento mecánico de los materiales* [en línea]. Madrid - España: Publicacions i Edicions, 2004. [Consulta: 03 mayo 2021]. Disponible en: <http://www.publicacions.ub.edu/refs/indices/07452.pdf>

ORTIZ ABATA, Cristian Fabian. Diseño y Construcción de una máquina extrusora de filamentos de 1.75mm y 3 mm para impresoras 3D, a partir de polimero reciclado [En Línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, Ecuador. 2018. pp.11-80. [Consulta: 10 junio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec:8080/bitstream/21000/14935/1/T-ESPEL-MEC-0144.pdf>

PACHECO CARPIO, Gustavo Ismael. Análisis de tracción de probetas impresas en 3d mediante deposición de hilo [En Línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2018. pp.10-90. [Consulta: 09 junio 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17123/1/UPS-CT008182.pdf>.

PARRA BRITO, Rodrigo Nicolas. Diseño de extrusora de filamento para impresión 3D a partir de plásticos reciclados [En Línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica Federico Santa María., Santiago de Chile, Chile. 2017. pp.09-97. [Consulta: 09 junio 2021]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/40932/3560902038562UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CRUZ, F, et al. "Plastic recycling in additive manufacturing: A systematic literature review and opportunities for the circular economy". *Journal of Cleaner Production* [en línea], 2020, (Francia), 264 (1), pp. 2-14. [Consulta: 19 octubre 2020]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0959652620316498?token=A4B2A21D316D8B347089AE40C4E33304D85C4A679F4F0A445095CE6B835419DC161D3E3B2BBCAADD6C355400E773FEF5&originRegion=us-east-1&originCreation=20220315231153>

SABGORODNY, V. *Transformación de plásticos.* Barcelona : Gustavo Gili, 1973.

SANARA. *Resistencias de abrazadera* [en línea]. [Consulta: 19 Diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.sanarasa.com/resistencias-de-abrazadera/.1973>.

SRC. *Reguladores e indicadores de temperatura y procesos* [en línea]. [Consulta: 19 enero 2021]. Disponible en: <https://srsl.com>.

TODOENPOLIMERO. *Polímeros termoplásticos* [en línea]. [Consulta: 19 junio 2021]. Disponible en: <https://todoenpolimeros.com/2016/12/07/polimeros-termoplasticos/>.

TUDOU. [en línea]. [Consulta: 09 junio 2021]. Disponible en: <https://new-play.tudou.com/v/617713348.html>.

VÉLEZ, Edwin & TUBÓN, Orlando. Diseño y construcción de un extrusor de tornillo para la obtención de pellets de botellas plásticas de pet recicladas [En Línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2014. pp.10-98. [Consulta: 01 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3506/1/96T00259%20UDCTFC.pdf>.

VERDÚ MOYA, Giordano. Estudio, diseño, simulación y optimización de una matriz de extrusión de plástico [En Línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universitat Politècnica de València, D' Alcoi: España. 2016. pp. 10-90. [Consulta: 02 mayo 2021]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/72723/MOYA%20-%20Estudio,%20dise%C3%B1o,%20simulaci%C3%B3ny%20optimizaci%C3%B3nde%20una%20matriz%20de%20extrusi%C3%B3nde%20pl%C3%A1stico..pdf?sequence=1>.

WUHAN ZEIQI PLASTIC MACHINERY PRODUCT CO.LTD. 2020. [en línea]. [Consulta: 19 junio 2021]. Disponible en: <https://m.spanish.alibaba.com/p-detail/small-movable-single-screw-extruder-60708797099.html?s=p>.

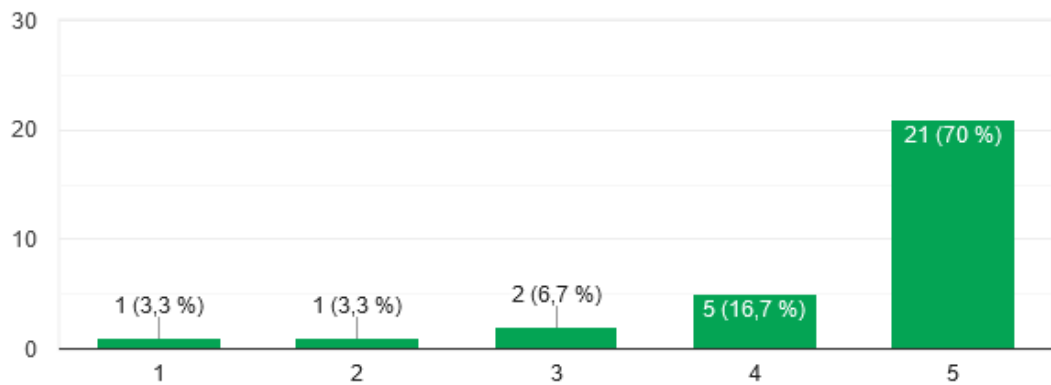
ANEXOS

ANEXO A. ECUESTAS REALIZADAS

1. ¿Considera usted que la potencia es un factor importante para el rendimiento de una máquina extrusora de filamentos?

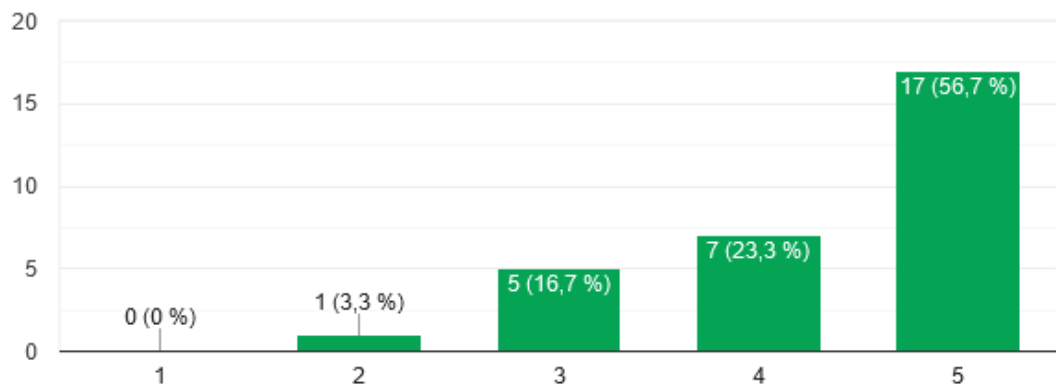


30 respuestas



2. ¿ Que tan considerable es la capacidad de procesamiento en una máquina extrusora de filamentos?

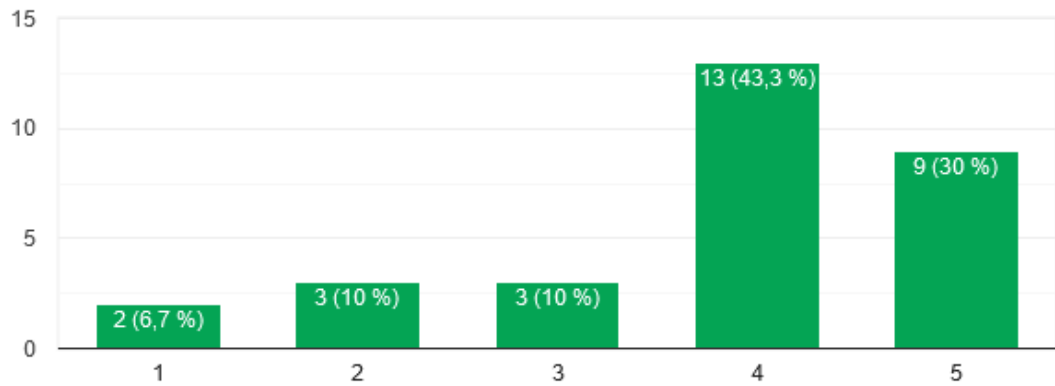
30 respuestas



3. ¿Que tan relevante es la velocidad de operación en una máquina extrusora de filamentos?



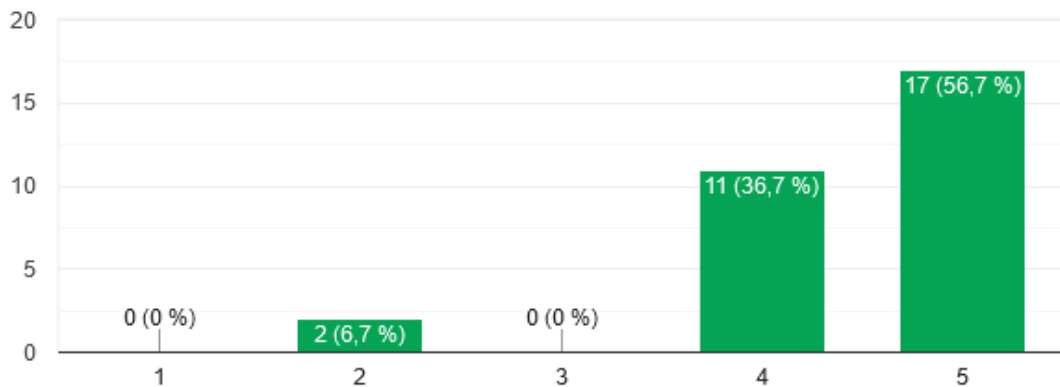
30 respuestas



4. ¿Considera que el nivel de ruido es perjudicial y se debería tomar en cuenta en una máquina extrusora de filamentos?



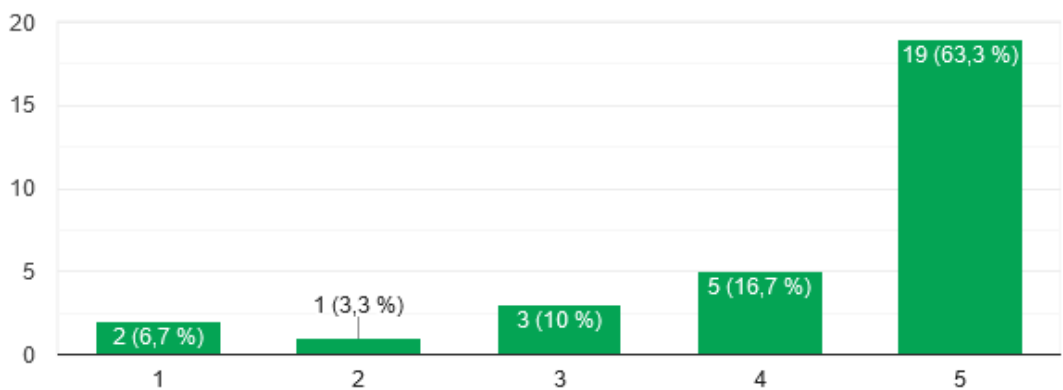
30 respuestas



5. ¿Qué tan importante es para usted la seguridad para el usuario al momento de poner en operación una extrusora de filamentos?



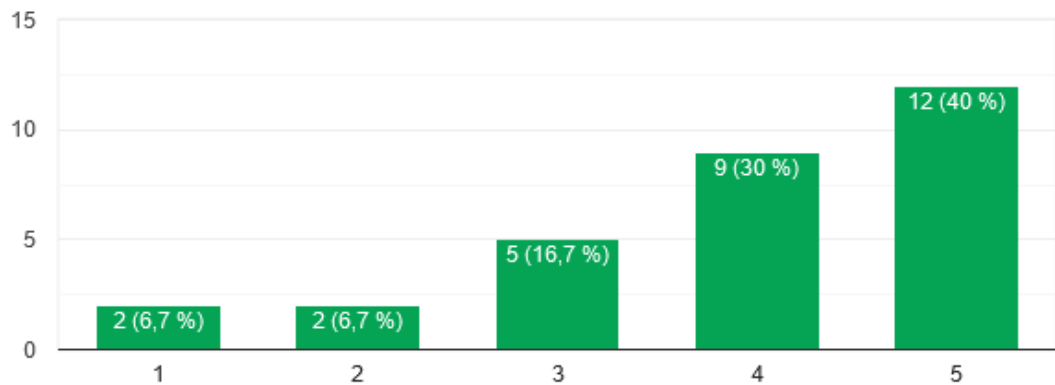
30 respuestas



6. ¿Considera que la configuración de la unidad recolectora en una máquina extrusora de filamentos ayuda a mejorar su procesamiento ?



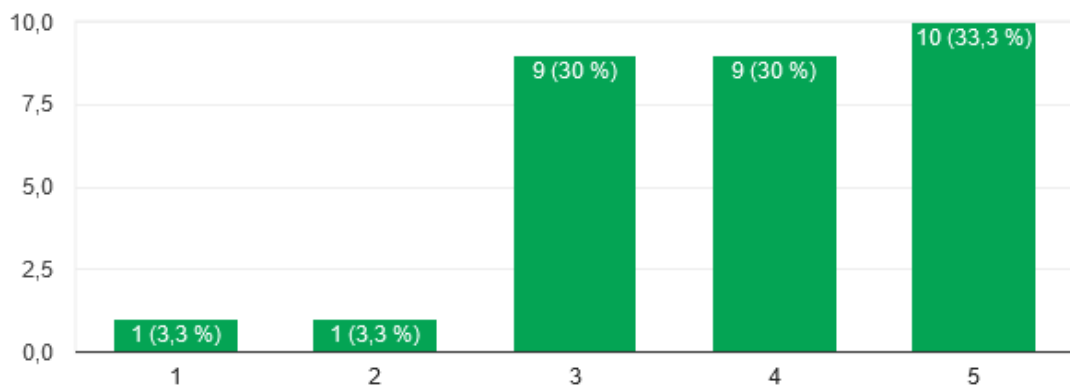
30 respuestas



7. ¿Considera importante que la máquina sea fácil de manejar y con señalética adecuada?



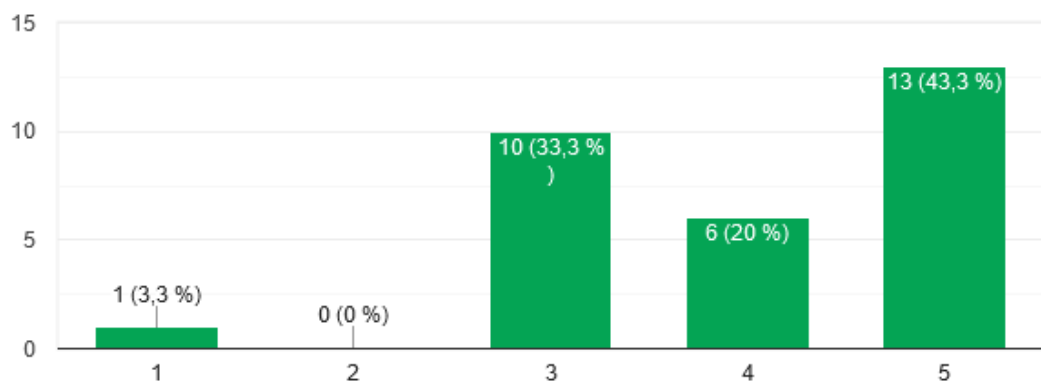
30 respuestas



8. ¿Qué tan relevante es el tiempo de trabajo de la máquina extrusora?



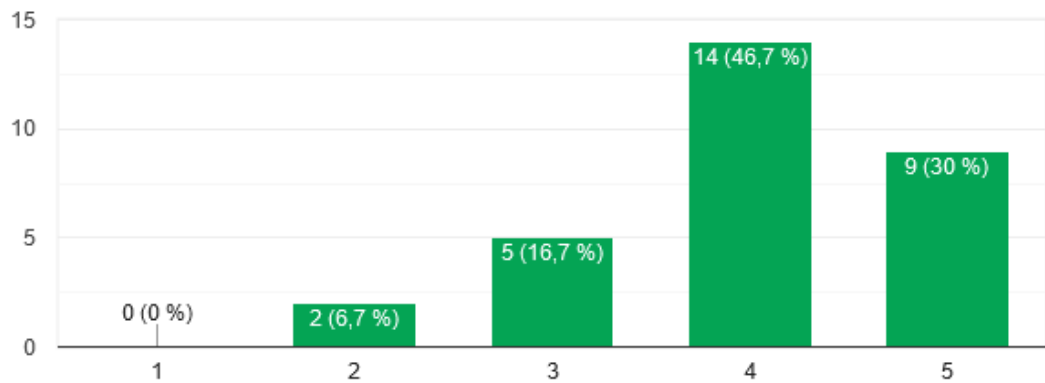
30 respuestas



9. ¿Qué tan representativo es para usted las dimensiones de la máquina?



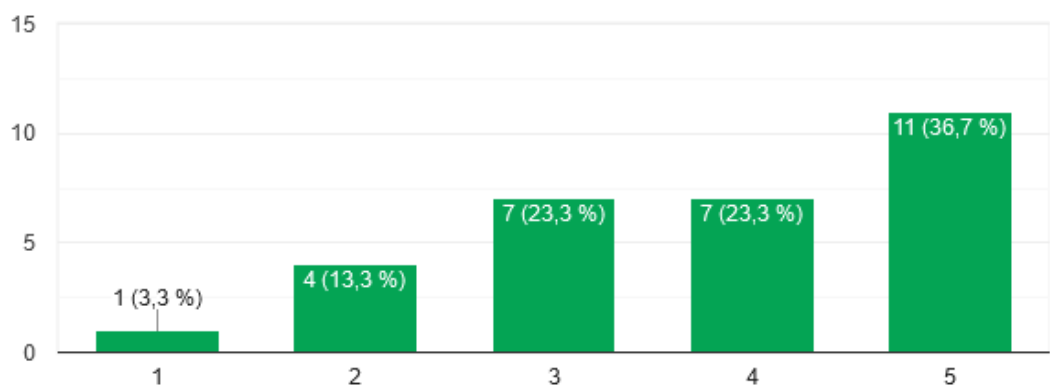
30 respuestas



10. ¿Qué nivel de importancia representa el costo de los componentes de la máquina extrusora ?



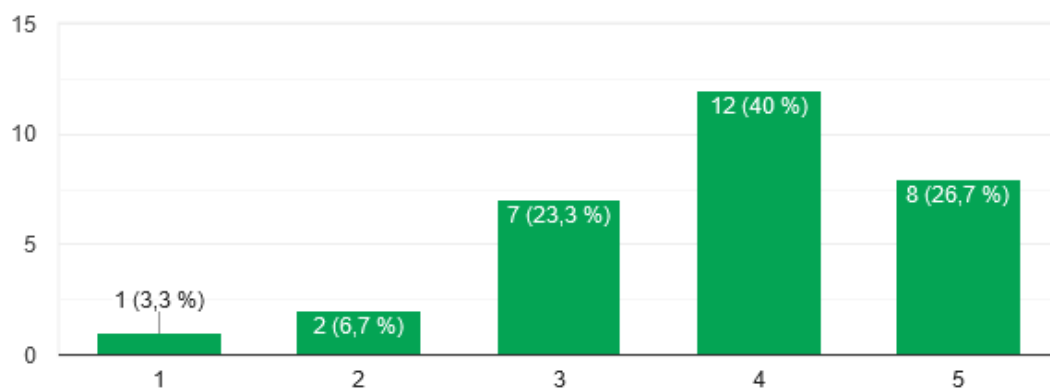
30 respuestas



11. ¿Qué nivel de importancia representa el costo de construcción de la máquina extrusora de filamentos ?



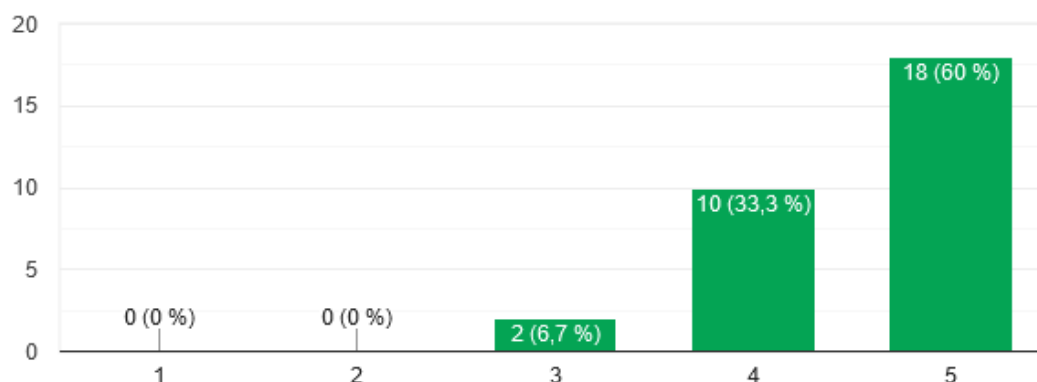
30 respuestas



12. ¿Qué tan influyente es para usted el uso de materiales resistentes y adecuados al momento de adquirir una máquina extrusora ?



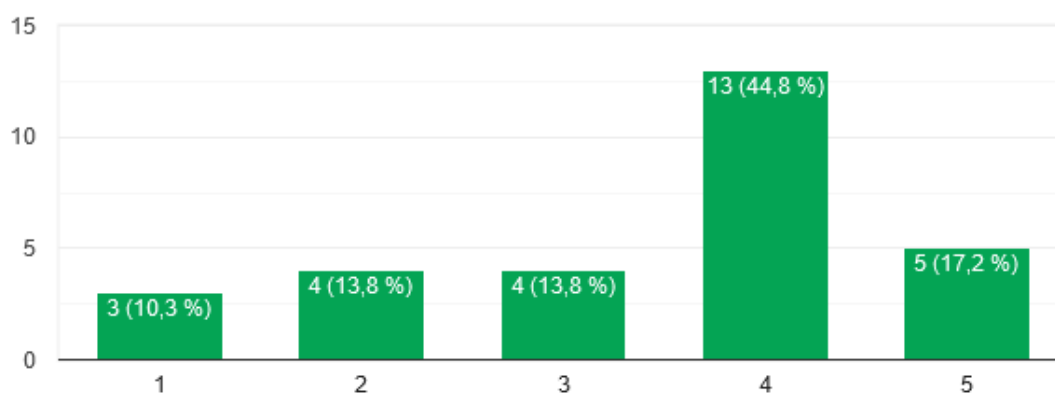
30 respuestas



13. ¿Qué tan representativo es para usted la estética de la máquina extrusora ?



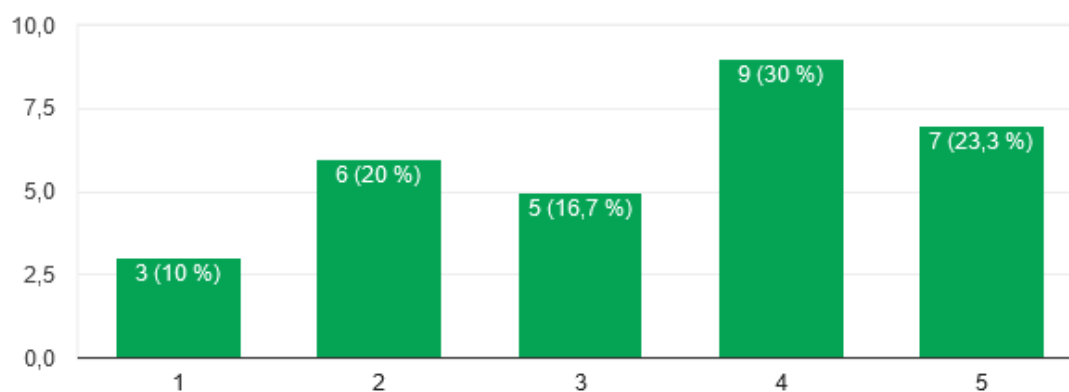
29 respuestas



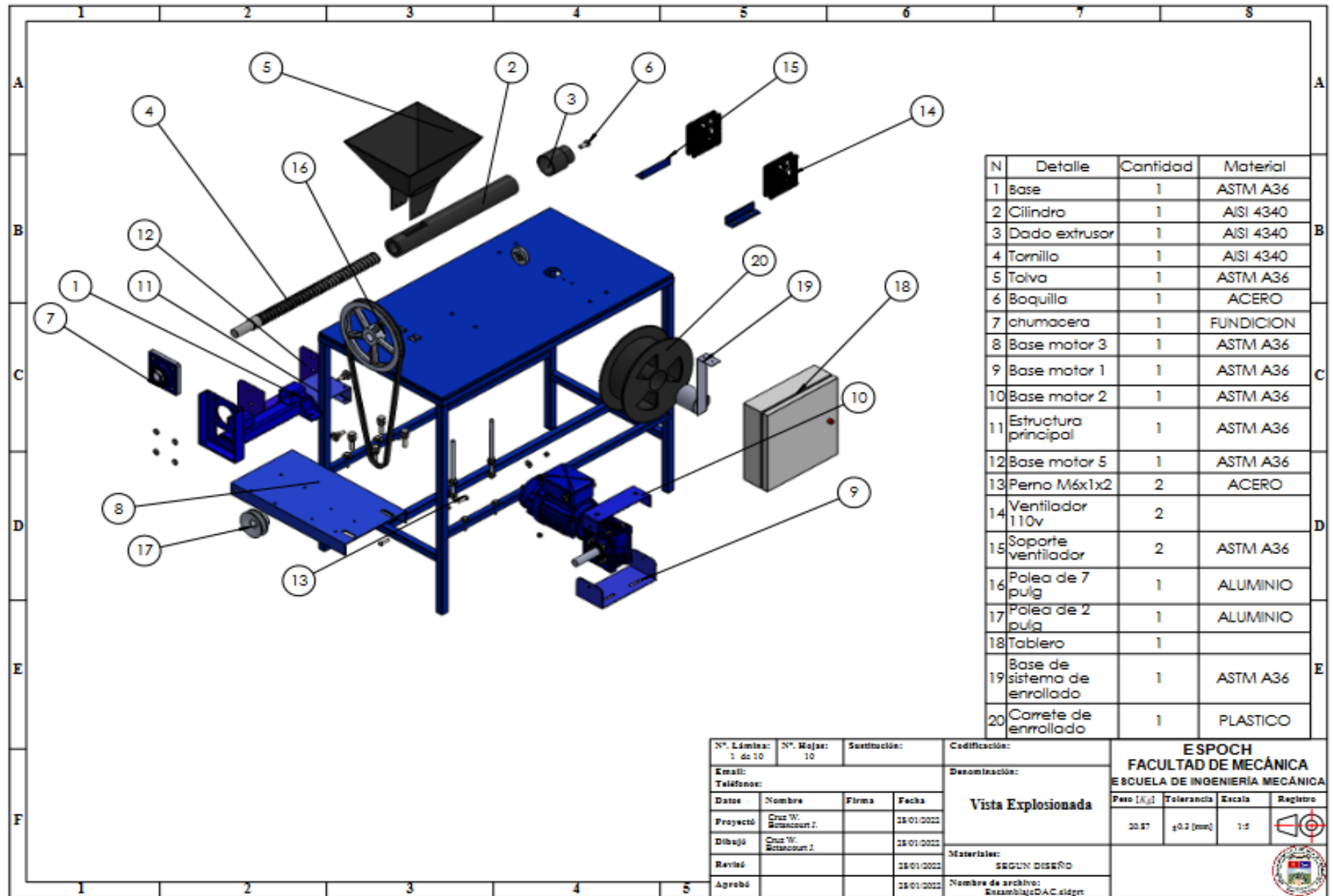
14. ¿Qué nivel de importancia representa para usted la eficiencia en una máquina extrusora de filamentos ?



30 respuestas

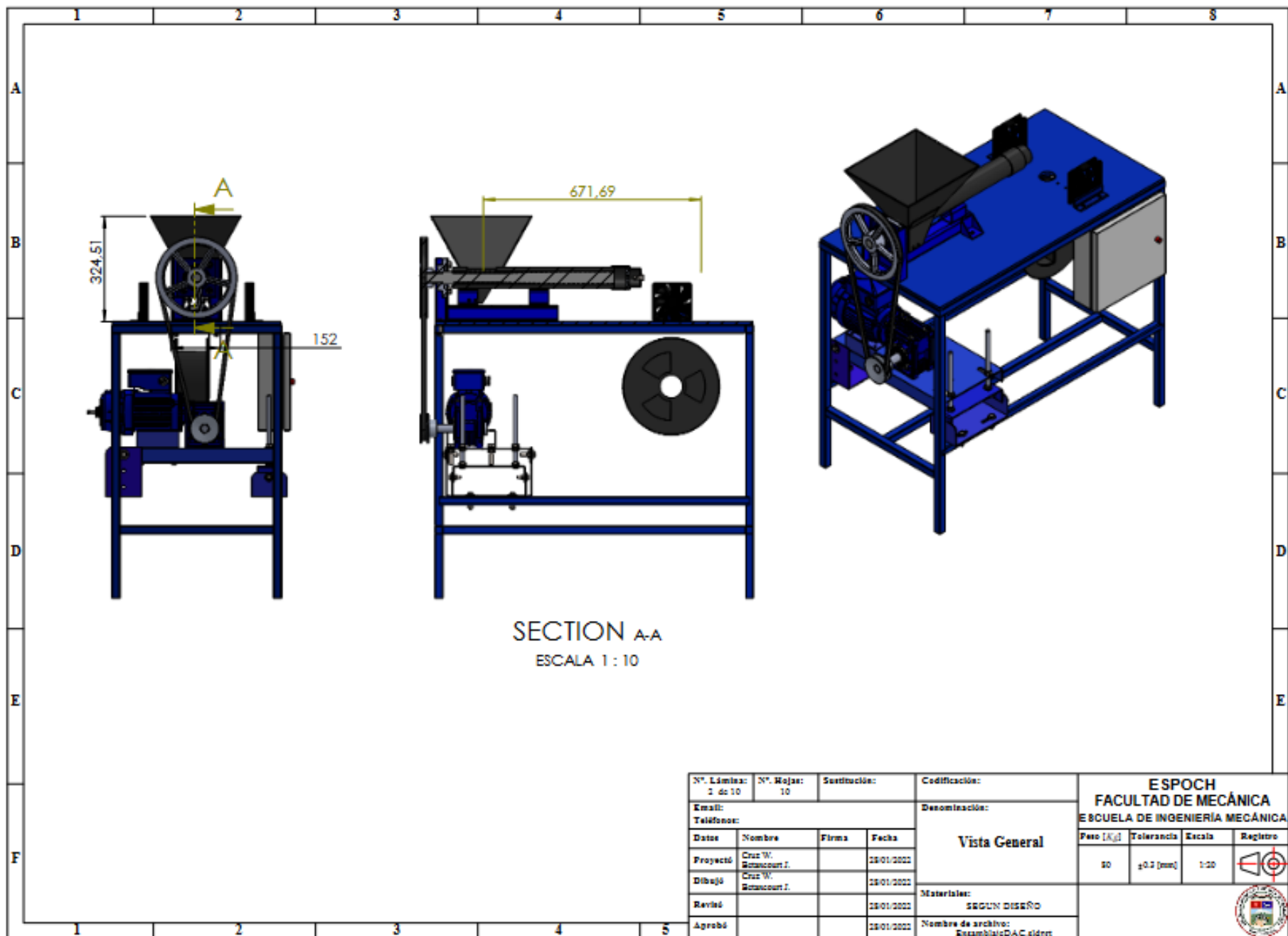


ANEXO B. PLANOS

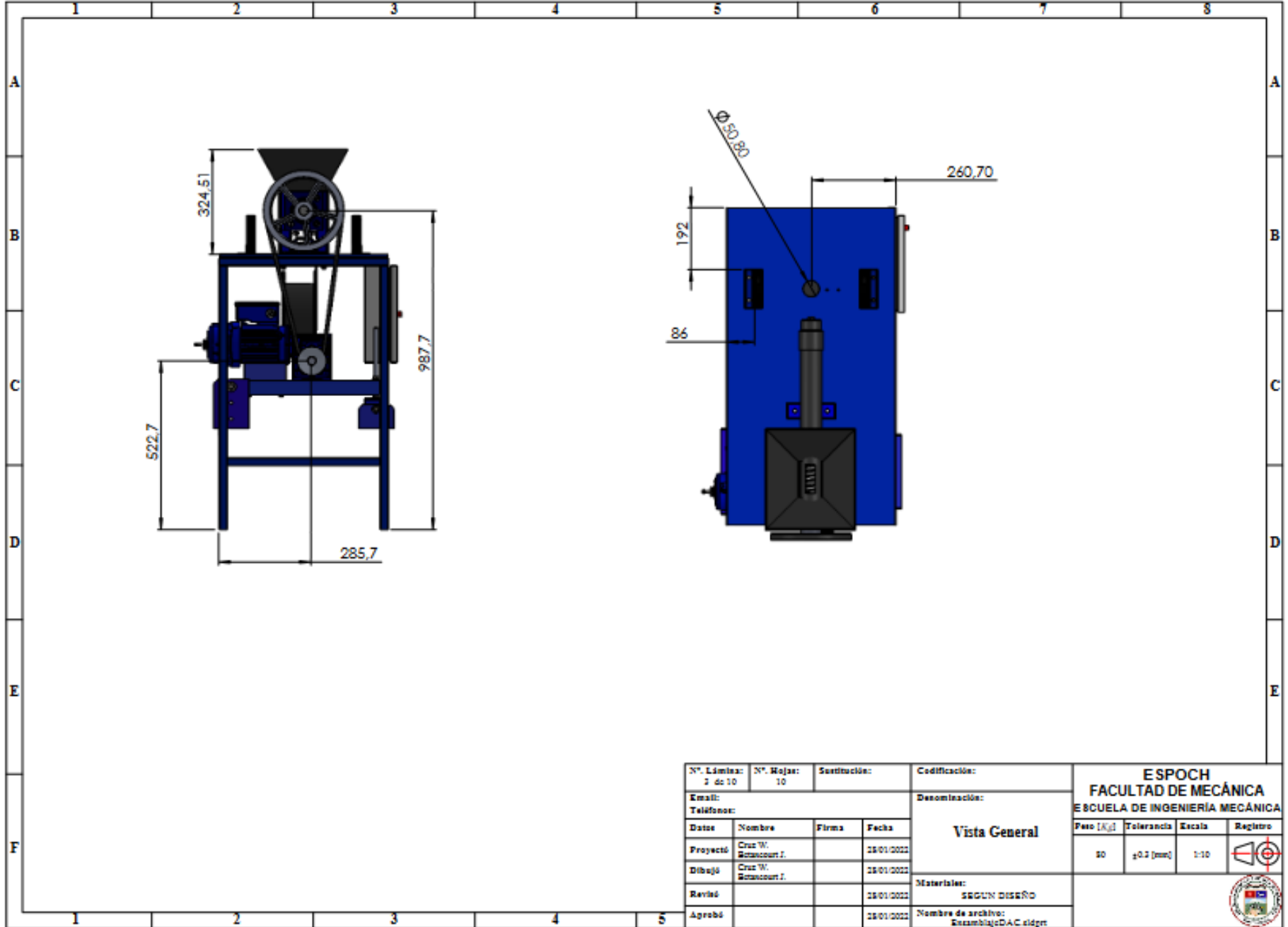


N°. Lámina: 1 de 10	N°. Hojas: 10	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA																							
Email:	Teléfono:		Denominación:																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Fecha</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>28/01/2022</td> <td>Cruz W. Estancourt J.</td> <td></td> <td>28/01/2022</td> </tr> <tr> <td>28/01/2022</td> <td>Cruz W. Estancourt J.</td> <td></td> <td>28/01/2022</td> </tr> <tr> <td>28/01/2022</td> <td></td> <td></td> <td>28/01/2022</td> </tr> <tr> <td>28/01/2022</td> <td></td> <td></td> <td>28/01/2022</td> </tr> </tbody> </table>				Fecha	Nombre	Firma	Fecha	28/01/2022	Cruz W. Estancourt J.		28/01/2022	28/01/2022	Cruz W. Estancourt J.		28/01/2022	28/01/2022			28/01/2022	28/01/2022			28/01/2022	Vista Explosionada			
Fecha	Nombre	Firma	Fecha																								
28/01/2022	Cruz W. Estancourt J.		28/01/2022																								
28/01/2022	Cruz W. Estancourt J.		28/01/2022																								
28/01/2022			28/01/2022																								
28/01/2022			28/01/2022																								
Materiales:				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Peso [Kg]</th> <th>Tolerancia</th> <th>Escala</th> <th>Registro</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20.87</td> <td>±0.2 [mm]</td> <td>1:1</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro	20.87	±0.2 [mm]	1:1													
Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro																								
20.87	±0.2 [mm]	1:1																									
Aprobó:				Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt																							

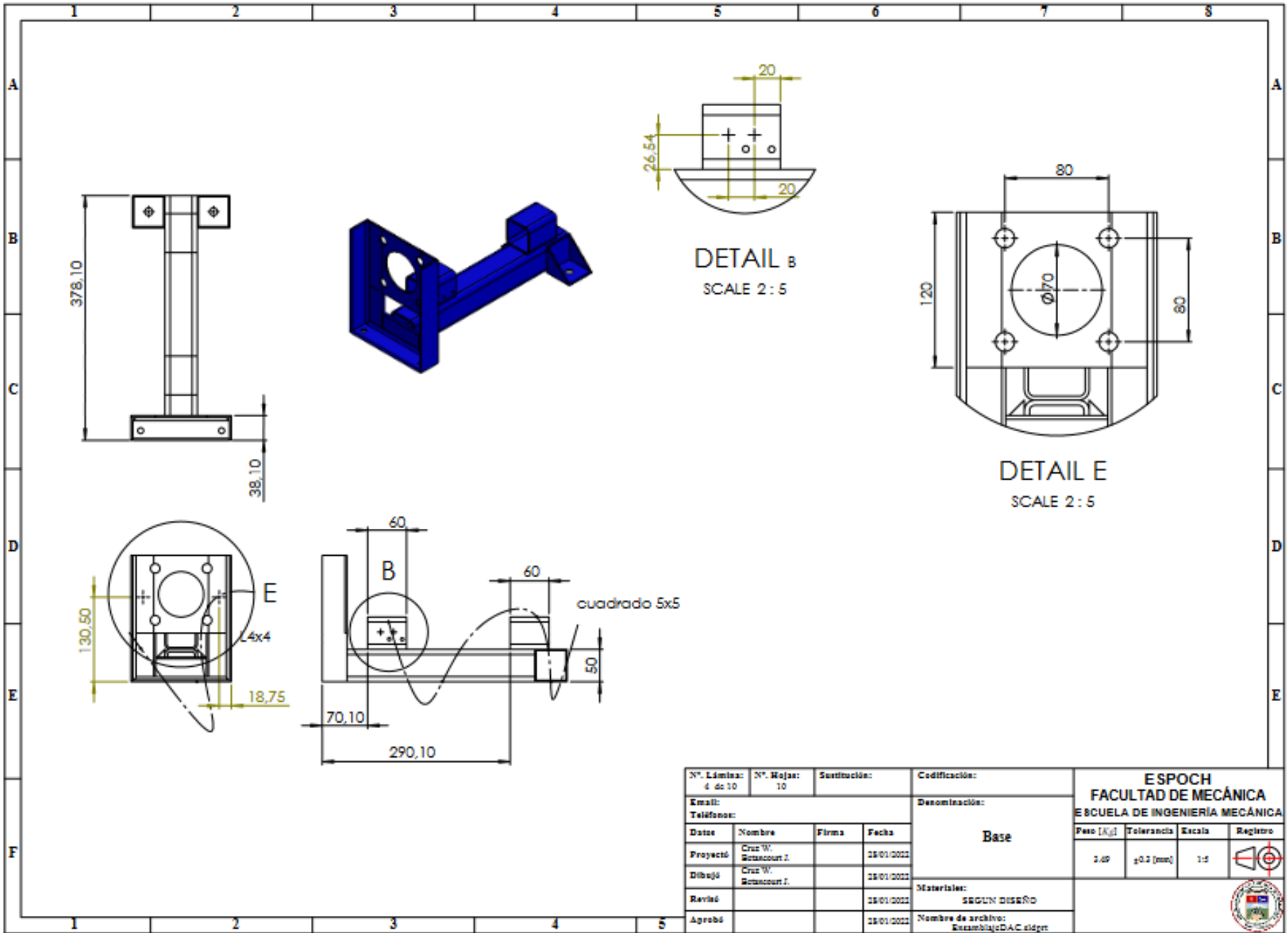




N°. Lámina: 1 de 10	N°. Hojas: 10	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Email: Teléfono:			Vista General		Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó	Nombre Cruz W. Sotomayor J.	Firma			Fecha 28/01/2022	80	±0.2 [mm]	1:20
Dibujó	Cruz W. Sotomayor J.		28/01/2022	Materiales: SEGUN DISEÑO				
Revisó			28/01/2022	Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt				
Aprobó			28/01/2022					

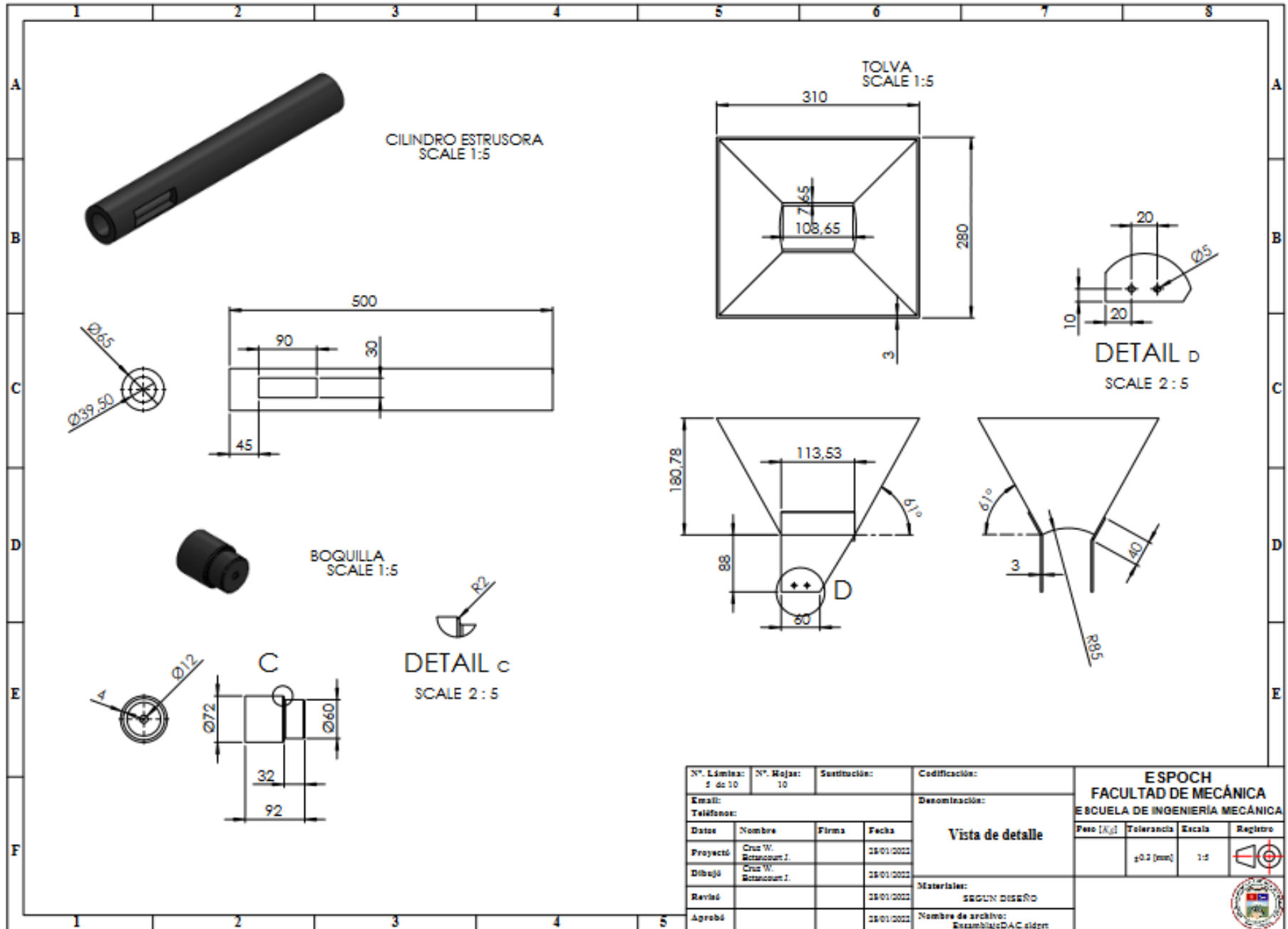


N°. Línea: 2 de 10		N°. Hojas: 10		Sección:		Codificación:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email:		Teléfono:		Denominación:		Vista General					
Date	Nombre	Firma	Fecha	Proyectó		Dibujó		80	±0.2 [mm]	1:10	
	Cruz W. Sotomayor, F.		28/01/2022	Cruz W. Sotomayor, F.		Cruz W. Sotomayor, F.		Materiales: SEGUN DISEÑO Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt			
			28/01/2022								
			28/01/2022								
			28/01/2022								



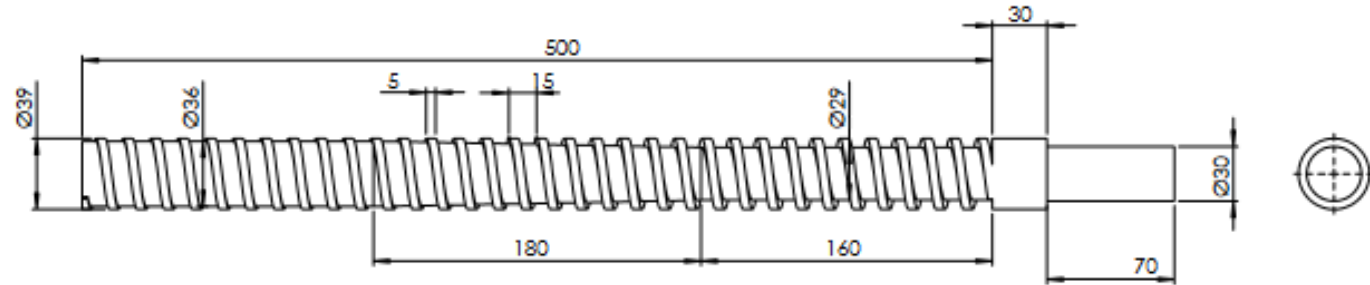
Nº. Lámina: 4 de 10	Nº. Hojas: 10	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
Email:			Denominación:					Peso [Kg]	Tolerancia
Teléfono:			Base		2,69	±0,2 [mm]	1:1		
Datos	Nombre	Firma			Fecha	Materiales:			
Proyectó	Cruz W. Bosancourt J.				18/01/2022	SEGUN DISEÑO			
Dibujó	Cruz W. Bosancourt J.				18/01/2022	Nombre de archivo:			
Revisó					18/01/2022	EnsamblajeDAC.eldet			
Aprobó			18/01/2022						



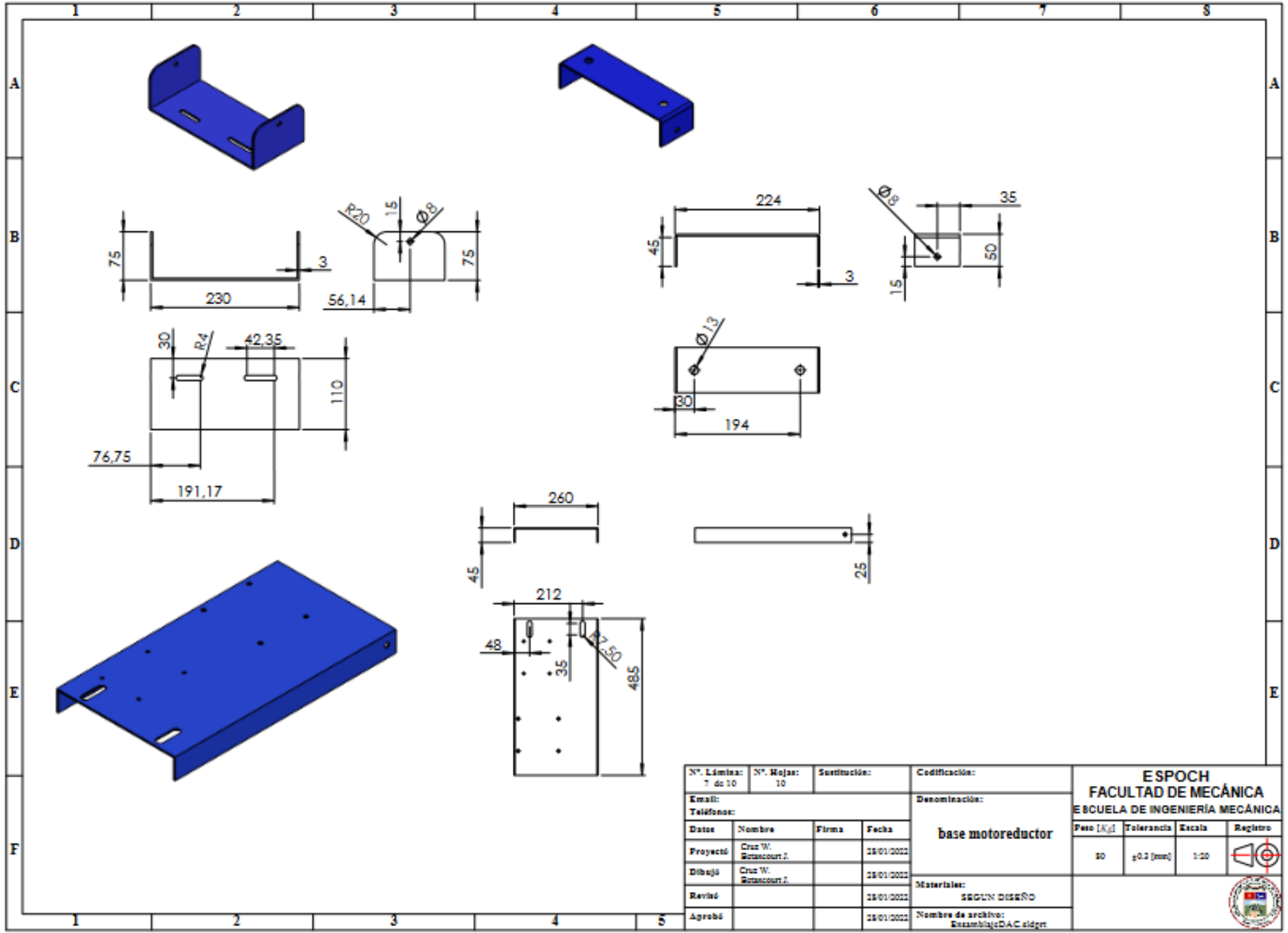


Nº. Lámina: 5 de 10	Nº. Hojas: 10	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfono:			Denominación: Vista de detalle				
Fecha	Nombre	Firma	Fecha	Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó	Cruz W. Batacourt J.		28/01/2022		±0.2 [mm]	1:5	
Dibujó	Cruz W. Batacourt J.		28/01/2022	Materiales: SEGUN DISEÑO			
Revisó			28/01/2022	Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.eldger			
Aprobó			28/01/2022				

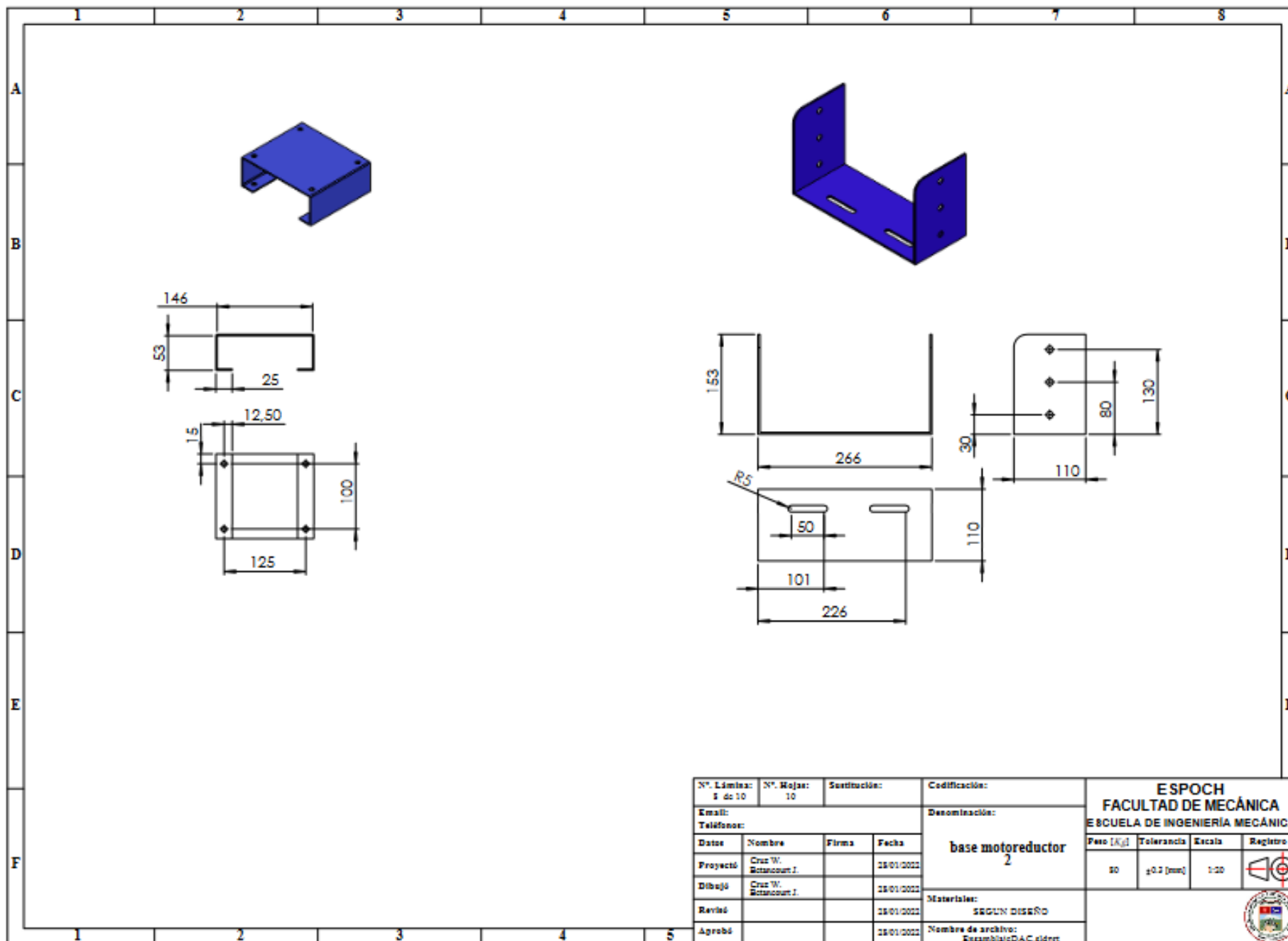
TORNILLO ESTRUSORA
SCALE 1:5




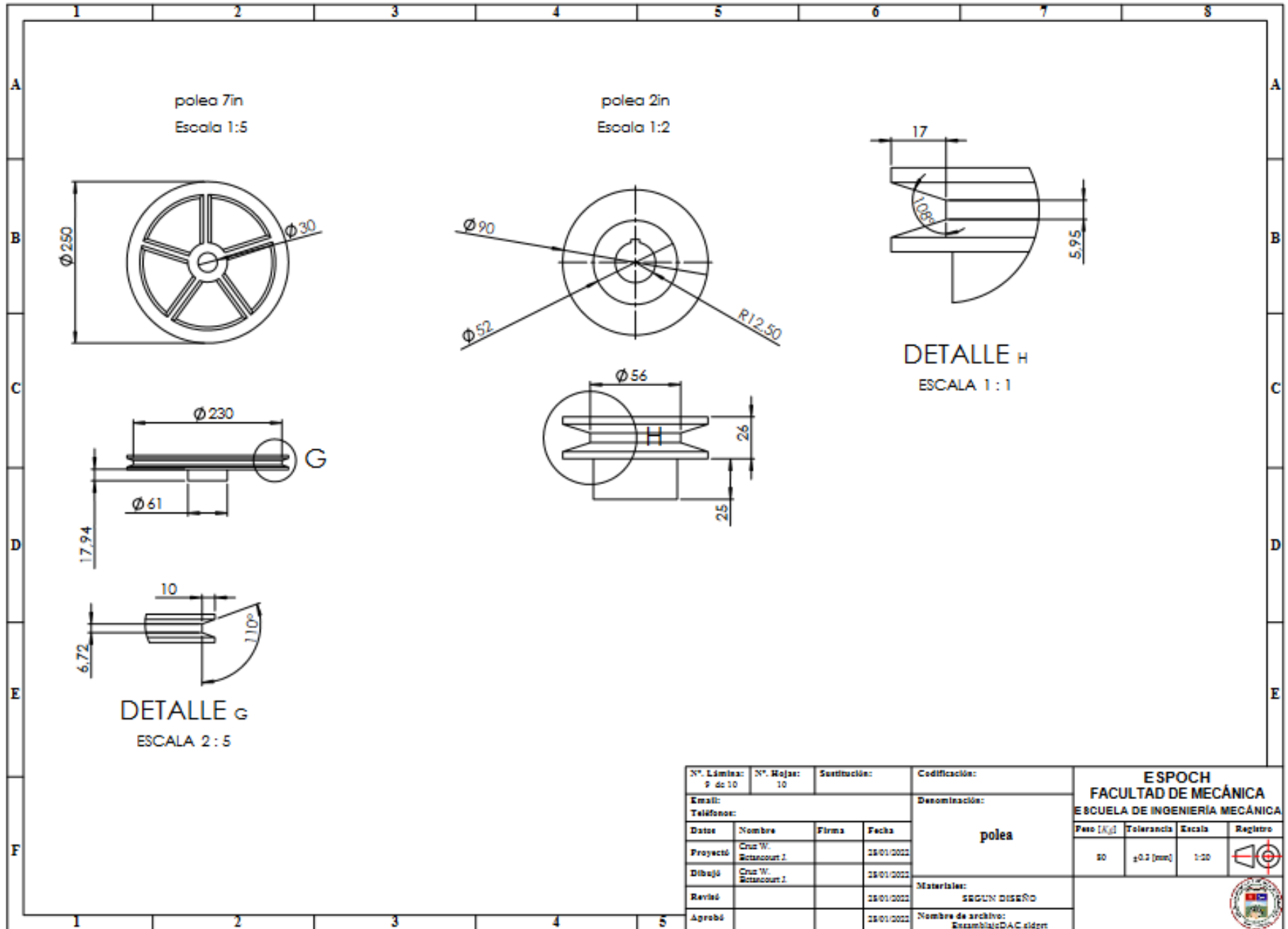
Nº. Láminas: 6 de 10		Nº. Hojas: 10		Sustitución:		Codificación:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA											
Email: Teléfono:				Desomineación:								<table border="1"> <tr> <th>Peso [Kg]</th> <th>Tolerancia</th> <th>Escala</th> <th>Registro</th> </tr> <tr> <td>4.66</td> <td>±0.2 (mm)</td> <td>1:2.5</td> <td></td> </tr> </table>				Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro																
4.66	±0.2 (mm)	1:2.5																	
Fecha		Nombre		Firma		Fecha		Tornillo Materiales: SEGUN DISEÑO Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.ejgbr											
Proyectó		Cruz W. Rosencourt J.				28/01/2022													
Dibujó		Cruz W. Rosencourt J.				28/01/2022													
Revisó						28/01/2022													
Aprobó						28/01/2022													



Nº. Lámina: 7 de 10		Nº. Hojas: 10		Instrucción:		Codificación:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
Email:		Teléfono:		Denominación: base motoreductor		Peso [kg]: 20						Tolerancia: ±0.2 (mm)	
Fecha:		Firma:		Fecha:		Materiales: SEGUN DISEÑO		Registro:					
Proyectó: Cruz W. Rotacourt 1.		Firma:		Fecha: 26/01/2022		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt							
Dibujó: Cruz W. Rotacourt 1.		Firma:		Fecha: 26/01/2022									
Revisó:		Firma:		Fecha: 26/01/2022									
Aprobó:		Firma:		Fecha: 26/01/2022									



N°. Láminas: 1 de 10		N°. Hojas: 10		Sustitución:		Codificación:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email:		Teléfono:		Denominación:		base motoreductor 2						Peso (Kg)		Tolerancia	
Fecha:		Nombre:		Firma:		Fecha:		80		±0,2 (mm)		1:20			
Proyecto:		Cruz W. Estacionar 1.				18/01/2022		Material:		SEGUN DISEÑO					
Diseño:		Cruz W. Estacionar 1.				18/01/2022		Nombre de archivo:		Ensambla\CDAC.alden					
Revisó:						18/01/2022									
Aprobó:						18/01/2022									



polea 7in
Escala 1:5

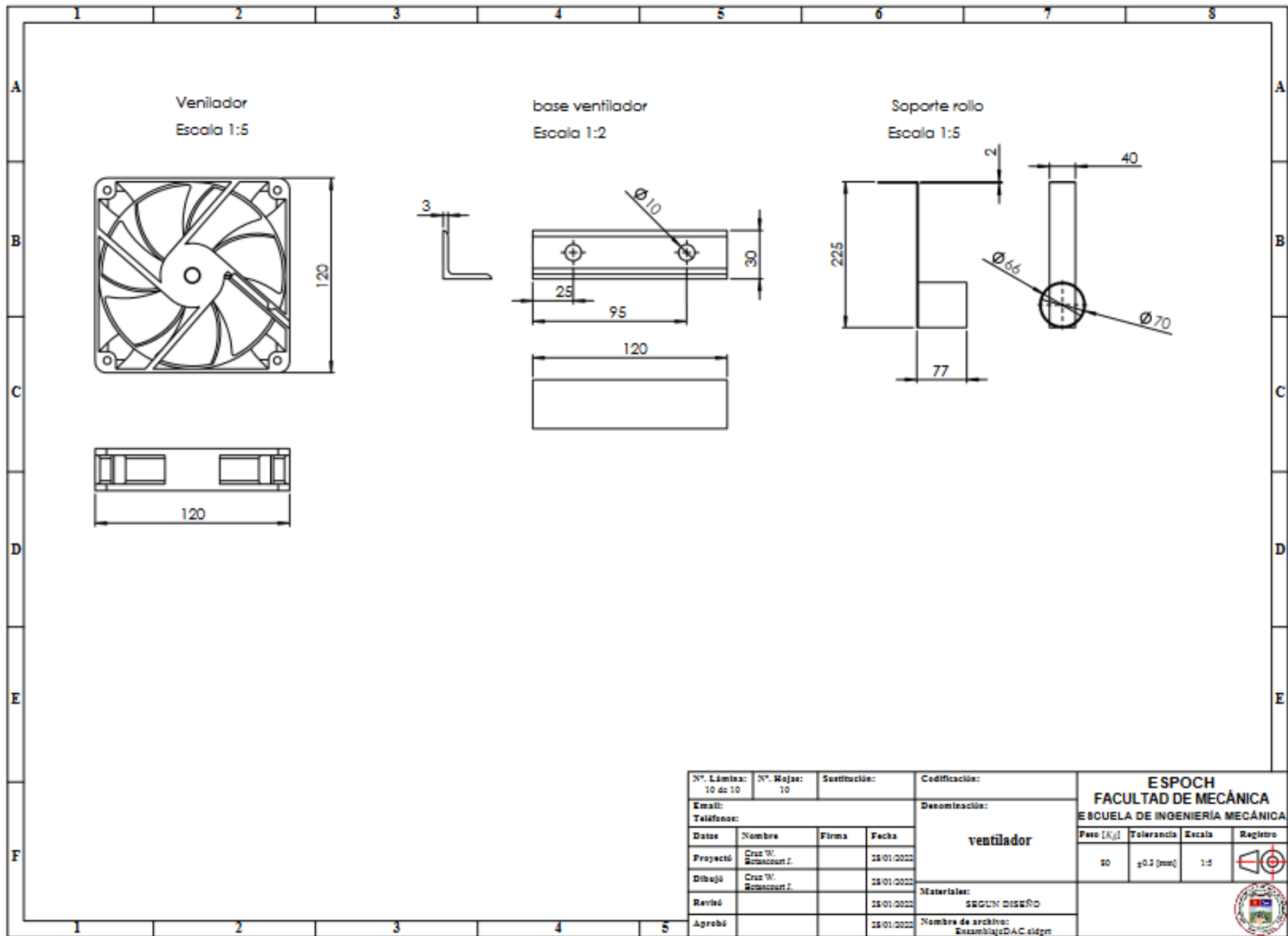
polea 2in
Escala 1:2

DETALLE H
ESCALA 1:1

DETALLE G
ESCALA 2:5

Nº. Láminas: 9 de 10	Nº. Hojas: 10	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
Email:			Denominación:					Peso [Kg]	Tolerancia
Teléfono:			<p style="text-align: center;">polea</p>		80	±0.2 (mm)	1:50		
Fecha	Nombre	Firma			Fecha	Materiales:			
Proyectó	Cruz W. Sotancourt J.				28/01/2022	SEGUN DISEÑO			
Dibujó	Cruz W. Sotancourt J.				28/01/2022	Nombre de archivo:			
Revisó					28/01/2022	EnsamblajeDAC.ridger			
Aprobó			28/01/2022						





N°. Líneas: 10 de 10		N°. Hojas: 10		Sustitución:		Codificación:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA									
Email:				Denominación:													
Teléfono:				ventilador				Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro			
Dato		Nombre						Firma		Fecha		±0.2 [mm]		1:5			
Proyectó		Cruz W. Bazanourt J.								28/01/2022		Materiales: SEGUN DISEÑO					
Dibujó		Cruz W. Bazanourt J.								28/01/2022							
Revisó										28/01/2022							
Aprobó						28/01/2022											
Nombre de archivo:				EnsamblajeDAC.sldprt													

ANEXO C. TABLA DE CENGEL PARA PROPIEDADES DEL AIRE A 1 ATM

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

