



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

INFORME FINAL DEL TRABAJO DE ENTREGACIÓN

CURRICULAR, MODALIDAD DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**“EXTRUSORA DE FILAMENTO DE POLITEREFTALATO DE ETILENO
(PET) RECICLADO PARA IMPRESORAS 3D”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Autor: Ricardo Alonso Arteaga Chenas

Director: Ing. Milton Alejandro Gavilanes Villalobos

Asesor: Ing. Fernando Vinicio Valencia Aguirre

Ibarra, 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0402132435		
APELLIDOS Y NOMBRES:	ARTEAGA CHENAS RICARDO ALONSO		
DIRECCIÓN:	CARR. PANAMERICANA Y DR. CRISTOBAL TOBAR SUBIA, IBARRA		
EMAIL:	raarteagac@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	-	TELÉFONO MÓVIL:	0987536580

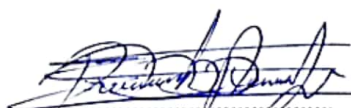
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"EXTRUSORA DE FILAMENTO DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET) RECICLADO PARA IMPRESORAS 3D"
AUTOR (ES):	ARTEAGA CHENAS RICARDO ALONSO
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	27/jul/2023
PROGRAMA:	☒ PREGRADO ☐ POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
ASESOR /DIRECTOR:	ING. MILTON ALEJANDRO GAVILANES VILLALOBOS

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 27 días del mes de julio de 2023

EL AUTOR:



Ricardo Arteaga



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CERTIFICACIÓN

En calidad de director del trabajo de grado “EXTRUSORA DE FILAMENTO DE POLITEREFTALATO DE ETILINO (PET) RECICLADO PARA IMPRESORAS 3D”, presentado por el egresado Arteaga Chenas Ricardo Alonso, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, a los 27 días de julio de 2023

Milton Alejandro Gavilanes Villalobos

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

DEDICATORIA

A mis padres Alonso y Doris, por su incondicional apoyo a lo largo de todos mis años de estudios y por nunca perder la confianza en mí.

A mi hermano Oscar, por acompañarme a lo largo de todos estos años siendo un gran apoyo para mi crecimiento.

Y a todos mis amigos con los que compartí momentos inolvidables a largo de todos estos años.

AGRADECIMIENTO

Me gustaría expresar un especial agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte por darme la oportunidad de estudiar la carrera de Ingeniería en Mecatrónica en sus instalaciones. Agradezco a autoridades, laboratoristas y maestros por su guía a lo largo de mi formación académica y su ayuda para lograr uno de los más grandes objetivos de mi vida.

RESUMEN

En el actual trabajo de grado, se presenta el diseño y la implementación de una máquina extrusora de filamento para impresión 3D a partir de botellas de tereftalato de polietileno (PET) reciclado. Lo que se aspira a lograr con la construcción de este dispositivo es poder fabricar filamento para impresoras 3D de una forma más económica y accesible. La solución planteada se obtuvo mediante las ecuaciones establecidas en el libro "Transformación de plástico" del autor Savgorodny. Dichas ecuaciones sientan una base sobre las dimensiones que debe tener una extrusora de plástico. Con los parámetros ya establecidos, se procede a realizar el modelado estructural con la herramienta SolidWorks, con lo cual ya se puede realizar la selección de los materiales a utilizar. Una vez lista la estructura mecánica, se diseña e implementa los circuitos de poder y control, y se procede a la realización de pruebas y calibración. Una vez establecidos los parámetros de velocidad de extrusión y temperatura, el prototipo fabricado ofrece la posibilidad de producir como mínimo 10 metros de filamento de 1,75 mm de diámetro por cada hora. Además, en su panel de control, es posible cambiar a gusto las distintas variables involucradas, como lo son la temperatura y las revoluciones de los motores usados en el mecanismo.

ABSTRACT

In the current degree work, we present the design and implementation of a filament extruder machine for 3D printing using recycled polyethylene terephthalate (PET) bottles. The main goal of constructing this device is to manufacture filament for 3D printers in a more economical and accessible way. The proposed solution was obtained using the equations established in the book "Plastic Transformation" by author Savgorodny. These equations lay the foundation for the dimensions a plastic extruder should have. Once the parameters are established, we proceed with the structural modeling using the SolidWorks tool, enabling the selection of the materials to be used. Once the structural system is ready, we design and implement the power and control circuits, followed by testing and calibration. After setting the extrusion speed and temperature parameters, the manufactured prototype offers the capability to produce a minimum of 10 meters of 1,75 mm diameter filament per hour. Additionally, the control panel allows users to adjust various involved variables, such as temperature and motor revolutions used in the mechanism.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD	
TÉCNICA DEL NORTE	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivo general	2
1.3 Objetivos específicos	2
1.4 Alcance	2
1.5 Justificación	3
CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL	4
2.1 Antecedentes	4
2.2 Marco Teórico.....	7

2.2.1 Reciclaje.....	7
2.2.2 Politereftalato de etileno (PET)	8
2.2.3 Extrusión de plásticos	8
2.2.3.1 Extrusora de tornillo simple.....	9
2.2.4 Propiedades térmicas	9
2.2.4.1 Punto de transición vítrea (Tg)	10
2.2.4.2 Punto de fusión (Tm)	10
2.2.5 Control de temperatura	11
2.2.5.1 Control de temperatura ON/OFF	11
2.2.5.2 Control de temperatura proporcional	11
2.2.5.3 Control de temperatura PID	11
2.2.6 Termopar.....	12
2.2.7 Resistencias eléctricas calefactoras.....	12
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	14
3.1 Modelo de la investigación	14
3.2 Diseño de la investigación	15
3.2.1 Establecimiento de los parámetros necesarios para el diseño de una extrusora de filamento	15
3.2.2 Diseño del sistema de extrusión para obtener filamento para impresoras 3D .	15

3.2.3 Implementación del diseño del modelo que sea capaz de producir filamento para impresión 3D.....	16
3.2.4 Validación el funcionamiento de la máquina.....	17
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS	18
4.1 Especificaciones del sistema a diseñar	18
4.2 Planteamiento de solución	19
4.3 Características del sistema por diseñar	25
4.4 Diseño de la máquina extrusora de filamento.....	26
4.4.1 Dimensiones del barril	26
4.4.2 Dimensiones de husillo extrusor.....	27
4.4.2.1 Holgura	27
4.4.2.2 Diámetro del husillo extrusor.....	27
4.4.2.3 Longitud de rosca del husillo.....	28
4.4.2.3 Longitud de alimentación	28
4.4.2.3 Longitud de compresión	28
4.4.2.4 Longitud de dosificación.....	28
4.4.2.5 Paso	29
4.4.2.6 Ancho de cresta del filete.....	29
4.4.2.7 Profundidad del canal helicoidal de tornillo	29
4.4.2.8 Ángulo de hélice	29

4.4.2.9 Holgura del filete	30
4.4.2.10 Numero de filetes	30
4.4.3 Caudal volumétrico del tornillo	30
4.4.3.1 Constante de flujo directo	31
4.4.3.2 Constante de flujo inverso	31
4.4.3.3 Constante de fugas	31
4.4.3.4 Coeficiente de la forma geométrica	31
4.4.3.5 Capacidad de producción	32
4.4.4 Potencia requerida	32
4.4.4.1 Potencia teórica	32
4.4.4.2 Perdidas por instalaciones eléctricas	33
4.4.4.3 Perdidas en motores	33
4.4.4.4 Potencia Real	33
4.4.4.5 Momento de giro	33
4.4.4.6 Selección de motor	34
4.4.5 Resistencia calefactora	34
4.4.5.1 Presión máxima dentro la extrusora	34
4.4.5.2 Flujo total dentro de la extrusora	35
4.4.5.3 Volumen del barril	35
4.4.5.4 Superficie externa del barril	35

4.4.5.5 Tiempo de residencia de la mezcla	35
4.4.5.6 Diferencias de temperatura del barril.....	35
4.4.5.7 Flujo de calor	35
4.4.5.8 Potencia aparente	36
4.4.5.9 Potencia real.....	36
4.4.6 Modelado en SolidWorks	36
4.4.6.1 Barril y tolva	36
4.4.6.2 Husillo de extrusión	38
4.4.6.3 Acople barril-boquilla.....	38
4.4.6.4 Acople de boquilla	39
4.4.6.5 Soporte de motor.....	39
4.4.6.6 Brida cuadrada	40
4.4.6.7 Aislantes.....	41
4.4.6.8 Sistema de halado de filamento	42
4.4.6.9 Panel de control.....	42
4.5 Análisis y simulación componentes críticos	43
4.5.1 Análisis estático de husillo extrusor	43
4.5.2 Análisis térmico de componentes expuestos a altas temperaturas.....	48
4.6 Selección de componentes	50
4.6.1 Motores	50

4.6.2 Control de temperatura	51
4.6.3 Resistencia calefactora	52
4.6.4 Control de velocidad	53
4.6.4 Fuente de alimentación	54
4.7 Diseño eléctrico y programación	54
4.7.1 Circuito de poder.....	55
4.7.2 Circuito de control	56
4.7.3 Programación de Arduino	56
4.8 Construcción y ensamble	57
4.8.1 Barril y tolva	57
4.8.2 Husillo de extrusión	58
4.8.3 Acople termopar.....	58
4.8.4 Acople de boquilla	59
4.8.5 Soporte de motor.....	59
4.8.6 Brida cuadrada	60
4.8.7 Aislantes.....	61
4.8.8 Sistema de halado de filamento	61
4.8.9 Panel de control.....	62
4.8.10 Ensamble estructural.....	63
4.8.11 Ensamble de sistema electrónico	64

4.9 Costos.....	64
4.9.1 Costos sistema estructural.....	64
4.9.2 Costos de sistema de control.....	65
4.10 Pruebas de funcionamiento	66
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Extrusora de filamento Felfil EVO	4
Figura 2 Extrusora de filamento filabot EX2.....	5
Figura 3 Extrusora de filamento Filastruder	6
Figura 4 Clasificación de plásticos	8
Figura 5 Diseño genérico de una extrusora	9
Figura 6 Resistencias eléctricas calefactoras	13
Figura 7 Diagrama de flujo de la metodología	14
Figura 8 Vista isométrica de la solución.....	19
Figura 9 Subsistema de extrusión primario	21
Figura 10 Subsistema de halado de filamento	23
Figura 11 Subsistema de panel de control	24
Figura 12 Vista isométrica del barril en SolidWorks	37
Figura 13 Vista isométrica de la tolva	37
Figura 14 Vista isométrica del husillo extrusor	38
Figura 15 Vista isométrica del acople barril-boquilla	38
Figura 16 Vista isométrica del acople de boquilla.....	39
Figura 17 Vista isométrica del soporte de motor	40
Figura 18 Vista isométrica de la brida cuadrada.....	40
Figura 19 Vista isométrica del aislante.....	41

Figura 20	Vista isométrica de base y pared del sistema de halado de filamento.....	42
Figura 21	Vista isométrica de panel de control	42
Figura 22	Mallado para análisis estático.....	44
Figura 23	Gráfico de convergencia del método h.....	45
Figura 24	Valores de tensión presentes en el husillo extrusor.....	45
Figura 25	Desplazamientos del husillo.....	46
Figura 26	Factor de seguridad	47
Figura 27	Distribución de calor en conjunto de extrusora.....	48
Figura 28	Nodo de ubicación de termopar.....	49
Figura 29	Motores para extrusora.....	50
Figura 30	Controlador de temperatura Rex-C100	51
Figura 31	Resistencia calefactora	52
Figura 32	Controlador PWM para motorreductor	53
Figura 33	Fuente de poder	54
Figura 34	Diseño de circuito de poder.....	55
Figura 35	Diseño de circuito de control.....	56
Figura 36	Fabricación de barril y tolva.....	57
Figura 37	Husillo extrusor	58
Figura 38	Acople termopar	59
Figura 39	Acople boquilla	59

Figura 40 Soporte de motor	60
Figura 41 Brida cuadrada.....	60
Figura 42 Aislantes	61
Figura 43 Sistema de halado de filamento.....	62
Figura 44 Panel de control	62
Figura 45 Ensamble de extrusora de filamento	63
Figura 46 Circuito de poder y control ensamblado.....	64
Figura 47 Escamas de plástico usadas	67
Figura 48 Resultados de filamento a diferentes temperaturas	69
Figura 49 Comparativa de filamentos.....	70
Figura 50 Grafica de evolución de temperatura.....	72
Figura 51 Muestras de PET de diferente color	73
Figura 52 Filamentos con mezcla de PET	73
Figura 53 Producción de filamento.....	74
Figura 54 Piezas impresas en 3D.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Punto de transición vítrea y punto de fusión.....	10
Tabla 2	Tipos de termopares.....	12
Tabla 3	Listado de piezas subsistema de extrusión primario.....	21
Tabla 4	Listado de piezas subsistema de halado de filamento.....	23
Tabla 5	Listado de piezas de subsistema de panel de control.....	24
Tabla 6	Costos de construcción de sistema estructural.....	65
Tabla 7	Costos de componentes electrónicos	65
Tabla 8	Promedio de tamaño de escamas de PET	67
Tabla 9	Calidad del filamento a diferentes temperaturas.....	69
Tabla 10	Error absoluto y porcentual.....	75
Tabla 11	Configuración de impresora 3D.....	76

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Los plásticos en la actualidad son utilizados por una gran cantidad de empresas por sus ventajas en cuanto a versatilidad, peso, facilidad de producción. Debido al extenso periodo de descomposición que caracteriza estos residuos, se ha provocado un gran impacto ambiental en los últimos años. Según el INEC en el año 2018 los ecuatorianos arrojaron 12 toneladas de basura diarias y de ellas el 11% era plásticos, lo que anualmente representa 260 mil toneladas de plástico al año, y la mitad de estas es de plástico rígido (Morán, 2020). A pesar de esto, existe una gran mayoría que se desechan y colaboran a la contaminación del medioambiente.

El porcentaje de reciclaje aun no es muy alto, pero crece proporcionalmente, el 45,5% de los municipios del país cuenta con recicladores informales y se estima que existe un 14% de reciclaje que está creciendo debido a las ventajas que ofrece tanto personales como a la sociedad en general, esto representa una gran oportunidad de negocio (Bermeo-Paucar et al., 2017). Normalmente, el proceso de fabricación de filamento 3D requiere de pellets, que son pequeños pedazos de plástico procesado a partir del cual se pueden fabricar diferentes productos lo cual muchas veces es un proceso tardado y complicado más si se trata de obtener pellets a partir de materiales reciclados, por lo que convertir plásticos de botellas directamente a filamento para impresión 3D ahorraría tiempo y dinero si el objetivo es solo crear filamento (Soberón, 2007). En el mercado comercial existen bastantes opciones de compra de extrusoras de filamento como la Filabot EX2 que tiene un precio de 2150 \$, así como también modelos más económicos como la extrusora Lyman con un precio de 250 \$, las máquinas mencionadas son compactas y es en la que se basara el presente proyecto más específicamente en el modelo Lyman.

Tomando en cuenta los antecedentes del reciclaje de PET en el Ecuador, se puede asumir que esta es una empresa en crecimiento y que tiene un gran potencial en diferentes ámbitos. Comenzando por el beneficio medioambiental que se genera al reciclar las botellas de plástico, no solamente para volver a fabricar este producto, sino también varios materiales derivados, como el filamento 3D, que también es una industria en crecimiento en el Ecuador. Finalmente, también representa un beneficio económico para los recicladores y aquellos que procesan el material, ayudando así a la economía del país.

Es necesario incrementar la reutilización de plástico y la extrusión de este a partir de material reciclado ya que sería de gran utilidad, especialmente con la creciente demanda de la impresión 3D.

1.2 Objetivo general

Construir una máquina extrusora para obtener filamento para impresoras 3D a partir de PET reciclado.

1.3 Objetivos específicos

- Establecer los parámetros necesarios para el diseño de una extrusora de filamento.
- Diseñar el sistema de extrusión para obtener filamento para impresoras 3D.
- Implementar el diseño del modelo que sea capaz de producir filamento para impresión 3D.
- Validar el funcionamiento de la máquina.

1.4 Alcance

La extrusora estará diseñada para fabricar filamento de 1,75 mm de diámetro el cual es el más utilizado en las impresoras 3D domésticas. Además, la extrusora será capaz de fabricar un mínimo de 10 metros de filamento por hora. Esta máquina estará diseñada para trabajar a partir de

botellas de PET trituradas, lo cual reducirá el precio de fabricación y obtención de materia prima, ya que el material virgen será solo de un 25 % del material total. Este modelo de máquina será experimental, puesto que servirá para determinar la calidad del filamento basado en pruebas realizadas en impresoras 3D y analizando las piezas impresas que se obtiene a partir de botellas que no han sido sometidas al proceso de conversión a pellets. Se complementará con manuales de operación y mantenimiento, manual de calibración y guía de detección de avería de la máquina

1.5 Justificación

En la actualidad, existe una demanda creciente en la utilización de impresoras 3D especialmente en estudiantes, ya este método resulta bastante útil en la construcción de prototipos, pero obtener el filamento resulta bastante costoso y muchas veces no se requiere de un filamento de una gran calidad, solamente es necesario hacer pruebas, por ende, un material más económico resulta una buena alternativa (Ortiz, 2018).

La impresión 3D actualmente ya se encuentra presente en muchos campos de aplicación que satisface necesidades de personas naturales como jurídicas, este mercado es muy dinámico por todo lo que deriva esta tecnología, como nuevos escenarios para ventas y el emprendimiento (Ordóñez, 2017).

Se podrá dotar a los laboratorios, así como también a estudiantes de material para impresión 3D más barato y accesible. Además de ayudar con un problema enorme de la sociedad como lo es la contaminación por plásticos.

CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes

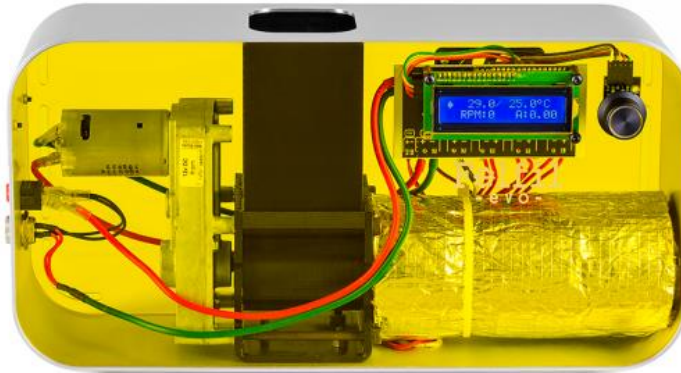
Los primeros indicios o trabajos relacionados con la impresión 3D se dieron gracias a Charles Hull en el año 1984, el cual inventó la estereolitografía, esta tecnología funciona mediante la solidificación de un fotopolímero líquido gracias a luz ultravioleta. Por los años 90 Scott Crump desarrollo el modelado por deposición, a partir de este punto se empezó a usar un filamento reduciendo así el uso de materia prima (Gutiérrez & Vargas, 2017).

La impresión 3D requiere de un material esencial que es el filamento independientemente del material de cual este hecho este, y la fabricación del mismo parte de las extrusoras de plástico. En el mercado actual existen distintos modelos de máquinas especializadas en la extrusión de filamento para impresoras.

Dentro de los modelos de máquinas para extrusión de plásticos está el Felfil EVO, el cual está especialmente diseñado para la fabricación de filamento para impresión y trabaja bajo el principio de que un tornillo sin fin lleva el material plástico a través de resistencias calefactoras hasta una boquilla que extruye el material. Para la fabricación de esta extrusora los creadores Frabrizio Mesiano, Alessandro Severini y Fabricio Pasquero se basaron en la filosofía de un ecodiseño (Ramos & Lombana, 2019). Se puede ver el modelo de la máquina en la figura 1.

Figura 1

Extrusora de filamento Felfil EVO



Nota: Felfil EVO cuenta con varios modelos y la mostrada en la figura es uno de sus diseños más sencillos (Felfil, s/f).

Siguiendo por el campo de máquinas de extrusión de filamento se encuentra otro modelo llamado Filabot, este comparte algunas características con el modelo mencionado anteriormente, pero lo que lo hace distinto a la competencia es su capacidad de presurización de plásticos, la compresión progresiva que mejora la capacidad de mezcla, además del mayor control de diámetros y el aumento en la velocidad de producción. Este dispositivo es ampliamente usado por instituciones como la NASA, MIT y demás compañías (Maly, 2013). La figura 2 muestra el diseño de la filabot.

Figura 2

Extrusora de filamento filabot EX2

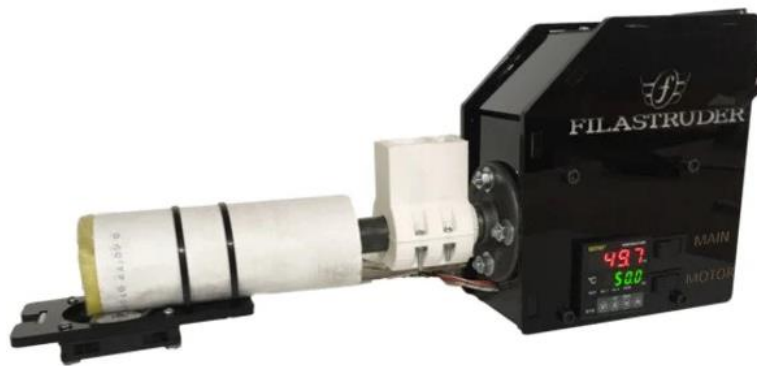


Nota: Uno de los cuantos modelos de extrusora filabot EX2 (filabot, s/f).

Otro modelo presente en el mercado es el Filastruder trabaja bajo el mismo principio de las anteriores, evidentemente con sus características únicas. Este dispositivo cuenta con los controladores necesarios para regular tanto la velocidad del motor, así como también la temperatura, además cuenta con un filtro en su boquilla que evita el paso de partículas menores a 200 micrómetros (Zoto, 2021). Se puede ver modelo de la máquina en la figura 3.

Figura 3

Extrusora de filamento Filastruder



Nota: Modelo de extrusora Filastruder (FILASTRUDEK, s/f).

Los trabajos mencionados anteriormente ya forman parte de empresas constituidas y que ya llevan varios años en mercado, pero también existen otros trabajos llevados a cabo como investigación con la intención de iniciar un emprendimiento. Se tiene el caso de Ortiz (Ortiz, 2018) el cual menciona en su tesis que las razones para diseñar y construir una máquina de extrusión de filamento son el alto costo de material para impresión 3D, lo cual vuelve muy poco accesible por lo que contar con material más económico sería de gran ayuda para los interesados en esta tecnología, en su trabajo o menciona que utilizara tanto PLA como ABS reciclado.

Un proyecto similar al anterior es el de Esquivel (Esquivel et al., 2018) el cual trabajó en el diseño de una máquina de extrusión con el objetivo de producir material para impresión 3D más

económico, pero sobre todo enfocarse en la fabricación de dicho producto a partir de plástico reciclado para reducir en algo con este tipo de contaminación que tanto afecta a la sociedad.

2.2 Marco Teórico

Este apartado del trabajo abarca una revisión teórica acerca de los materiales plásticos enfocándose en el reciclaje de estos, también se indaga en los procesos transformación del plástico como lo es la extrusión, además de estudiar las características principales de los plásticos en el proceso de transformación, por último, se hace una revisión de los parámetros que se debe tener a la hora de usar un filamento de plástico para impresión.

2.2.1 Reciclaje

La presente investigación está enfocada principalmente en la reutilización de materiales plásticos esencialmente en el PET, ya que es el material con él se obtendrá el filamento para la impresión 3D.

Cuando se habla de reciclaje de plásticos existen distintos procesos cada uno enfocado distinto en la recuperación de desechos plásticos. Iniciamos por el método primario el cual se enfoca en la reutilización del material sin que se lo cambie mediante procesos industriales, solamente darle un nuevo uso con recortes del plástico. El tratamiento secundario ya sufre bastantes cambios ya que gracias a la fusión de los materiales se logra obtener distintas formas que serían imposibles de conseguir sin un proceso de transformación por calor. El siguiente procedimiento es el terciario, este es un proceso químico con la finalidad de aprovechar ciertos componentes del plástico. Por último, se tiene el cuaternario en cual se realiza la quema de estos desechos con la finalidad de obtener energía calórica (Ramos & Lombana, 2019).

Actualmente gracias al gran progreso industrial existe una infinidad de materiales plásticos, por ende, fue necesario crear una clasificación para los mismos. La codificación viene dada por un

número dentro de un triángulo. Es esta lista se encuentra por ejemplo el PET etiquetado como 1, este es usado ampliamente en embaces de bebidas, fibras textiles, cosméticos y muchos otros (Opazo, 2020). La clasificación se puede ver en la figura 4.

Figura 4

Clasificación de plásticos



Nota: Figura tomada de la página diario sostenible (Opazo, 2020).

2.2.2 Politereftalato de etileno (PET)

Está clasificado como termoplástico debido a que este cambia su estado a líquido con altas temperaturas de alrededor de 280°C y no sufre cambios químicos al enfriarse. El PET suele tener una estabilidad térmica hasta los 71°C, pasado ese límite los poliésteres van perdiendo sus propiedades. La densidad de este material varía entre ciertos valores dependiendo si es amorfo o cristalino. Para el primero se tiene valores que oscilan entre 1,33 – 1,37 g/cm³ y 1,45 - 1,51 g/cm³ respectivamente (Suasnavas, 2017).

2.2.3 Extrusión de plásticos

Esta operación tiene como principio el forzar a que un material fundido pase a través de una boquilla, la presión generada hará que se le pueda dar distintas formas al componente resultante. Actualmente en la extrusión de polímeros se usa un tronillo sin fin, que es el encargado de transportar la fundición a lo largo de la máquina. El tornillo de Arquímedes con es conocido mayormente gira dentro de un tubo o camisa apenas con el espacio suficiente para rotar, este último

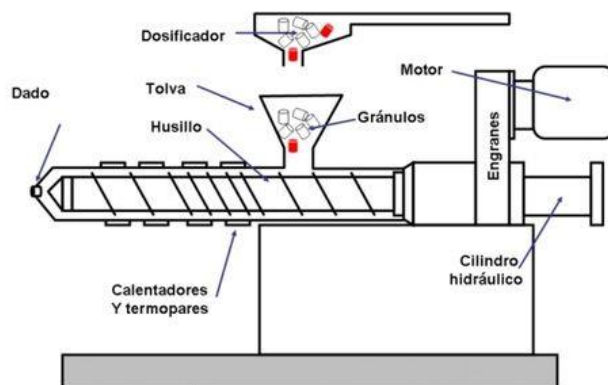
está sometido a altas temperaturas que hace que el polímero se funda y homogenice y se puede obtenga el resultado esperado (Gómez & Gutiérrez, 2007).

2.2.3.1 Extrusora de tornillo simple

Cuenta con un tornillo ya sea de uno o dos hilos. El diámetro de este es apenas un poco más pequeño que el tubo que lo contiene teniendo solo el suficiente espacio para rotar. El tornillo puede sufrir cambios en el diámetro de su núcleo siendo más pequeño en el área de alimentación e incrementado conforme se aproxima a la boquilla de extrusión, estas modificaciones tienen la finalidad de aumentar la presión para facilitar la extrusión del material fundido. En la figura 5 se encuentra un modelo general de una extrusora junto con las diferentes partes que la componen.

Figura 5

Diseño genérico de una extrusora



Nota: Figura tomada de la página overblog (Benavente, 2011).

2.2.4 Propiedades térmicas

La importancia de las propiedades térmicas de los materiales termoplásticos es equiparable a la relevancia de sus propiedades eléctricas y mecánicas. En contraste con los metales, los termoplásticos demuestran una alta sensibilidad a las variaciones de temperatura. El estudio del comportamiento térmico de los materiales poliméricos, particularmente cuando se ven afectados

por amplios rangos de diferencias de temperatura, representa un tema técnico de considerable complejidad.

2.2.4.1 Punto de transición vítrea (T_g)

Es el punto o temperatura límite en el cual las cadenas moleculares de un polímero amorfo generan un movimiento, este último marca el cambio para que un plástico pase de un estado inmóvil a un estado de movilidad molecular. La transición vítrea (T_g) es el valor de temperatura más importante cuando se habla de polímeros, como lo es que no permite saber si el material es o no miscible (Pazmiño, 2013). En la tabla 1 se observa ver las distintas temperaturas de transición vítrea.

2.2.4.2 Punto de fusión (T_m)

Es el punto en que la temperatura de un plástico es la adecuada para que el material salga por la boquilla de la extrusora como filamento o se deposite en moldes. En la tabla 1 se puede observar algunos de los valores de punto de fusión para algunos materiales plásticos.

Tabla 1

Punto de transición vítrea y punto de fusión

Material	T_g	T_m
Tereftalato de polietileno (PET)	70 °C	260 °C
Ácido poliláctico (PLA)	60-65 °C	153 °C
Poli (Cloruro de vinilo) (PVC)	80 °C	212 °C
Polipropileno (PP)	-20 °C	160 °C

Nota: Ejemplos de temperaturas de algunos plásticos, tomado de (Beltrán, 2011; Ibeh, 2011).

2.2.5 Control de temperatura

Este tipo de control lo lleva a cabo un instrumento con la capacidad de regular la temperatura. Su funcionamiento surge a partir del controlador que al recibir una señal de entrada que proveniente de un sensor de temperatura, está a su vez permite al controlador dar una orden a una salida que bien puede ser una resistencia calefactora o un ventilador, esto ya dependerá del tipo de trabajo que se quiera realizar (Lab-Volt, 2005).

2.2.5.1 Control de temperatura ON/OFF

Estos dispositivos son los más simples en cuanto a su funcionamiento ya que la orden a la salida solamente es de encendido o apagado. Es decir que cuando la temperatura detectada es superior a la ajustada este apaga el elemento de salida volviendo a encender dicho componente cuando la temperatura que se detecta está por debajo de lo establecido (Recalde, 2015).

2.2.5.2 Control de temperatura proporcional

En este tipo de controladores la temperatura va disminuyendo progresivamente conforme esta se acerca al valor ajustado, esto gracias al regulador proporcional con el que cuenta, que disminuye la potencia proporcionada al calentador conforme se necesite logrando así un control de temperatura más estable(EMAC, 2021).

2.2.5.3 Control de temperatura PID

Existe una combinación del control mencionado en la sección anterior en conjunto con un control integral y derivativo, con esta mejora se consigue compensar variaciones en la temperatura automáticamente, convirtiendo a este dispositivo en el más preciso de los tres mencionados(EMAC, 2021).

2.2.6 Termopar

Es un dispositivo utilizado en la medición de temperatura. El funcionamiento de este elemento parte de un circuito compuesto por dos metales conductores de distinta composición que en sus extremos debió a la variación de temperatura genera una fuerza electromotriz (Grajales & Monsalve, 2019).

Existen diferentes tipos de termopares o termocuplas, cada uno cuenta con características únicas dependiendo el uso o aplicación que se le quiera dar. En la tabla 2 se puede observar los algunos ejemplos de termopar con sus características.

Tabla 2

Tipos de termopares

Tipo ANSI-ISA	Combinación de aleación		Rango de temperatura máximo	FEM (mV) en el rango de temperatura
	Positivo	Negativo		
J	Hierro (Fe)	Constantán cuproníquel (Cu-Ni)	-210 a 1200 °C	-0,8095 a 69,553
K	Chromega Nicromo (Ni- Cr)	Alomega Níquel Aluminio (Ni-Al)	-270 a 1372 °C	-6,458 a 54.886
T	Cobre (Cu)	Constantán cuproníquel	-270 a 400 °C	-6,258 a 20,872

Nota: Ejemplos de termopares con sus respectivas características (Guerrero & Arias, 2021).

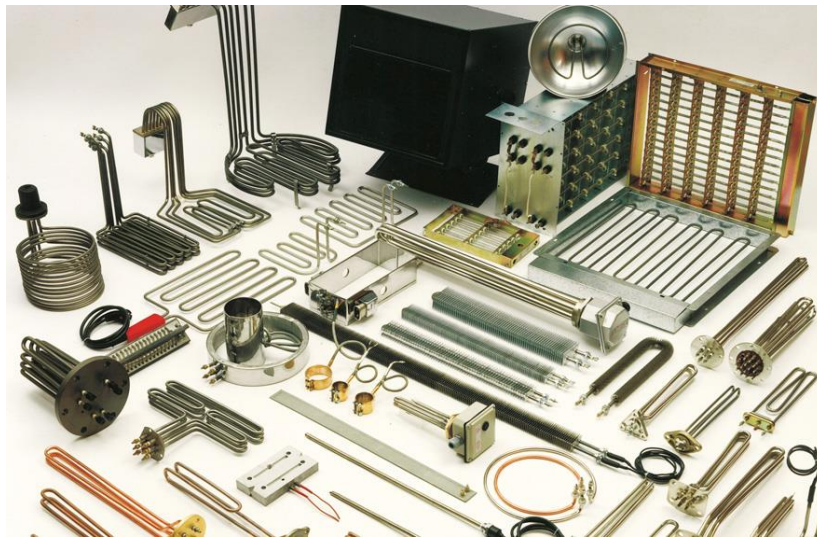
2.2.7 Resistencias eléctricas calefactoras

Son elementos usados para la transformación de corriente eléctrica en calor, estos dispositivos funcionan bajo el efecto Joule, es decir que al a ver fluir electricidad a través de un

material conductor, el movimiento y choque de electrones generan energía cinética que se libera en forma de calor. Existen diferentes tipos de resistencias calefactora, con variaciones en su forma y tamaño dependiendo del uso que se le quiera dar (Manzanares, 2020). En la figura 6 se puede observar algunos ejemplos de ellas.

Figura 6

Resistencias eléctricas calefactoras



Nota: Algunos de resistencias eléctricas calefactoras usadas en las áreas industriales, tomado de (Aviles, 2018)

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

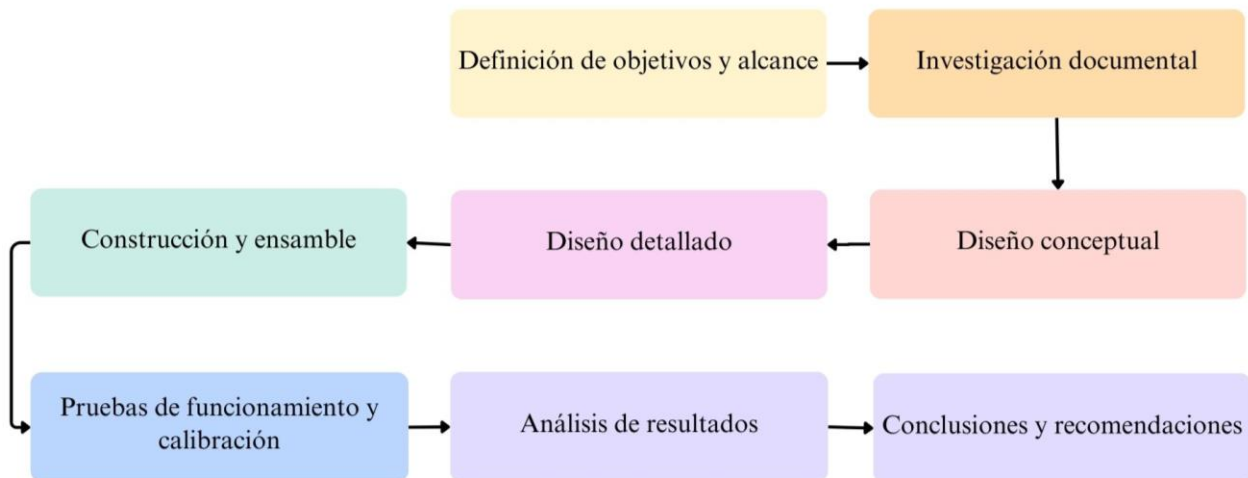
3.1 Modelo de la investigación

En actual trabajo de grado están presentes diferentes campos de investigación, una de ellas es la documental debido a que se realiza un proceso de búsqueda y análisis de información a partir de tesis, artículos científicos, libros y catálogos comerciales (Rodríguez, 2005).

La investigación descriptiva interviene en el presente trabajo dado que es necesario especificar la gran mayoría de las propiedades y elementos del objeto de estudio, como lo son los diferentes partes que componen una máquina extrusora de filamento. Como última parte se encuentra la investigación experimental, también está presente ya que se pretende diseñar un prototipo de máquina en cual se realizarán distintas pruebas de funcionamiento con la finalidad de cumplir los objetivos del de este proyecto (Campos, 2010). Para una mejor visualización de la metodología usada se realizó un diagrama de flujo que se puede observar en la figura 7.

Figura 7

Diagrama de flujo de la metodología



Nota: Elaboración propia.

3.2 Diseño de la investigación

En esta sección se trata los temas relacionados con la ejecución de las actividades que son requeridas para el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados en el presente trabajo de grado, esto con el propósito de formar un camino detallado en el que se marque paso a paso la construcción de la máquina extrusora de filamento para impresión 3D.

3.2.1 Establecimiento de los parámetros necesarios para el diseño de una extrusora de filamento

La metodología de investigación documental es la que está directamente relaciona con esta fase del presente proyecto, debido que aquí se recopila toda la información necesaria acerca de la extrusión de filamentos plásticos que son usados en la industria de la impresión en 3D.

Actividad 1: “búsqueda de información acerca de la impresión 3D”; en esta actividad se indaga en las diferentes tecnologías relacionas con la impresión 3D, esto con la finalidad de conocer más acerca de los filamentos usados en esta nueva área de la manufactura.

Actividad 2: “Investigación acerca de los dispositivos de extrusión de plásticos”; en esta sección se realiza la búsqueda de información relaciona con los métodos de extrusión, así como los elementos que componen una máquina de este tipo.

Actividad 3: “Establecimiento de parámetros de la máquina”; con la investigación realizada se establecen los requerimientos de mecánicos y control que se usaran en el dispositivo de extrusión de filamento.

3.2.2 Diseño del sistema de extrusión para obtener filamento para impresoras 3D

La metodología descriptiva ayudará con el diseño de una máquina extrusora de filamento para impresión 3D, esto siendo posible con el uso de parámetros mecánicos como lo es la

ingeniería de manufactura, pero además de áreas de electrónica como el control de temperatura y velocidad.

Actividad 1: “Realización de cálculos de componentes del dispositivo”; se realizan cálculos de elementos mecánicos y de control con ayuda de libros y catálogos.

Actividad 2: “Modelado estructural”; con la ayuda de un software de ingeniería para modelado y diseño 3D se realiza un prototipo digital de la máquina que se quiere obtener con el objetivo de tener una vista más amplia de lo que se planea construir.

Actividad 3: “Planos de taller”; al finalizar el diseño digital del prototipo se realiza los planos de taller de aquellas piezas que requieran un proceso de manufactura.

Actividad 4: “Selección de materiales”; A partir de los datos obtenidos en la actividad anterior se procede a buscar proveedores de los materiales y componentes que se necesiten en la fabricación de la máquina.

3.2.3 Implementación del diseño del modelo que sea capaz de producir filamento para impresión 3D

Una vez obtenido el modelo virtual de la máquina se procede con la construcción de dicho dispositivo, esto con ayuda de los diferentes procesos de manufactura involucrados en la estructura mecánica, se termina con la implementación de componentes electrónicos para tener como resultado un prototipo funcional.

Actividad 1: “Construcción de la estructura mecánica”; con el uso de los diferentes procesos de mecanización trasladamos el modelo digital planteado a un prototipo físico.

Actividad 2: “Instalación de componentes electrónicos”; ya con los diferentes elementos adquiridos, se realiza la implementación de estos sobre la estructura mecánica anteriormente mencionada para así tener una máquina lista para la realización de pruebas de funcionamiento.

Actividad 3: “Calibración de controlares y drivers”: una vez lista la instalación de los diferentes componentes eléctricos y electrónicos estableciendo sus valores en los datos teóricos obtenidos.

3.2.4 Validación el funcionamiento de la máquina

La metodología experimental se requiere en esta fase ya que con un prototipo terminado se procede a realizar distintas pruebas de funcionamiento para así determinar si los resultados que se obtienen son los deseados.

Actividad 1: “Calibración”; diversos factores pueden darnos resultados diferentes a los teóricos, por ende, es necesario realizar ciertos ajustes a los distintos componentes para acercarse lo más posible a lo que se planteó desde un inicio.

Actividad 2: “Pruebas de funcionamiento de la máquina”; una vez todo este configurado correctamente se realiza ensayos de funcionamiento con los diferentes sistemas que componen a la máquina.

Actividad 3: “Determinación de la calidad del filamento”; con la máquina en funcionamiento y calibrada correctamente, se procede a la producción del filamento para impresión 3D y se determina la calidad de este con la finalidad de saber en qué tipo de proyectos se puede usar.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se escribe con el objetivo de establecer las especificaciones de requerimientos que son necesarios a la hora construir una máquina extrusora de filamento, todo esto a partir de restricciones y diferentes criterios que nacen de las características deseadas del prototipo.

En este punto se establece una solución que abarque las funciones que debe realizar el dispositivo. Posteriormente se realiza un estudio de cada uno de los sistemas de la máquina para establecer en base a diferentes criterios las mejores selecciones de los diferentes componentes que forman parte del prototipo.

4.1 Especificaciones del sistema a diseñar

Lo que se mencionara a continuación serán los parámetros de criterios y restricciones que fueron tomados en cuenta para el desarrollo del presente trabajo de titulación.

Peso. El prototipo deber lo más liviano que sea posible ya que es una máquina de producción pequeña que pueda ser transportada de manera sencilla, por ende, se estableció un peso por debajo de los 20 kilogramos.

Precio. Este dispositivo fue concebido como una máquina económica y que tenga precios similares a las disponibles en el mercado, tomando esto en cuenta se estableció un precio por debajo de los \$400.

Resistencia. Los elementos de la extrusora deben soportar las presiones internas generadas por el flujo del plástico.

Materiales. Los distintos componentes requeridos serán comprados a través de tiendas en línea y en conjunto con empresas con sucursales en la ciudad.

Producción. La máquina está diseñada para tener una producción mínima de 10 metros de filamento por hora.

Interfaz. La máquina de extrusión debe ser muy intuitiva y con un manejo sencillo dirigido para todo tipo de personas interesadas en el tema.

Innovación. La idea principal del presente trabajo es el diseño y construcción de una extrusora de plástico diferente a las disponibles en el mercado, principalmente que sea más económica.

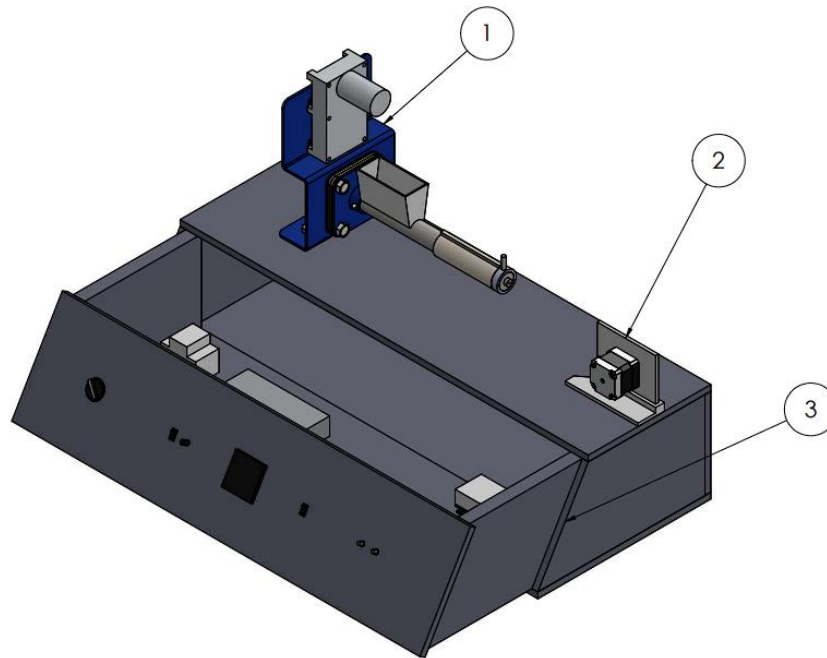
4.2 Planteamiento de solución

En base a las restricciones planteadas anteriormente se plantea una solución adecuada. En los siguientes párrafos se puede observar una descripción más detallada de cómo se dio desenlace al problema.

El dispositivo está formado por 3 subconjuntos de elementos entre los cuales se tiene el sistema de extrusión primario, el sistema de halado de filamento y finalmente el sistema de panel de control. El cómo están ubicados los diferentes subconjuntos se puede ver en la figura 8.

Figura 8

Vista isométrica de la solución



Nota: (1) sistema extrusión primario, (2) sistema de halado de filamento, (3) sistema panel de control (Elaboración propia).

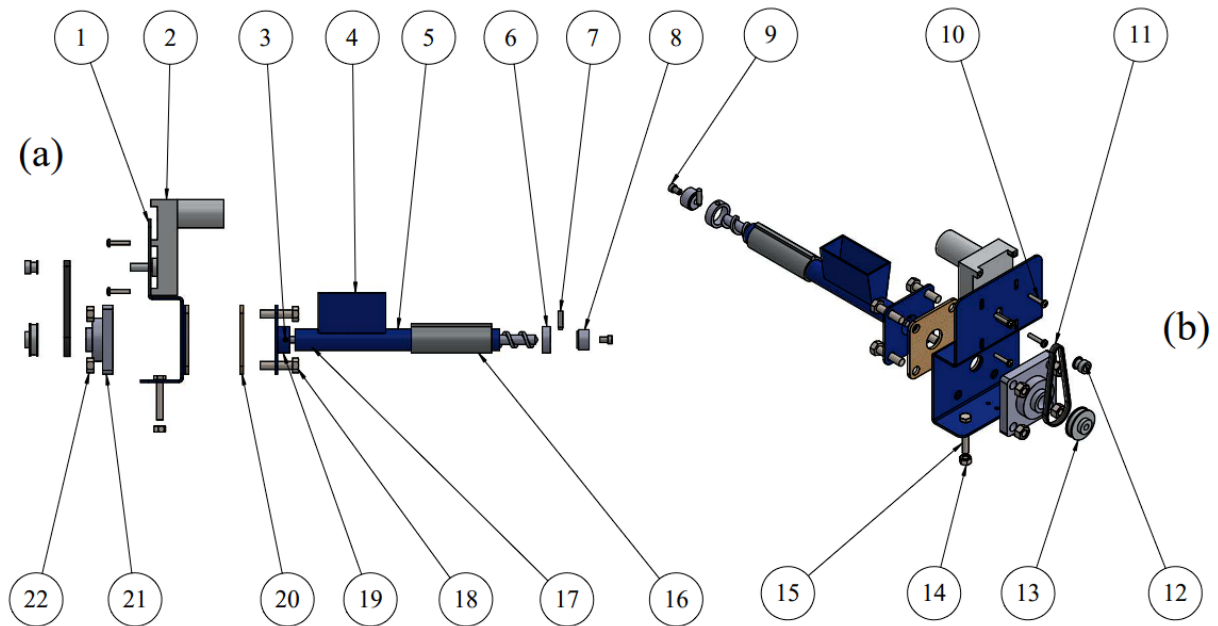
El primero es el sistema de extrusión primario el cual está formado casi en su totalidad por piezas de metal, como se puede ver en la figura 9 y para una visualización más detallada dirigirse a los planos ubicados en el ANEXO 1.

La estructura de este subsistema está formada por un elemento principal de apoyo que es el soporte de chapa metálica (1) a la cual se acopla el motorreductor (2), así como también a la chumacera (21), brida cuadrada (19) y aislantes de metal y madera (20) que sirven para la sujeción del husillo extrusor (17) y el barril (5) respectivamente.

Sobre el barril está unida una tolva (4) para la alimentación del plástico y al final de este se une un acople de la termocupla (6) y acople de boquilla (8) que ayudara a la colocación de la aboquilla extrusora (9). El husillo extrusor contará con una polea de aluminio de 60 dientes (13) en su extremo, la cual estará conectada con otra polea de 16 dientes (12) que está unida al eje del motorreductor, las dos poleas se conectaran con una banda (11).

Figura 9

Subsistema de extrusión primario



Nota: (a) Vista frontal en explosión, (b) Vista isométrica en explosión (Elaboración propia).

Tabla 3

Listado de piezas subsistema de extrusión primario

N° de elemento	Descripción	Cantidad
1	Soporte de chapa metálica	1
2	Motorreductor	1
3	Prisionero M5	2
4	Tolva	1
5	Barril	1
6	Acople de termopar	1
7	Termopar	1
8	Acople de boquilla	1

9	Boquilla extrusora	1
10	Tornillo M5 x 25	4
11	Banda dentada	1
12	Polea dentada 16 dientes	1
13	Polea dentada 20 dientes	1
14	Tuerca M8	2
15	Perno M8	2
16	Resistencia calefactora	1
17	Husillo extrusor	1
18	Perno M10	4
19	Brida cuadrada	1
20	Aislantes de madera y metal	2
21	Chumacera	1
22	Tuerca M10	4
	Total	35

Nota: Elaboración propia.

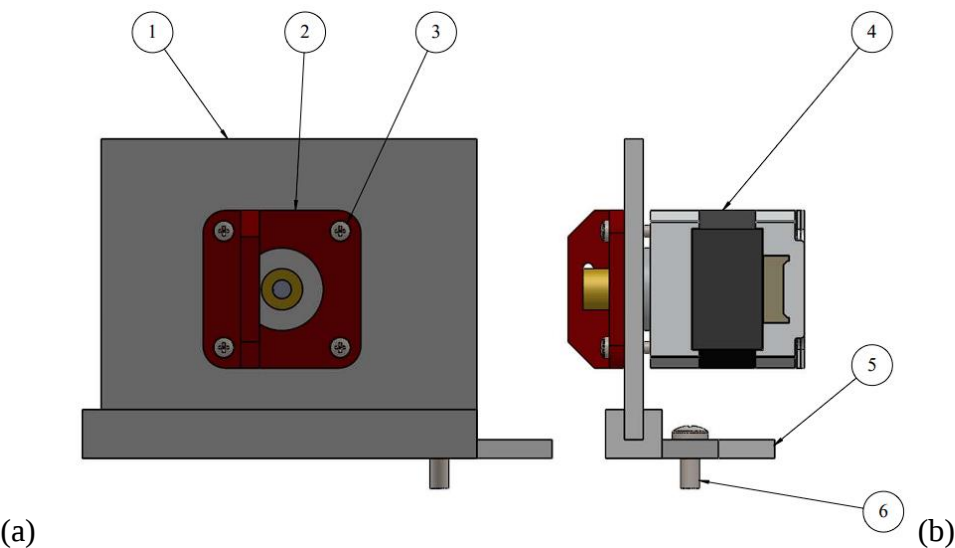
El segundo subconjunto es nombrado sistema de halado de filamento, el cual tiene como objetivo jalar el filamento obtenido a una velocidad estable para que el diámetro del material sea el correcto. La gran mayoría de las piezas en este subsistema están hechas por impresión 3D y se presenta en la figura 10 y para una visualización más detallada dirigirse a los planos ubicados en el ANEXO 1.

Los elementos que conforman el sistema son un extrusor de impresora 3D (2) el cual tiene la función de jalar el hilo, los demás elementos son una pared (1) y una base (5) impresos en PLA

para poder ajustar todos los elementos, como último componente se encuentra un motor a pasos (4) que hace posible que se active todo el mecanismo.

Figura 10

Subsistema de halado de filamento



Nota: (a) Vista frontal, (b) Vista lateral derecha (Elaboración propia).

Tabla 4

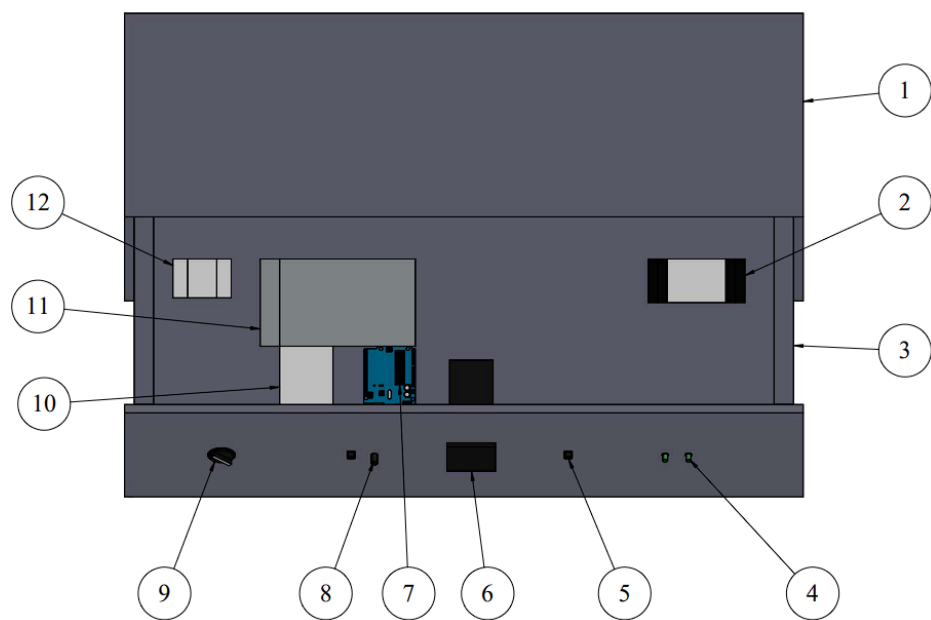
Listado de piezas subsistema de halado de filamento

N° de elemento	Descripción	Cantidad
1	Pared de soporte	1
2	Extrusor de aluminio	1
3	Tornillo M3 x 13	4
4	Motor a pasos	1
5	Base de extrusor final	1
6	Tornillo M5 x 10	1
Total		9

Nota: Elaboración propia.

Como último subconjunto se encuentra el sistema de panel de control, es este se alojan todos los elementos control. Internamente tiene un compartimento para todos los elementos eléctricos que son la fuente de poder (11), relé de estado sólido (2), relé de protección (12), Arduino (10) y conexiones eléctricas. También en la parte frontal están los ubicados lo switches (5), (9) y pulsadores (4), controladores de velocidad de motores (8) y controlador PID (6) de temperatura. Las piezas que componen a este subsistema se presentan en la figura 11 y para una visualización más detallada dirigirse a los planos ubicados en el ANEXO 1.

Figura 11
Subsistema de panel de control



Nota: Vista superior del subsistema de panel de control (Elaboración propia).

Tabla 5
Listado de piezas de subsistema de panel de control

N° de elemento	Descripción	Cantidad
1	Caja-panel	1

2	Relé de estado solido	1
3	Cajón-panel	1
4	Pulsador	2
5	Switch pequeño	2
6	Controlador PID de temperatura	1
7	Arduino UNO	1
8	Controlador de velocidad PWM	1
9	Switch principal	1
10	Protoboard	1
11	Fuente de poder	1
12	Relé de protección	1
	Total	14

Nota: Elaboración propia.

4.3 Características del sistema por diseñar

La presente sección sirve como punto de partida para presentar todos los detalles y características de los componentes que forman parte de solución para la creación de filamento para impresión 3D a partir de botellas de PET recicladas.

El dispositivo cuenta con un sistema mecánico accionado a partir de un motorreductor de 24 voltios, este se conecta con el husillo extrusor por medio de poleas de aluminio dentadas de 16 y 60 dientes, esto último la finalidad de reducir la velocidad de motor de hasta las 8 revoluciones por minuto. Como parte de la estructura mecánica también está incluido la tolva de alimentación y el barril donde se apoya que a la vez trabaja en conjunto con el tornillo extrusor para llevar el plástico reciclado hacia la boquilla extrusora por donde será expulsado el plástico fundido. Por

último, el filamento resultante será jalado por un motor a pasos anclado a un extrusor de aluminio de una impresora 3D para permitir una extrusión constante del filamento.

El prototipo también cuenta con un sistema de control, en el cual existen controles de la velocidad de motores y de temperatura.

4.4 Diseño de la máquina extrusora de filamento

La metodología del presente proyecto estableció los pasos a seguir para llevar un orden adecuado, por consiguiente, se lleva a cabo el diseño detallado del prototipo ya que previamente se estableció las características principales de la máquina extrusora.

4.4.1 Dimensiones del barril

Las máquinas de extrusión llevan existiendo ya por bastantes años por ende varios autores tienen diversas recomendaciones acerca de las dimensiones de estas máquinas. Cuando se habla del barril de una extrusora comercial lo recomendado es un diámetro interno que va desde 25 hasta 150 milímetros (Gutiérrez & Vargas, 2017).

Los datos mencionados son tomados como recomendación, pero para el presente trabajo se decide tomar un valor menor para el diámetro interno del barril debido a que la máquina que se pretende fabricar es tomada como un prototipo, además de que la producción será mucho menor a la de una extrusora industrial. Partiendo del catálogo de DIPAC se selecciona un tubo de cedula 40 con las siguientes dimensiones. Para ver más características vea el ANEXO 3.

Diámetro interno (D_i) = 20,96 mm

Diámetro externo (D_e) = 26,70 mm

Espesor (e) = 2.87 mm

El largo del barril viene dado por una relación entre la longitud y el diámetro (L/D) de este, los diversos autores recomiendan una relación dentro de un rango de 10 a 30. Para el presente caso

se decidió una relación de 12:1, es decir una longitud 12 veces el diámetro interno previamente seleccionado más 3 milímetros de tolerancia (Gutiérrez & Vargas, 2017). Detalles de la ecuación 1 en ANEXO 2.

$$Lb = 12 \times (Di + 3) \quad (1)$$

De la ecuación 1 se obtiene el resultado; $Lb = 254,52$ [mm].

4.4.2 Dimensiones de husillo extrusor

Este componente podría considerarse el elemento principal de máquina extrusora debido a que la gran mayoría de los resultados que se obtengan dependerán del correcto diseño y construcción del husillo extrusor.

4.4.2.1 Holgura

Este elemento de la extrusora debe tener cierta holgura con el barril. Groover en su trabajo menciona que lo ideal sean valores alrededor de 0,05 milímetros, por otro lado, Savgorodny recomienda una holgura de la multiplicación del diámetro interno del barril con una constante entre 0,002 a 0,003. En el presente trabajo se decidió usar la mayor holgura posible, por ende, se tomó la recomendación del segundo autor tomando como constante el valor de 0,003 (Gutiérrez & Vargas, 2017),(Ortiz, 2018). Detalles de la ecuación 2 en ANEXO 2.

$$\lambda = (0,003) \times Di \quad (2)$$

Realizando la operación de la ecuación 2 se obtuvo; $\lambda = 0,063$ [mm].

4.4.2.2 Diámetro del husillo extrusor

Una vez lista la holgura podemos definir el diámetro del tornillo extrusor restando esta última dos veces al diámetro interno del barril. Detalles de la ecuación 3 en ANEXO 2.

$$Dt = Di - (2 \times \lambda) \quad (3)$$

La ecuación 3 da como resultado; $Dt = 20,83$ [mm]

4.4.2.3 Longitud de rosca del husillo

Al igual que en el barril la longitud del tornillo debe obtenerse a partir de la relación L/D, para este caso se usará la misma que es de 12:1 (Gutiérrez & Vargas, 2017). Detalles de la ecuación 4 en ANEXO 2.

$$Lt = 12 \times (Dt + 3) \quad (4)$$

Aplicado la ecuación 4 se obtiene el siguiente resultado; $Lt = 253,01$ mm.

4.4.2.3 Longitud de alimentación

La Lt del tornillo debe dividirse en 3 tres secciones, siendo la primera la longitud de alimentación (La), la cual se obtiene al dividir la longitud de rosca del tornillo en dos (Gutiérrez & Vargas, 2017; Ortiz, 2018). Detalles de la ecuación 5 en ANEXO 2.

$$La = \frac{Lt}{2} \quad (5)$$

Al resolver la ecuación 5 se consigue el valor; $La = 126,51$ mm.

4.4.2.3 Longitud de compresión

La segunda sección que forma parte de tornillo es la longitud de compresión la cual se representa de la siguiente forma (Gutiérrez & Vargas, 2017; Ortiz, 2018). Detalles de la ecuación 6 en ANEXO 2.

$$Lc = \frac{Lt}{4} \quad (6)$$

La ecuación 6 da como resultado; $Lc = 63,25$ mm.

4.4.2.4 Longitud de dosificación

La tercera y última sección del tonillo es la longitud de dosificación que se obtiene de la misma forma que la anterior (Gutiérrez & Vargas, 2017; Ortiz, 2018). Detalles de la ecuación 7 en ANEXO 2.

$$Ld = \frac{Lt}{4} \quad (7)$$

El resultado de la ecuación 7 es; $Ld = 63,25 \text{ mm}$.

4.4.2.5 Paso

Detalles de la ecuación 8 en ANEXO 2.

$$w = 1 \times Dt \quad (8)$$

Donde:

-w = Paso del tornillo de extrusión

La ecuación 8 tiene como valor resultante; $w = 20,83$.

4.4.2.6 Ancho de cresta del filete

$$af = 0,08 \times Dt \quad (9)$$

Donde:

-af = Ancho de cresta

Resultado de ecuación 9; $af = 1.67 \text{ mm}$.

4.4.2.7 Profundidad del canal helicoidal de tornillo

$$h = 0,2 \times Dt \quad (10)$$

Donde:

-h = Profundidad del canal

Resultado de ecuación 10; $h = 4,17 \text{ mm}$.

4.4.2.8 Ángulo de hélice

$$\psi = \frac{w}{\pi * \left(\frac{\pi}{180}\right) * Dt} \quad (11)$$

Donde:

- ψ = Angulo de hélice

Resultado de ecuación 11; $\psi = 18,24^\circ$.

4.4.2.9 Holgura del filete

$$\delta = 0,025 \times Dt \quad (12)$$

Donde:

$-\delta$ = Holgura

Resultado de ecuación 12; $\delta = 0,521$ mm.

4.4.2.10 Numero de filetes

$$nf = \frac{Lt}{Dt} \quad (13)$$

Donde:

$-nf$ = Numero de filetes

Resultado de ecuación 13; $nf = 12,14 \approx 12$ (Gutiérrez & Vargas, 2017; Ortiz, 2018).

4.4.3 Caudal volumétrico del tornillo

El presente cálculo servirá para saber la producción que se va a obtener en base las dimensiones del barril y tornillo de extrusión, así como la velocidad a la que gire este último. La producción mencionada se calcula en base a tres tipos de flujo principalmente.

Flujo directo: Depende del giro de tornillo de extrusión.

Flujo inverso: Este es el que tiene como característica el oponerse al flujo directo.

Flujo de fugas: Representa las pérdidas de material por la holgura presente entre el tornillo y el barril.

Los tres flujos mencionados y como se aplican se presente en la siguiente ecuación (Gutiérrez & Vargas, 2017). Detalles de la ecuación 14 en ANEXO 2.

$$Q = \left(\frac{a * K}{K * \beta * \gamma} \right) n * \rho * 60 \frac{min}{hora} \quad (14)$$

Todos los cálculos relacionados con el caudal volumétrico se realizan en centímetros con la finalidad de facilitar las distintas operaciones.

4.4.3.1 Constante de flujo directo

$$\alpha = \frac{\pi * m * Dt * h * \left(\frac{w}{m} - af\right) * \cos \psi^2}{2} \quad (15)$$

Donde:

-m = Número de canales

El resultado de la ecuación 15 es; $\alpha = 2.46 \text{ cm}^3$.

4.4.3.2 Constante de flujo inverso

$$\beta = \frac{m * h^3 * \left(\frac{w}{m} - af\right) * \cos \psi * \sin \psi}{12 * Lt} \quad (16)$$

La ecuación 16 da como resultado; $\beta = 1,36 * 10^{-04} \text{ cm}^3$

4.4.3.3 Constante de fugas

$$\gamma = \frac{\pi^2 * Dt^2 * \delta^3 * \tan \psi}{10 * Lt * af} \quad (17)$$

La ecuación 17 de contante de fugas da como valor resultante; $\gamma = 4.73 * 10^{-5} \text{ cm}^3$.

4.4.3.4 Coeficiente de la forma geométrica

Las extrusoras cuentan un cabeza que dependiendo de su geometría afectara a la producción del material. Este elemento cuenta con diferentes zonas y cada una tendrá ligada una constante. Detalles de la ecuación 18 en ANEXO 2.

Canal cilíndrico

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

La ecuación 18 da como resultado; $k1 = 1,151 * 10^{-5} \text{ cm}^3$.

Canal cónico

Detalles de la ecuación 19 en ANEXO 2.

$$k_2 = \frac{3 * \pi * de^3 * ds^3}{128 * L * (de^2 + de * ds + ds^2)} \quad (19)$$

El resultado del cálculo de la ecuación 19 es; $k_2 = 1,583 * 10^{-2} \text{ cm}^3$.

Una vez obtenemos las constantes involucradas es posible calcular la constante general de la cabeza perfiladora.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}} \quad (20)$$

Donde:

-K = Coeficiente de la forma geométrica

El cálculo de la ecuación 4.20 da lugar a; $K = 1,151 * 10^{-5} \text{ cm}^3$.

4.4.3.5 Capacidad de producción

El presente diseño de extrusora está pensado para una producción de 15 metros de filamento por cada hora, para obtener una producción aproximada se realizan interpolaciones entre distintas velocidades del husillo, esto en conjunto con la densidad del PET se aplican usando la ecuación 14, los resultados de la ecuación aplicada a distintas velocidades de rotación del husillo se pueden ver en la tabla 1 del ANEXO 2.

Con el resultado de las interpolaciones se utilizará 5 rpm para lograr una producción de filamento de 15 metros por cada hora.

4.4.4 Potencia requerida

Conocer la potencia correcta que requerirá el prototipo, es de gran ayuda para realizar la correcta selección del motor y evitar posibles percances a futuro.

4.4.4.1 Potencia teórica

La potencia para realizar el movimiento requerido puede calcularse con la formula proporcionada por Savgorodny (Gutiérrez & Vargas, 2017; Ortiz, 2018). Detalles de la ecuación 21 en ANEXO 2.

$$Pt = \frac{n * \pi * Dt^3}{K^2} \quad (21)$$

La ecuación 21 da el valor de; $Pi = 31,93 \text{ W}$.

4.4.4.2 Perdidas por instalaciones eléctricas

Este tipo de pérdidas se pueden calcular con la siguiente ecuación (Ortiz, 2018).

$$Pi = 0,015(Pt) \quad (4.22)$$

Donde:

- Pi = Perdida por instalaciones eléctricas (Watts)

El resultado de la ecuación 4.22 es de; $Pi = 0,479 \text{ W}$

4.4.4.3 Perdidas en motores

Es tipo de perdidas eléctricas se producen al momento de arrancar motores y se calculan mediante la siguiente ecuación y en la cual se considera un deslizamiento de 3% (Ortiz, 2018).

$$Pm = 0,03(Pt) \quad (4.23)$$

Donde:

- Pm = Perdidas por motores o generadores

Al momento de aplicar la ecuación 4.23 se obtiene el valor de; $Pm = 0,958 \text{ W}$.

4.4.4.4 Potencia Real

$$Pr = Pt + Pi + Pm \quad (4.24)$$

De la ecuación 4.24 se obtiene; $Pr = 33,367 \text{ W}$.

4.4.4.5 Momento de giro

El momento de giro es calculado para determinar la flecha máxima admisible, este dato será comprobado con la simulación el software SolidWorks.

(Gutiérrez & Vargas, 2017).

$$Mg = 9950 \frac{Pr}{n} \quad (4.25)$$

Donde:

-Mg = Torque requerido

-n = Velocidad angular del husillo en rpm

A partir de la ecuación 4.25 se obtiene el resultado de; T = 63,726 Nm.

4.4.4.6 Selección de motor

Ya obtenido el dato de la potencia se selecciona el motor se busca uno que cumpla con los parámetros. Al final se decidió elegir un motorreductor de 24v que tiene como característica de potencia 54 vatios.

4.4.5 Resistencia calefactora

Es necesario tener conocer las características de este componente para tener claro la energía que este consumirá, especialmente para que el fabricante de dicha pieza tenga los valores correctos y sea construida adecuadamente. Se debe conocer la temperatura a la que trabajara, así como su potencia. Los cálculos para obtener dichos parámetros se realizaron con las ecuaciones proporcionadas por el libro “Transformación de plásticos” del autor Savgorodny (Gutiérrez & Vargas, 2017). Los detalles de las Ecuaciones 26 a la 34 se encuentran en el ANEXO 2.

4.4.5.1 Presión máxima dentro la extrusora

La presión se calcula en base al material que se va a extruir, en este caso se usa el dato de viscosidad efectiva del PET siendo 700 Pa*s.

$$P_{max} = \frac{6\pi * Dt * Lt * n * u}{ha^2 * \tan(18,24^\circ)} \quad (26)$$

Ecuación 26, Pmax= 29,13 MPa

4.4.5.2 Flujo total dentro de la extrusora

$$Qt = \alpha(n) - \beta\left(\frac{\Delta P}{u}\right) \quad (27)$$

Ecuación 27, Qt = 6,14 * 10⁻⁶ m³/s

4.4.5.3 Volumen del barril

$$Vb = Lb * \pi * (De^2 - Di^2) \quad (28)$$

Ecuación 28, Vb = 5,46 * 10⁻⁵ m³

4.4.5.4 Superficie externa del barril

$$Ae = 2 * \pi * De * Lb \quad (29)$$

Ecuación 29, Ae = 0,0213 m²

4.4.5.5 Tiempo de residencia de la mezcla

Es el lapsus que el PET va a residir dentro del barril y en donde se producirá el cambio de solido a líquido.

$$Tpo = \frac{\pi * Lt * RDt}{Qt} \quad (30)$$

Ecuación 30, Tpo = 12,64 s

4.4.5.6 Diferencias de temperatura del barril

$$\Delta Tb = Tm - Ta \quad (31)$$

Ecuación 31, ΔT = 375 °K

4.4.5.7 Flujo de calor

La resistencia calefactora debe ser capaz de alcanzar el punto de transición vítrea de los termoplásticos. El calor suministrado para esta acción es el flujo de calor calculado en la ecuación 32.

$$Q_r = \delta * V_b * C_e * \Delta T_b \left[1 - e^{\left(\frac{T_{po} * U_b * A_e}{\rho A * V_b * C_e} \right)} \right] \quad (32)$$

Ecuación 32, $Q_r = 3806,495 \text{ J}$

4.4.5.8 Potencia aparente

$$P_{ap} = \frac{Q_r}{T_{po}} \quad (33)$$

Ecuación 33, $P_{ap} = 301,069 \text{ W}$

4.4.5.9 Potencia real

Los dispositivos de calentamiento como las resistencias calefactoras están expuestas a sufrir desgaste ya sea por corrosión u otros factores, por ende, es necesario multiplicar la potencia aparente por un factor de envejecimiento, así como también por un factor de sobredimensionamiento para corregir el error generado por la tardanza de las resistencias para llegar a su temperatura máxima.

$$P_{real} = P_{ap} * f_{en} * f_{sd} \quad (34)$$

Ecuación 34, $P_{real} = 397,412 \text{ W}$

4.4.6 Modelado en SolidWorks

Una vez los cálculos fueron realizados y con los valores de las dimensiones obtenidos se procede a realizar el modelado de las distintas piezas que requieran de algún proceso de manufactura para así poder generar los planos de taller necesarios para su fabricación.

4.4.6.1 Barril y tolva

Las dimensiones del barril fueron elegidas en la sección anterior en base a los cálculos realizados los cuales con la aplicación de distintas fórmulas nos dieron un tamaño específico para la producción de filamento que requerimos. La vista preliminar del barril en SolidWorks se puede ver en la figura 12.

Figura 12

Vista isométrica del barril en SolidWorks

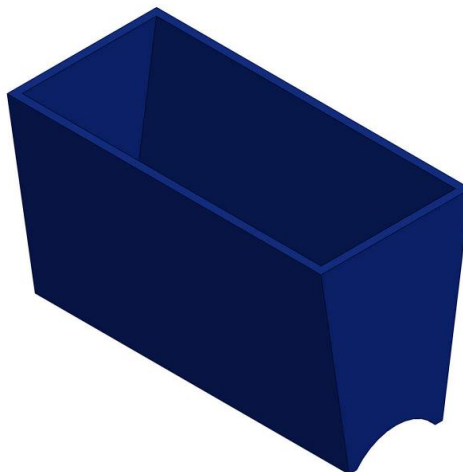


Nota: Elaboración propia.

El tamaño de la tolva se diseñó en base a la cantidad de material que se va a introducir a la extrusora y además de tomar en cuenta el dato que obtuvimos del husillo extrusor, específicamente a la sección de alimentación de este último. La tolva se muestra en la figura 13.

Figura 13

Vista isométrica de la tolva



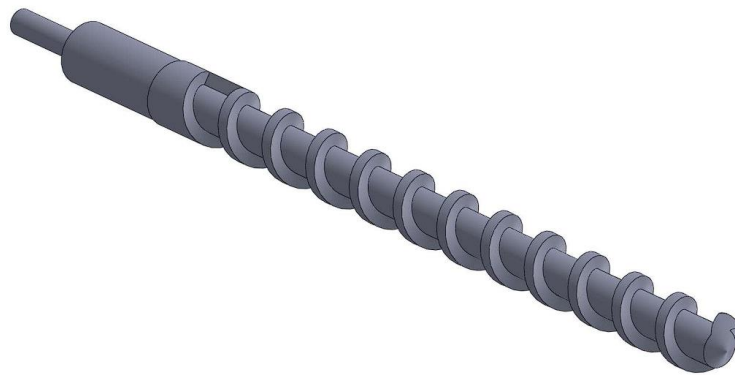
Nota: Elaboración propia.

4.4.6.2 Husillo de extrusión

El presente elemento tomo como referencia los valores obtenidos en los cálculos de este, agregando dos secciones de sujeción en base a la chumacera y acoples. La figura 14 da un vistazo de la vista preliminar del husillo extrusor.

Figura 14

Vista isométrica del husillo extrusor



Nota: Elaboración propia.

4.4.6.3 Acople barril-boquilla

Este acople está pensado para la unión del barril con el acople de la boquilla de extrusión, además de tener una perforación que ayudara con la sujeción del termopar que ayudara con el control de temperatura. El modelo del elemento está presente en la figura 15.

Figura 15

Vista isométrica del acople barril-boquilla



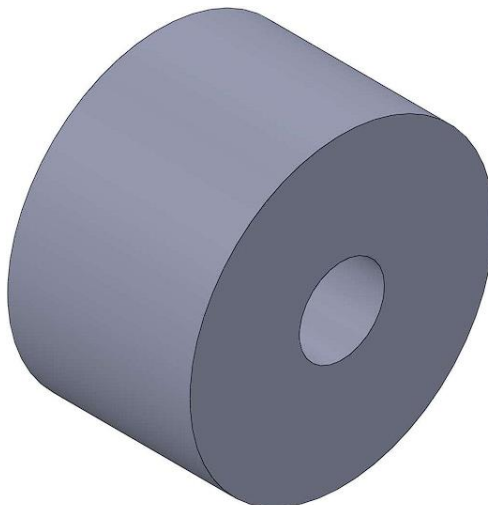
Nota: Elaboración propia.

4.4.6.4 Acople de boquilla

Este elemento es el encargado de aloja a la boquilla. Tiene una perforación con roscado M8 para tener la posibilidad de intercambiar la boquilla. El diseño en SolidWorks se puede ver en la figura 16.

Figura 16

Vista isométrica del acople de boquilla



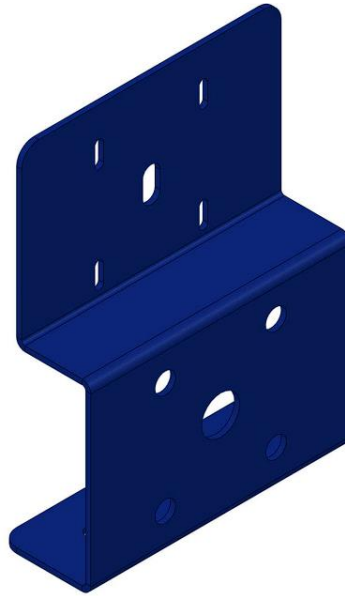
Nota: Elaboración propia.

4.4.6.5 Soporte de motor

Para el diseño de dicho soporte se tomó como referencia el motor y chumacera seleccionados, ya que estos son los principales elementos que van unidos al mismo. La forma está diseñada para volverla lo más compartá posible. El modelo final se muestra en la figura 17.

Figura 17

Vista isométrica del soporte de motor



Nota: Elaboración propia.

4.4.6.6 Brida cuadrada

Al no encontrar una brida de tamaño adecuada, se diseñó una tomando como referencia las dimensiones de la chumacera, así como la del barril, este con la finalidad de que los elementos se acoplen de la mejor manera y así poder evitar choque entre el barril el husillo. EL diseño de la brida se pude ver en la figura 18.

Figura 18

Vista isométrica de la brida cuadrada



Nota: Elaboración propia.

4.4.6.7 Aislantes

El objetivo de estos elementos es ayudar con la sujeción del barril y el centrado del mismo, así como también el aislar el calor producido por la resistencia calefactora de los demás componentes. Se plantea usar un aislante metálico y otro de madera los dos con las mismas dimensiones la cuales se tomaron a partir de la chumacera. La figura 19 se puede ver el diseño en SolidWorks.

Figura 19

Vista isométrica del aislante



Nota: Elaboración propia.

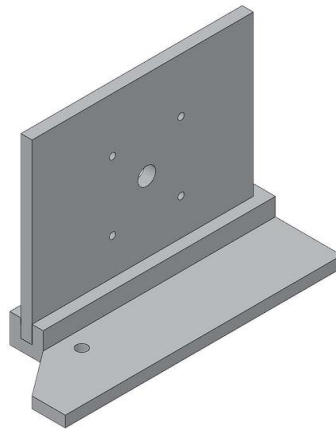
4.4.6.8 Sistema de halado de filamento

Base y pared

Para la sujeción del motor y extrusor de impresora se diseñó la base y pared que se puede ver en la figura 20.

Figura 20

Vista isométrica de base y pared del sistema de halado de filamento



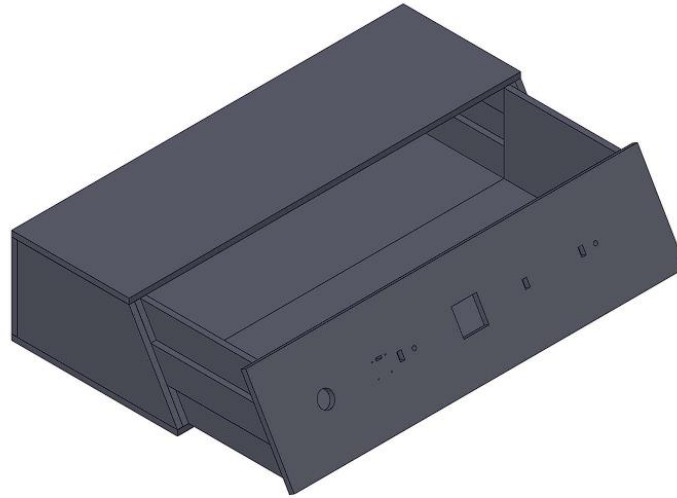
Nota: Elaboración propia.

4.4.6.9 Panel de control

El diseño del panel de control presentado en la Figura 21, este pensado para albergar sobre él los componentes encargados de la extrusión del filamento y que en su parte interna pueda guardar todo lo relacionado a elementos de control. El diseño se presenta como caja-cajón, ya una sección puede deslizarse y visualizar los componentes eléctricos para correcciones de conexiones o modificaciones de ser necesario.

Figura 21

Vista isométrica de panel de control



Nota: Elaboración propia.

4.5 Análisis y simulación componentes críticos

La realización de análisis y simulaciones de piezas en SolidWorks es fundamental en el proceso de diseño y construcción de una máquina. Estos análisis proporcionan una evaluación exhaustiva de las características y comportamientos de las piezas clave, permitiendo identificar posibles deficiencias y debilidades antes de la fabricación.

4.5.1 Análisis estático de husillo extrusor

EL presente diseño no se ve enfrentado a grandes retos mecánicos ya que al ser una máquina de baja producción los esfuerzos que se presentan en ella son mínimos, pero es necesario hacer un análisis estático del componente principal de dicho prototipo para descartar cualquier tipo de falla que no se haya considerado.

El análisis se hizo usando el software de SolidWorks y aplicando un modelo llamado método h, el cual permite hacer varias simulaciones hasta que el resultado converja hacia el uno que más se aproxime a la realidad.

El husillo solamente será expuesto a una fuerza que es la de la gravedad, ya que el plástico procesado afecta de una forma mínima ya que el material es usado en pocas cantidades además

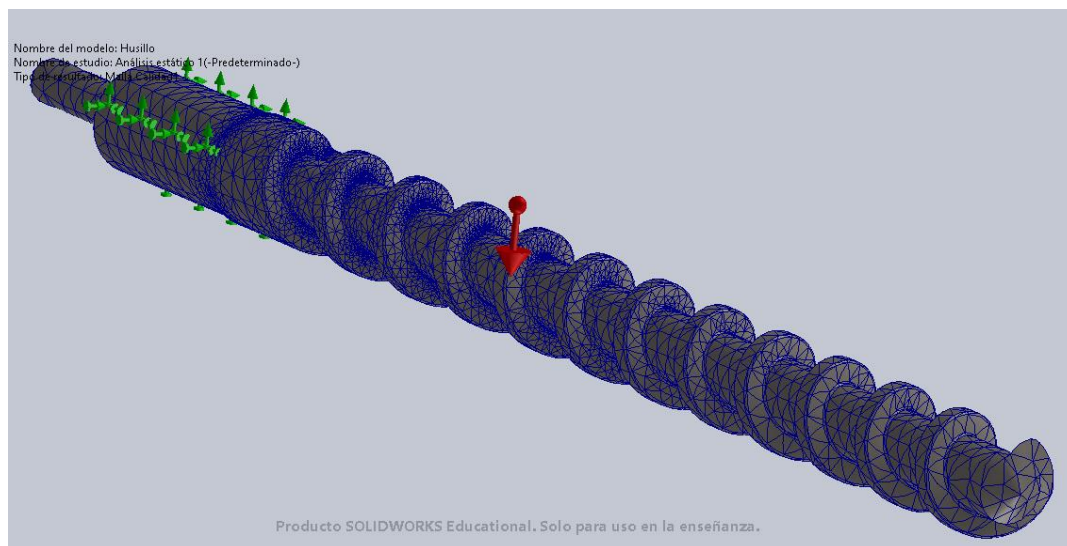
que por las dimensiones del husillo al ser un elemento más pequeño de lo normal no se ve afectado por estos factores. En donde si se nota posibles afectaciones son las producidas por su propio peso y eso es lo que se analizará.

Primero se inicia aplicado un material al tornillo, que para este caso será el AISI 304, para después agregar la sujeción que representa la chumacera y por último se somete al elemento a una fuerza que es la gravedad terrestre.

Una vez listo el todo lo anterior aplicamos el método h para obtener el resultado más acertado al real. Esta forma de obtención de resultados realiza varias simulaciones progresivas modificando automáticamente el mallado en las zonas más tensionadas para obtener un valor más acertado. El mallado después de las 4 iteraciones realizadas se puede ver en la figura 22.

Figura 22

Mallado para análisis estático



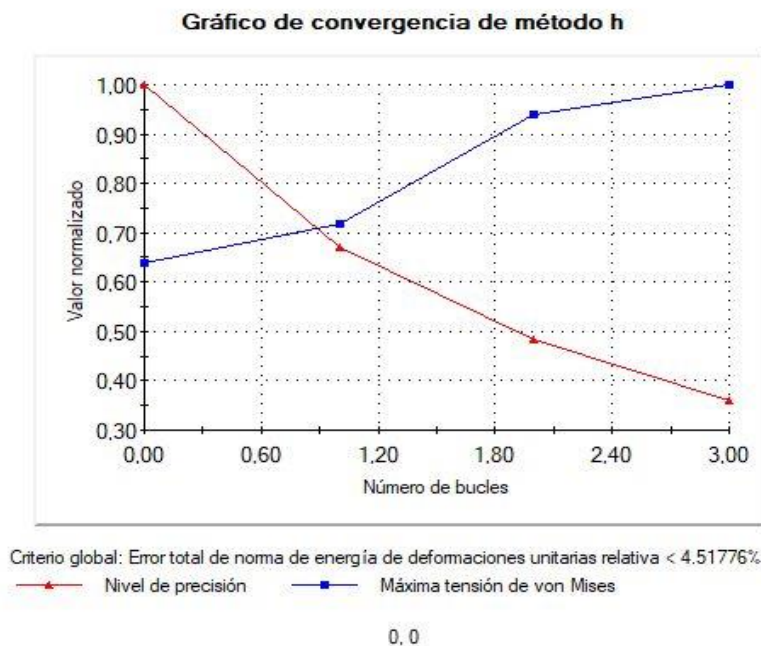
Nota: Configuración automática de mallado con el método h (Elaboración propia).

Como se puede ver en la figura anterior existen zonas más oscuras en las cuales el mallado es más denso debido a que esos lugares son las secciones críticas del elemento por ende nodos de menor tamaño ayuda a obtener un resultado más acertado y cercano al real.

Para ver la tendencia que han tomado la secuencia de simulaciones se obtiene una gráfica en la cual se ve hacia que valor han tendido los mismos, estos datos se ven en la figura 23. Cuando los valores se van normalizando la pendiente de curva se vuelve más horizontal y ahí podremos saber que la simulación es correcta.

Figura 23

Gráfico de convergencia del método h



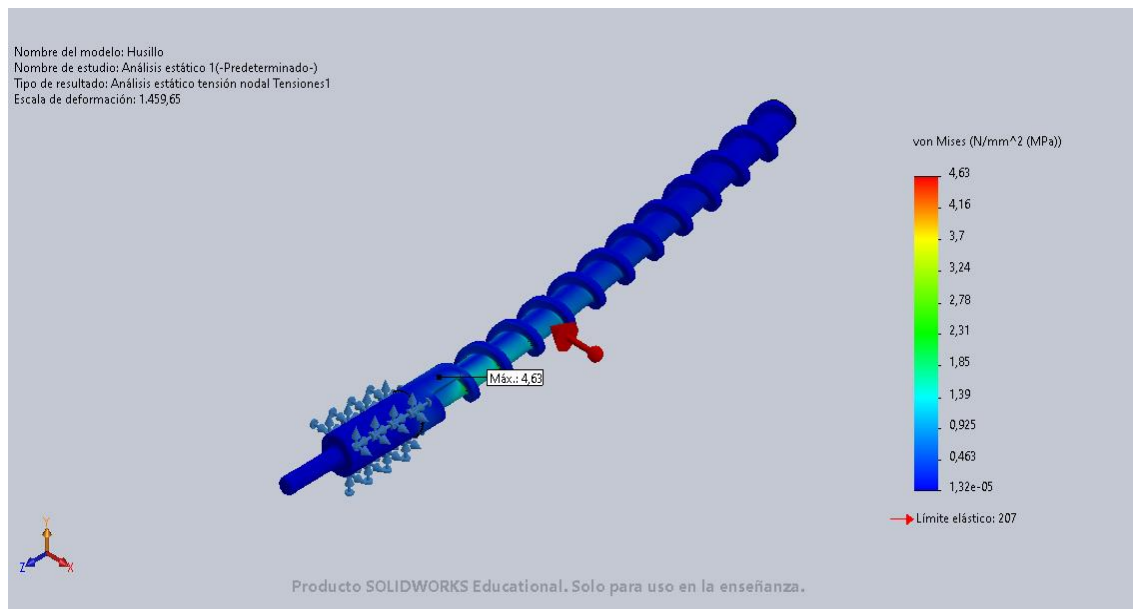
Nota: Elaboración propia.

En esto tipo de simulación se obtiene el mallado y los resultados al mismo, por lo que a cambio de un poco más de poder computacional se gana facilidad en la operación.

De los resultados de importancia para el presente estudio esta las tensiones presentes en el elemento las cuales se puede ver en la figura 24.

Figura 24

Valores de tensión presentes en el husillo extrusor

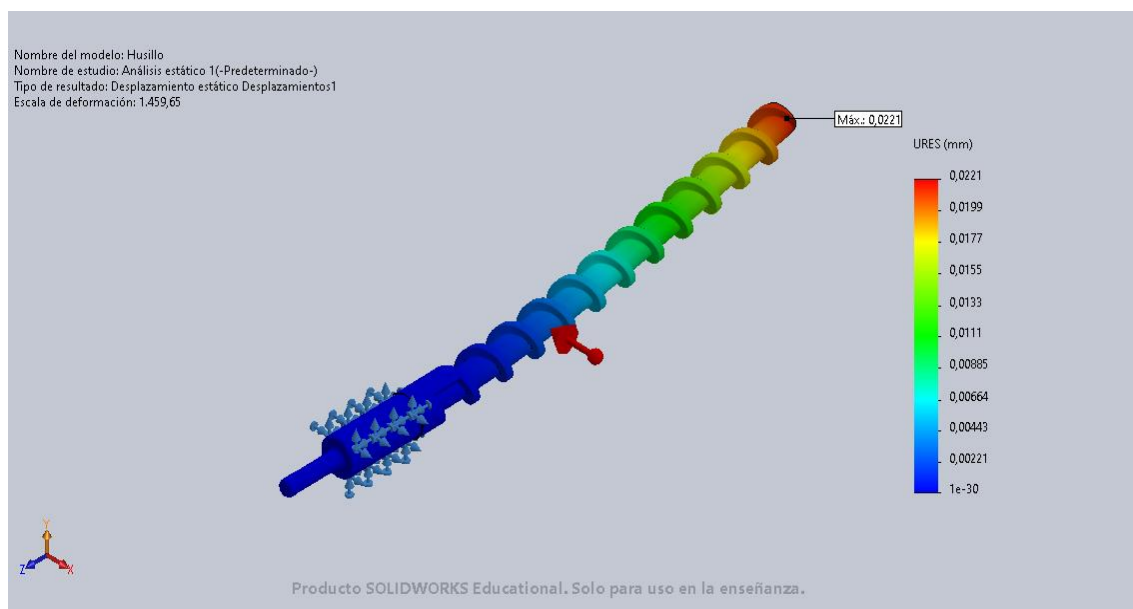


Nota: Elaboración propia.

El resultado que posiblemente sea el más importante son los desplazamientos debido a que dependiendo de cuanto se curve el husillo se podría generar choques entre el tornillo de extrusión y el barril. Los desplazamientos se pueden ver en la figura 25.

Figura 25

Desplazamientos del husillo



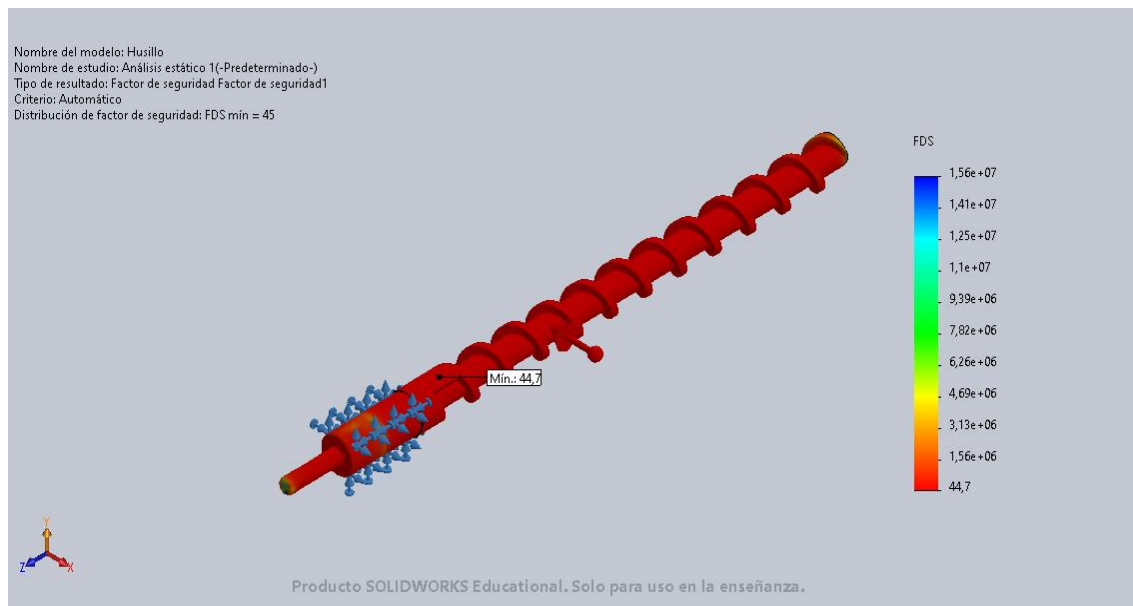
Nota: Elaboración propia.

En un ámbito industrial existen ya deflexiones permisibles para el presente caso y obtener el valor máximo se debe dividir la longitud del husillo entre 800, el resultado de esto nos da 0,316 mm lo cual es menor al resultado obtenido en la simulación por lo que todo está diseñado correctamente.

Como último resultado se obtiene el factor de seguridad para saber que la pieza soportará todo a lo que será sometido. Para este caso la pieza esta sobredimensionada debido a que cuando se diseñó se siguiendo parámetros ya establecidos hacer la pieza más pequeña hubiera significado alejarse demasiado de lo ya establecido y cambiar de material no es recomendable ya que necesita de un acero resistente a corrosión y desgaste, el resultado del factor de seguridad se puede ver en la figura 26.

Figura 26

Factor de seguridad



Nota: Elaboración propia.

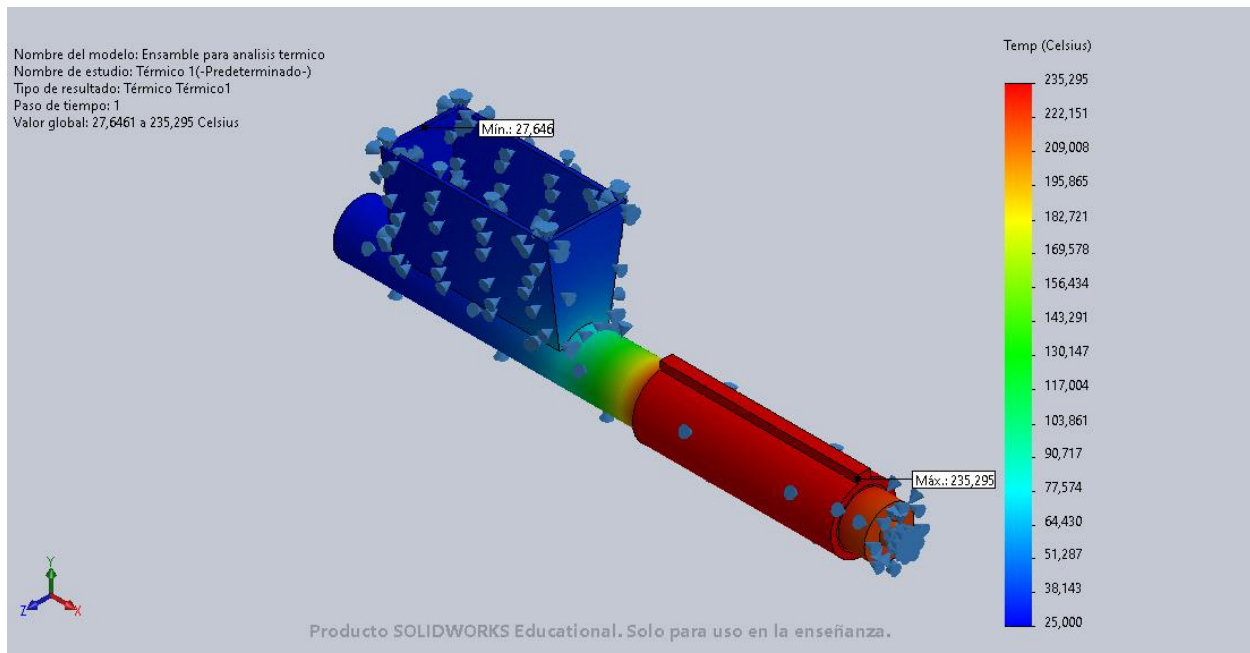
4.5.2 Análisis térmico de componentes expuestos a altas temperaturas

Este análisis se realizó con el objetivo de saber cómo se distribuye y disipa el calor en el proceso de extrusión y poder evaluar los puntos críticos del conjunto y saber a ciencia cierta que lugares el plástico está expuesto a más calor y así evitar la degradación de este por un exceso de temperatura.

En el sistema del prototipo el termopar está ubicado al final de la extrusora y la temperatura que registra no es la máxima debido a su ubicación por ende se realiza este análisis térmico poder comprobar el punto máximo de calor que se genera en la máquina. Se simuló los elementos que están en contacto directo con la resistencia calefactora esta distribución se puede ver en la figura 27.

Figura 27

Distribución de calor en conjunto de extrusora

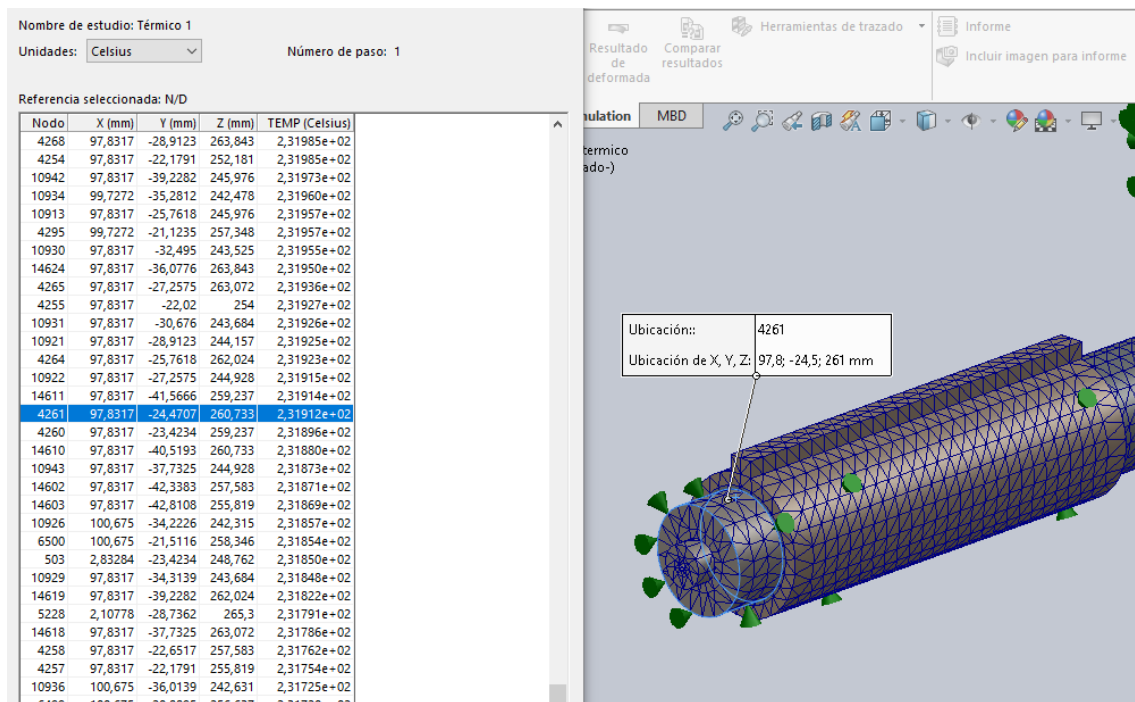


Nota: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 27 el calor se disipa de manera rápida conforme se aleja de la resistencia calefactora, para este caso es de vital importancia el saber la temperatura a la que esta es acople de boquilla ya que ahí será donde se ubica el termopar y la temperatura de referencia que se tiene a la hora de realizar la extrusión de filamento, si el calor se disipo demasiado rápido el plástico podría enfriarse en la boquilla y producir atascamientos. Para realizar la comprobación de temperatura de eligió un nodo y se comprobó la temperatura en dicho lugar y así saber si habría problemas por la disipación de calor. En la figura 28 se puede observar la temperatura del nodo seleccionado.

Figura 28

Nodo de ubicación de termopar



Nota: Elaboración propia.

Al seleccionar el nodo obtenemos una temperatura de 231 °C que está dentro de lo permitido y no generaría ningún problema.

4.6 Selección de componentes

La selección adecuada de componentes es crucial en la construcción de una máquina, ya que asegura su funcionamiento óptimo y confiable. Cada componente cumple una función específica y su elección influye en la compatibilidad, rendimiento y durabilidad del conjunto. Optar por componentes de calidad y adecuados garantiza un diseño más eficiente, menor riesgo de fallos y mayores niveles de seguridad, contribuyendo al éxito del producto final.

4.6.1 Motores

La ecuación 24 dio como resultado los valores mínimos para poder activar la máquina, a partir de estos se decidió elegir un motor de corriente continua ya que los valores de potencia requerida son muy bajos y con este tipo de motores es suficiente para satisfacer las necesidades que se requiere. El motor más adecuado que se encontró fue un motor de 24 voltios con una potencia de 54 vatios, este se puede ver en la figura 29. También se requiere de un segundo motor para jalar el filamento obtenido, para esto se seleccionó un motor a pasos usados en los extrusores de impresoras 3D, para este caso no se requiere un motor de alta potencia solo uno que sea capaz de activar el extrusor final por lo que este se seleccionó bajo recomendación del proveedor, el motor se puede ver en la figura 29.

Figura 29

Motores para extrusora



Nota: (a) Motor DC 24 voltios, (b) Motor a pasos NEMA17 42STH40-1204, (Elaboración propia).

4.6.2 Control de temperatura

Actualmente existen muchos tipos de control de temperatura los cuales ya fueron mencionados en el marco referencia, para este proyecto se busca un control que sea lo más preciso posible por lo que un dispositivo PID es el más adecuado. El controlador elegido para este trabajo es el REX-C100 presente en la figura 30, debido a su bajo costo, además de contar con una función importante que es el autotunnig, esto permitirá que el controlador calibre sus parámetros automáticamente y así no se tenga que realizar los cálculos y simulaciones manualmente.

Este dispositivo viene con distintas configuraciones y accesorios desde fabrica, por ende, se seleccionó la serie REX-C100-FK02-M-AN, siendo esta la más adecuada dentro los conjuntos disponibles debido a que cumple satisfactoriamente los parámetros para esto proyecto como contar con un termopar tipo K con un rango de temperatura que va desde los 0 a los 400 °C y un relé de estado sólido para la activación de la resistencia calefactora. En el ANEXO 4 se puede visualizar los distintos modelos disponibles a partir de los cuales se seleccionó este componente.

Figura 30

Controlador de temperatura Rex-C100



Nota: Controlador de la línea REX – C. Tomado del catálogo RCK INSTRUMENTS INC (ANEXO 4).

4.6.3 Resistencia calefactora

Existen diversas formas de elevar la temperatura de los materiales como se mencionó anteriormente en la sección de investigación, pero para el tipo de casos como el presente prototipo la más adecuada es una resistencia calefactora tipo abrazadera, ya que la sección sobre la cual se coloca es un tubo y esta es la que cubre de mejor manera el área que se quiere calentar. Esta pieza fue fabricada a la medida de la máquina, el fabricante la construyó a partir de los datos de una longitud de 10 centímetros, un diámetro interno de 28 mm y finalmente que sea capaz de alcanzar temperaturas de hasta 300° Celsius y que tenga una potencia aproximada de 400 vatios. Con estos datos el fabricante entregó la resistencia que se puede ver en la figura 31. El fabricante entregó una resistencia calefactora de 1500 vatios ya que es la mínima con la que son construidas.

Figura 31

Resistencia calefactora



Nota: Elaboración propia.

4.6.4 Control de velocidad

El tener el control de la velocidad a la que gira el husillo es de vital importancia para determina la producción que se desea tener. Existen diversas formas de controlar la velocidad de un motor de corriente continua, para el presente caso se usarán variadores de velocidad con modulación de pulso, ya que estos solamente afectan a la velocidad del motor sin perder la potencia de este, uno de los puntos más importantes, ya que el husillo extrusor requerirá una fuerza considerable para moverse y es importe mantener los parámetros por encima de los mínimos requeridos. La figura 32 muestra el controlador PWM elegido, este tiene rango de voltaje hasta los 60 voltios y 20 amperios, lo cual es más que suficiente para satisfacer las necesidades del presente proyecto.

Figura 32

Controlador PWM para motorreductor



Nota: La selección del controlador se realizó de bajo la recomendación del proveedor. Tomado de la página Roboticsec (Robotics, s/f).

4.6.4 Fuente de alimentación

Gran parte los componentes de la máquina trabajan con corriente continua, por ende, es necesario una fuente de poder que tenga diferentes salidas de voltaje para las distintas aplicaciones. En la figura 33 se muestra la fuente seleccionada, esta contiene tres salidas de 5, 12, y 24 voltios con una corriente de 3 amperios cada una, estas características cumplen satisfactoriamente los requerimientos de la máquina.

Figura 33

Fuente de poder



Nota: La selección de la fuente se realizó tomando en cuenta que tenga 3 salidas de voltaje priorizando una corriente de 3 amperios en cada salida. Tomado de página Novatronic (Novatronic, s/f).

Las demás piezas llevan consigo un proceso de manufactura por lo que en la sección de construcción y ensamble se indica el material que se eligió para dichos elementos.

4.7 Diseño eléctrico y programación

Ya una vez seleccionado los componentes eléctricos se puede diseñar tanto el circuito de poder como el de control. Para esto se usó el software AutoCAD debido a su facilidad para la

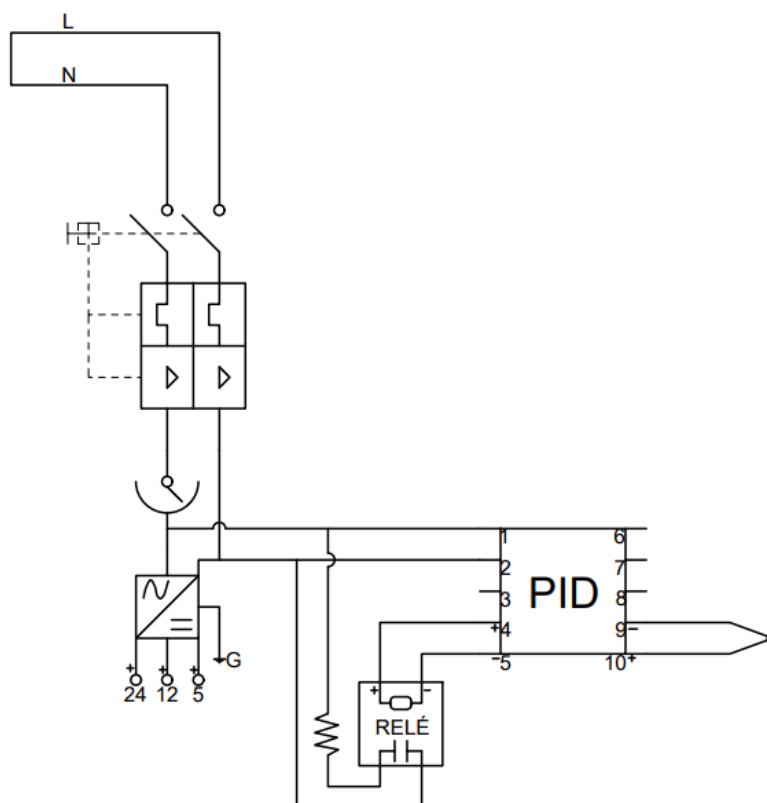
creación de bloques de componentes, esto es de ayuda debido a que los programas de diseño eléctricos no contaban con los componentes necesarios para este proyecto.

4.7.1 Circuito de poder

En esta sección se incluye las conexiones de los componentes que tienen las conexiones directas y trabajan con la red de energía de 110 AC, además de mencionar que las conexiones de dichos componentes se realizaran con cable de cobre de calibre 14 y cable de asbesto del mismo calibre, este último solo se usó para la conexión de la resistencia calefactora. El diseño del circuito de panel de control se puede ver en la figura 34.

Figura 34

Diseño de circuito de poder



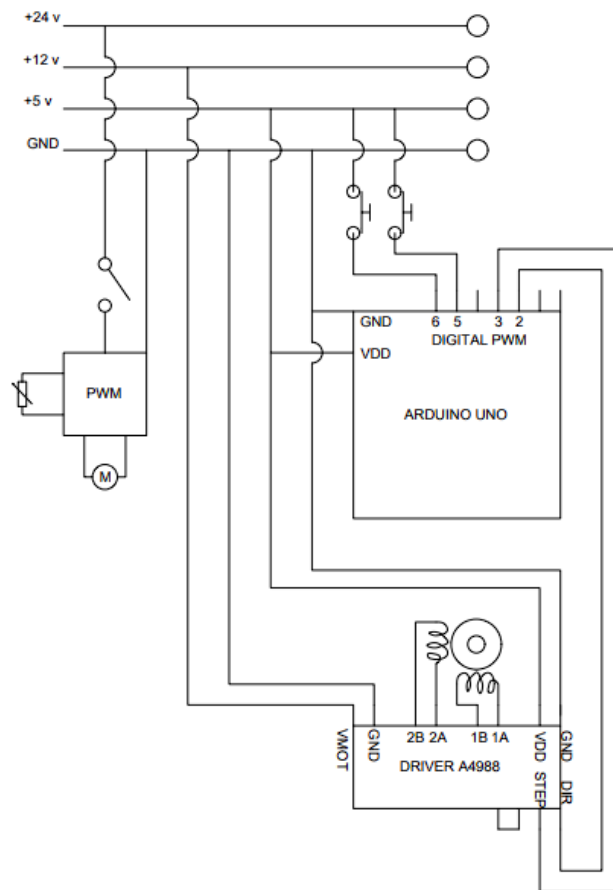
Nota: Elaboración propia.

4.7.2 Circuito de control

Las conexiones en los componentes de control se realizaron con líneas de voltaje de 24, 12 y 5 DC. El diseño de este circuito de control se muestra en la figura 35.

Figura 35

Diseño de circuito de control



Nota: Elaboración propia.

4.7.3 Programación de Arduino

En circuito de control se usa un Arduino UNO y el controlador A4988 para el manejo de la velocidad de motor a pasos, el uso de estos componentes requiere de programación para su funcionamiento. Teóricamente se tiene que para jalar el filamento el motor a pasos debe girar a 7

rpm, pero debido a que al llevar los procesos a la práctica puede existir variaciones se realizó la programación configurando 5 velocidades que van desde 3 a 7 rpm, el cambio de velocidad será controlado por 2 pulsadores que subirán y bajarán la velocidad. Se decidió usar pulsadores ante un potenciómetro debido a que esa manera se puede conocer los pasos por segundo exactos a los que se mueve el motor a pasos. Dichos pulsadores se deben configurar en la programación. El código utilizado se puede mirar en el ANEXO 5.

4.8 Construcción y ensamble

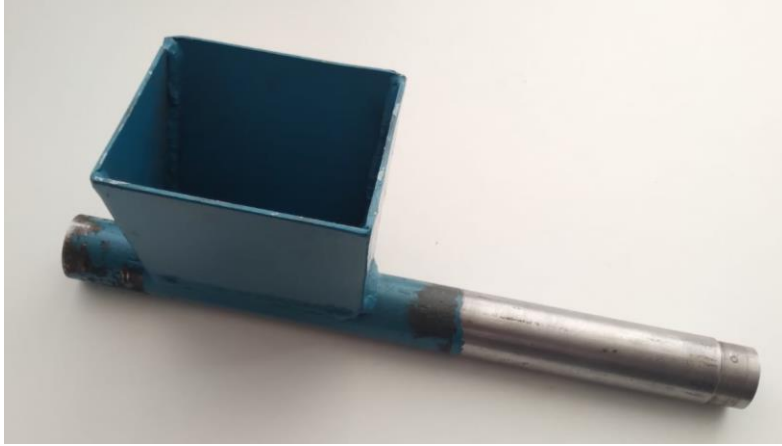
Una vez los díselos mecánicos eléctricos estén listos y realizada una correcta adquisición de los componentes involucrados en el prototipo, se lleva a cabo la construcción de la máquina iniciando por la parte estructural para terminar con el ensamble de los componentes comerciales tanto mecánicos como eléctricos.

4.8.1 Barril y tolva

El material elegido para construir el barril fue un tubo cedula 40 resistente a altas temperaturas. Para una lámina de acero negro de 2 mm. Al final se unieron los dos mediante soldadura, el resultado de la fabricación se puede ver en la figura 36. Características de los materiales en ANEXO 3.

Figura 36

Fabricación de barril y tolva



Nota: Elaboración propia.

4.8.2 Husillo de extrusión

El elemento fue fabricado en acero inoxidable con las características mostradas en el ANEXO 3, fue enviado a un taller para su fabricación con las especificaciones obtenidas anteriormente en la sección de cálculos. La figura 37 muestra el resultado obtenido.

Figura 37

Husillo extrusor



Nota: Elaboración propia.

4.8.3 Acople termopar

La pieza fue fabricada con un tubo cedula 80 a la cual se le hizo una perforación M6 para alojar al termopar. El presente acople se puede ver en la figura 38. Características de los materiales en ANEXO 3.

Figura 38

Acople termopar



Nota: Elaboración propia.

4.8.4 Acople de boquilla

Este acople presente en la figura 39 se fabricó en acero de transmisión y se le realizó una perforación M8 para alojar a la boquilla correspondiente y que esta pueda ser intercambiable de ser necesario. Características de los materiales en ANEXO 3.

Figura 39

Acople boquilla



Nota: Elaboración propia.

4.8.5 Soporte de motor

Además de ser el soporte del motor es también donde se alojan el resto de elementos como lo es la chumacera, brida y barril. Las perforaciones están pensadas para que estos tres últimos

queden alineados. Se lo fabrico en un lamina de acero negro de 3 mm. El resultado de la fabricación se puede ver en la figura 40. Características de los materiales en ANEXO 3.

Figura 40

Soporte de motor



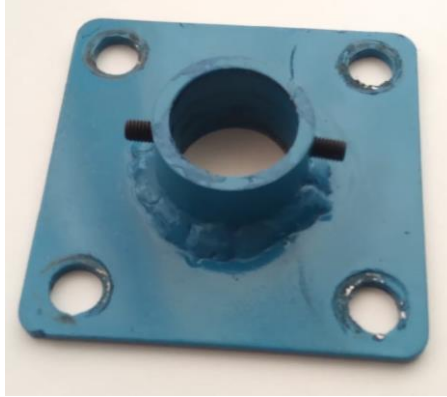
Nota: Elaboración propia.

4.8.6 Brida cuadrada

La brida mostrada en la figura 41 fue fabricada a partir de una lámina de acero de 3 mm, así como también de un tubo de acero cedula 80 al cual se le realizo dos perforaciones M5 para alojar dos prisioneros que ayuden con la sujeción del barril. Características de los materiales en ANEXO 3.

Figura 41

Brida cuadrada



Nota: Elaboración propia.

4.8.7 Aislantes

Estos elementos fueron fabricados en láminas de acero de 3 mm, así como también en madera trípex de 4 mm. La figura 42 muestra el resultado de estos.

Figura 42

Aislantes



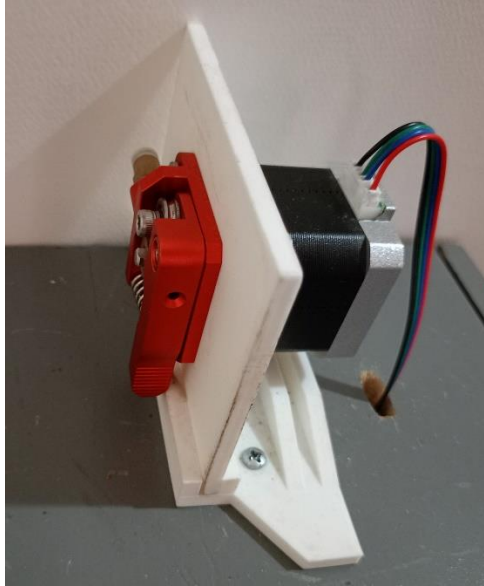
Nota: Elaboración propia.

4.8.8 Sistema de halado de filamento

Como se puede ver en la figura 43 la gran mayoría de las piezas fueron fabricados en PLA mediante impresión 3D, excepción de los elementos de distinto color que son parte del extrusor de una impresora 3D.

Figura 43

Sistema de halado de filamento



Nota: Elaboración propia.

4.8.9 Panel de control

El mostrado en la figura 44 fue fabricado en madera en su totalidad, debido a la facilidad de construcción y obtención. Está dividido en dos partes principalmente la caja y el cajón, en este último se ubican todos los componentes de control y conexiones eléctricas tanto internas como externas.

Figura 44

Panel de control



Nota: Elaboración propia.

4.8.10 Ensamble estructural

Al finalizar la construcción de las diferentes piezas se realizó el ensamble final como se puede ver en la figura 45. La gran mayoría de las piezas van sujetas al soporte del motor y este a la vez es el que se ajusta al panel de control que funge también como base de todo el prototipo. Todas las piezas se unieron con ayuda de pernos para así facilitar la calibración que se requiere al momento de poner el barril y husillo extrusor lo cuales son los más propensos a sufrir choques.

Figura 45

Ensamble de extrusora de filamento



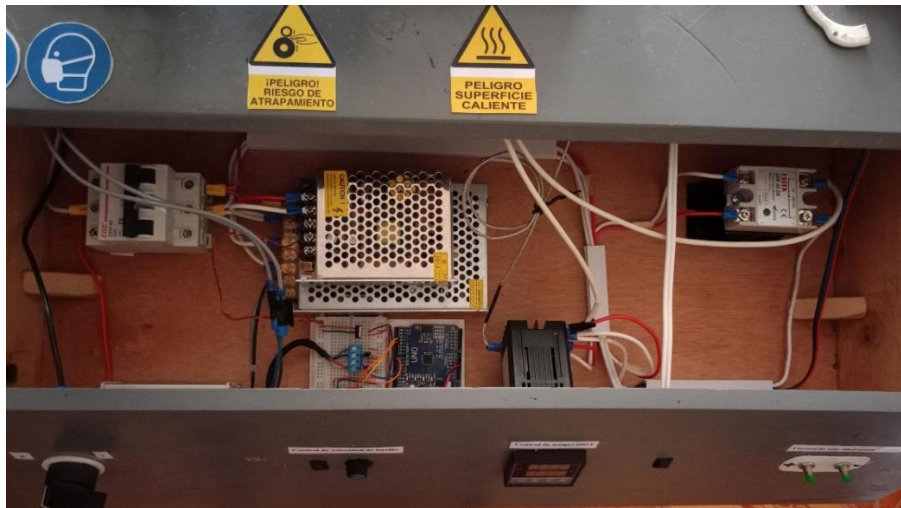
Nota: Elaboración propia.

4.8.11 Ensamble de sistema electrónico

La gran mayoría de conexiones se realizaron utilizando cable de calibre 14, teniendo solamente un cambio la conexión de la resistencia calefactora para la cual se usó cable de asbesto calibre 12, esto ya que se manejarán temperaturas alrededor de 240 ° Celsius por lo que es necesario utilizar este tipo de cables, las conexiones se pueden ver en la figura 46.

Figura 46

Circuito de poder y control ensamblado



Nota: Elaboración propia.

4.9 Costos

El análisis de costos se dividió en dos secciones la parte estructural y la sección de control para tener una mejor vista de cómo fueron llevados los gastos en el presente proyecto.

4.9.1 Costos sistema estructural

La tabla 6 muestra los precios del material que se usó para la construcción de la parte netamente estructural del prototipo.

Tabla 6*Costos de construcción de sistema estructural*

Descripción	Costos (dólares)
Soporte Motor	6
Brida Cuadrada	3
Aislantes	2
Husillo	80
Barril y tolva	5
Chumacera	8
Tornillería	5
Poleas	10
Correa dentada	5
Base-panel de control	20
Acoples y boquilla	10
Total	154

Nota: Elaboración propia.

4.9.2 Costos de sistema de control

Los precios de los componentes eléctricos se muestran en la tabla 7.

Tabla 7*Costos de componentes electrónicos*

Descripción	Cantidad	Costo (dólares)
Controlador PWM	1	20
Motor a pasos	1	20
Fuente de poder	1	40
Resistencia calefactora	1	25

Motorreductor	1	40
Controlador PID	1	31
Arduino	1	10
Switches y pulsadores	4	6
Cables		5
Cable de asbesto		8
	Total	205

Nota: Elaboración propia.

Al total obtenido se le suman 20 dólares más por trabajos de taller para correcciones, por lo que el precio final de la máquina extrusora es de 379 dólares.

4.10 Pruebas de funcionamiento

Con las pruebas realizadas, se pudo ver en la máquina como influyen las diferentes variables en resultado final de producto.

Como primera parte se realizaron pruebas al panel de control para verificar el funcionamiento de todos los componentes eléctricos y que sus conexiones estén realizadas correctamente y así evitar posibles cortos circuitos.

Como segunda parte se debe verificar la materia prima que se va a usar, este caso las botellas de PET trituradas. La máquina trituradora brinda una calidad de material alta, dando partículas de plástico lo suficientemente pequeñas para que la extrusora de plástico presente trabaje correctamente. Aun así, el material triturado aun cuenta con bastantes impurezas y un porcentaje de humedad bastante alto que afecta de manera negativa la extrusión de un filamento de buena calidad.

Dicho lo anterior para el presente proyecto el plástico triturado se limpió con agua en ebullición con jabón inoloro durante 30 minutos, esto dejo la materia prima con un color

transparente que es exactamente lo que se busca. Este último proceso provoca que el plástico absorba más humedad por lo que también es necesario llevar un proceso de secado, para esto se debe llevar al plástico durante 40 minutos a una temperatura alrededor de 160 y 180 °C.

En la figura 47 se puede observar una comparativa entre el plástico limpio y seleccionado contra un plástico que no paso por filtrado. También se realizó la toma de mediadas del PET apto para la extrusión, este material en gran medida tiene forma de cuadrilátero, por ende, se tomó la media de dos lados y se obtuvo el área de las escamas para obtener un promedio del tamaño de estas. Los resultados de estas mediciones se pueden ver en la tabla 8.

Figura 47

Escamas de plástico usadas



Nota: (a) Plástico PET sin filtrar, (b) plástico PET apto para extrusión (Elaboración propia).

Tabla 8

Promedio de tamaño de escamas de PET

Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	Área (mm ²)
3	4,2	12,6
3,3	3,4	11,2
3	4	12
2,5	3,3	8,3

3	2,1	6,3
2,1	5	10,5
2	4,1	8,2
2,6	3	7,8
2,4	4,7	11,3
2,7	3,2	8,6
Promedio		9,7

Nota: Se tomaron las medidas de 10 escamas de PET y se elaboró un promedio para saber la medida del material apto para la extrusión (Elaboración propia).

A pesar de que la trituradora fue capaz de proporcionar escamas de plástico de buena calidad fue necesaria una última filtración después del proceso de lavado y secado para eliminar las partículas más grandes, debido a que en dichos procesos el plástico triturado pierde su flexibilidad y las partículas más grandes al ser más compactas a futuro podrían generar atrancamientos en la extrusora.

Con un material uniforme y limpio se puede iniciar las pruebas en la extrusora, los resultados obtenidos hasta llegar a el objetivo deseado fueron a base de prueba y error, debido a que demasiados factores intervienen es difícil mantener el control sobre todo por ende las primeras pruebas no fueron satisfactorias, pero fueron necesarias para llegar a la temperatura ideal.

En los procesos de pruebas se determinó el tiempo de auto calibración del controlador PID, el cual tarda 30 minutos en estabilizarse en 230 °C con la función de autotuning, la temperatura antes mencionada se encontró tras un par de pruebas mencionadas en la tabla 9, donde se marcan dos puntos importantes que son el color del PET resultante y la cristalización de este.

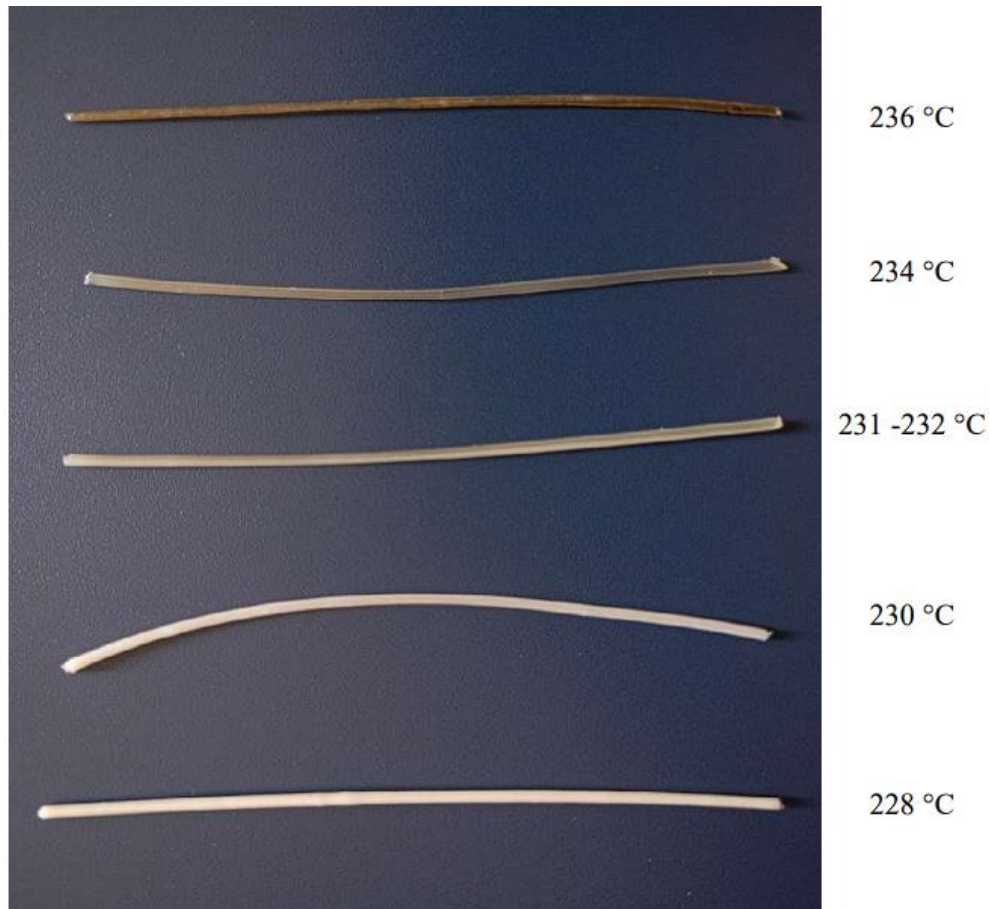
Tabla 9*Calidad del filamento a diferentes temperaturas*

Temperatura (°C)	Color	Cristalización
236	Marrón	Material cristalizado
234	Secciones marrones	Secciones con cristalización
231 -232	Transparente	Sin cristalización
230	Semitransparente	Secciones pequeñas con cristalización
228	Blanco	Material cristalizado

Nota: Características de del filamento expuestos a diferentes temperaturas de extrusión (Elaboración propia).

En la figura 48 se puede observar el resultado del plástico PET extruido a las temperaturas antes mencionadas, aquí se puede observar claramente la variación de color plástico expuesto a diferentes temperaturas.

Figura 48*Resultados de filamento a diferentes temperaturas*



Nota: Color de filamento con la variación de temperatura desde 228 a 236 °C (Elaboración propia).

Las primeras pruebas con el plástico fueron de gran ayuda para determinar que parámetros se deben corregir. En la figura 49 se puede ver una comparativa entre unos de los primeros filamentos con uno de los últimos y se puede ver la mejora en calidad, como ya no existen burbujas o partículas de contaminación y además de un color uniforme que indica un filamento que no ha sufrido degradación en el proceso de extrusión.

Figura 49

Comparativa de filamentos

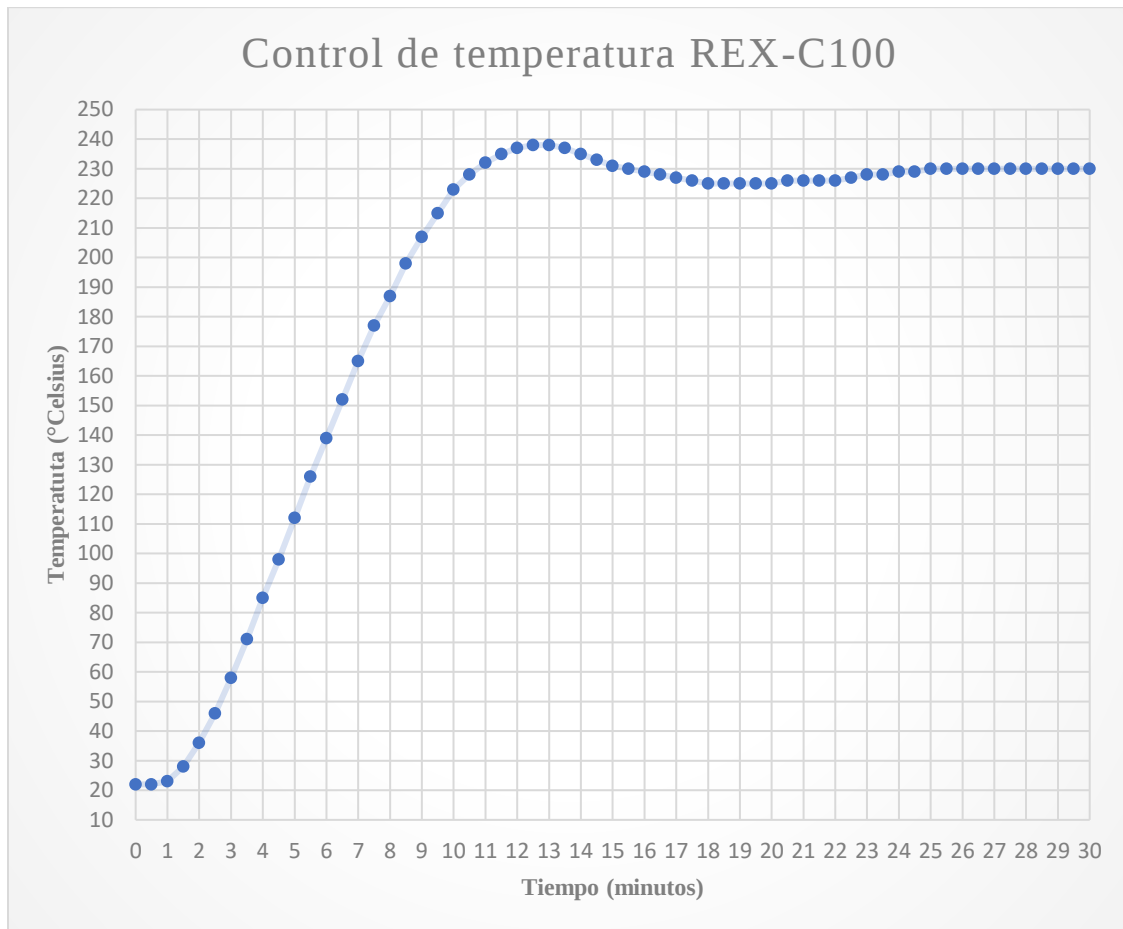


Nota: Comparativa entre filamentos de mala y buena calidad, (a) Filamento degradado, (b) filamento extruido a temperatura correcta (Elaboración propia).

Uno de los parámetros más importantes a la hora de realizar la extrusión de plástico es el control de temperatura, en el presente caso dicho control se realizó con el controlador PID rex-c100, este cuenta con la función de autotuning, de varias pruebas el controlador encontró automáticamente los parámetros más adecuados para su funcionamiento. Para ver la estabilización de temperatura se realizó la toma de datos cada 30 segundos del comportamiento del sistema de calentamiento de la extrusora de filamento. Los resultados de dichos registros se pueden ver en la figura 50.

Figura 50

Grafica de evolución de temperatura



Nota: Elaboración propia.

Todos los parámetros mencionados antes funcionan solamente para envases transparentes de plástico PET, ya que, para botellas de otros colores, los mismos parámetros de configuración de temperatura se obtiene un filamento cristalizado y en algunos casos se requería de una temperatura más alta por lo que se generaban taponamientos en la boquilla. Para las pruebas de extrusión con otras escamas de plástico de otro color se usó material de color gris inicialmente, para después usar una mezcla PET de diferentes colores. En la figura 51 están muestras del material utilizado.

Figura 51

Muestras de PET de diferente color

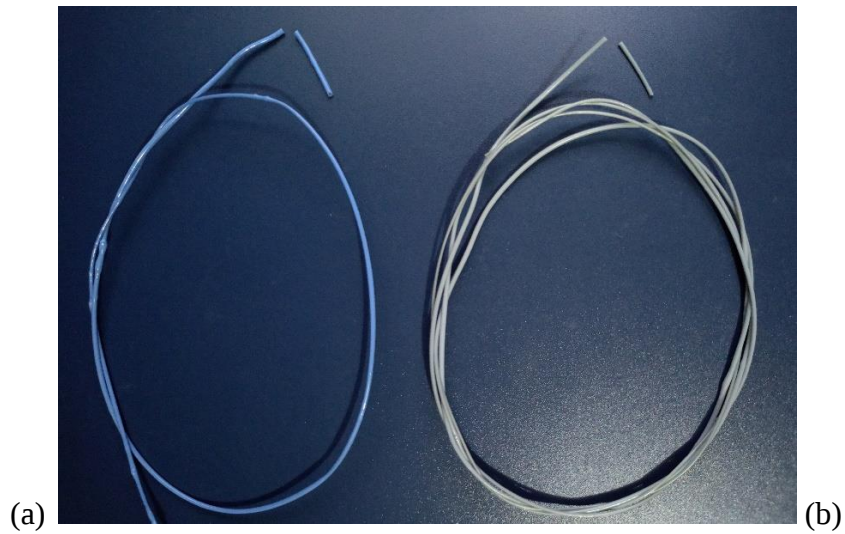


Nota: (a) Mezcla de distintos tipos de PET, (b) PET de color gris (Elaboración propia).

Como se mencionó anteriormente las pruebas con estos tipos de PET se realizaron con los mismos parámetros con que se extruyó el PET transparente, pero no se obtuvo los resultados esperados debido a que la cristalización en estos materiales fue muy alta a comparación del plástico transparente. Se sabe que el filamento muy quebroso como el obtenido de estos materiales es debido a una baja temperatura, y esto se comprueba ya que se generaron taponamientos en la boquilla del extrusor debido a un enfriamiento demasiado rápido. Se logró obtener 50 centímetros y 1 metro de filamento azul y gris respectivamente, pero este fue jalado manualmente ya que el sistema de halado no puede jalar filamentos demasiado cristalizados. Los hilos obtenidos se pueden ver en la figura 52.

Figura 52

Filamentos con mezcla de PET



Nota: Filamento PET de colores con alta cristalización, (a) mezcla de distintos tipos de PET, (b) PET de color gris (Elaboración propia).

Una vez ya se conocen los parámetro y materiales adecuado para trabajar se inicia con la producción continua del filamento para impresión 3D. Inicialmente se jalaba el hilo manualmente ya que usar el extrusor requiere de practica para manejarlo adecuadamente. Después de varias pruebas se logró configurar las velocidades tanto de husillo extrusor como del motor a pasos para la obtención de un filamento constante, estas fueron de 2 y 7 rpm respetivamente, la figura 53 muestra como el filamento está siendo producido de forma automática.

Figura 53

Producción de filamento



Nota: La imagen muestra ya una producción constante de filamento de 1,75 mm de diámetro (Elaboración propia).

Bajo los parámetros mencionados anteriormente se consiguió obtener 12 metros de filamento en una hora. De este material resultante se tomó un metro como muestra y se le realizaron mediciones de diámetro cada 10 centímetros con la finalidad de saber que tanto se aleja las medidas al valor que se deseado. La tabla 10 contiene las diez mediciones de la cuales se calculó el error absoluto y porcentual.

Tabla 10

Error absoluto y porcentual

Medidas (mm)	Error absoluto (mm)	Error relativo
1,86	0,11	6%
1,84	0,09	5%
1,74	0,01	1%
1,64	0,11	6%
1,6	0,15	9%
1,62	0,13	7%
1,75	0	0%
1,75	0	0%
1,74	0,01	1%
1,8	0,05	3%
Promedio	0,066	4%

Nota: El filamento obtuvo una tolerancia promedio de 1,75 +/- 0,066 mm (Elaboración propia).

Los datos de las variaciones del diámetro del filamento son un poco más altas de lo esperado pero aceptables y por ende el material es apto para la impresión de piezas. El operador

de la impresora realizo varias pruebas hasta encontrar una configuración que sea adecuada para el filamento, dicha configuración de puede ver en la tabla 11, todos estos ajustes son para impresoras de extrusión directa ya que solo en estas se puede usar un filamento de PET.

Tabla 11

Configuración de impresora 3D

Nombre	Configuración 1	Configuración 2	Configuración 3
Calidad	Altura de capa (mm) 0,16	Altura de capa inicial (mm) 0,2	Ancho de línea de pared (mm) 0,44
Relleno	Densidad de relleno (%) 20	Patrón de relleno Triángulos	
Material	Temperatura de impresión (°C) 255	Temperatura de placa de impresión (°C) 80	Flujo (%) 130
Velocidad	Velocidad de impresión (mm/s) 60	Velocidad de desplazamiento (mm/s) 150	Velocidad capa inicial (mm/s) 15
Refrigeración	Velocidad de ventilador (%) 40		

Nota: Principales configuraciones de impresora 3D de extrusión directa (Elaboración propia).

Como se mencionó párrafos atrás se realizaron varias pruebas de impresión hasta obtener un resultado aceptable. Para validar que el filamento es apto para este uso fabrico con él un minijuego de engranajes que se puede ver en la figura 54.

Figura 54

Piezas impresas en 3D



Nota: Piezas para validación de que filamento sirve para realizar impresiones en 3D (Elaboración propia).

CONCLUSIONES

Los requerimientos pertinentes para el diseño y fabricación del dispositivo de extrusión de filamento se obtuvieron a partir de investigación en distintos trabajos de grado, además de indagar en las características de las máquinas que están presentes en el mercado actualmente, esto fue de gran ayuda en el diseño conceptual y en la determinación de los parámetros necesarios para el diseño de una extrusora de filamento siendo los principales el peso, presupuesto y la capacidad de producción.

Con las características listas se procedió con el cálculo y modelado de los distintos componentes mecánicos que conforman el sistema, como el husillo de extrusión, barril, tolva, boquilla, acoples y soportes. Con la investigación concluida fue posible realizar de forma adecuada el diseño usando el software SolidWorks, además se estableció el sistema de control y realizó la búsqueda de los elementos comerciales tales como chumacera, pernos y poleas como parte del sistema mecánico y controladores de velocidad y temperatura, resistencia calefactora, protecciones y cables como parte del sistema eléctrico.

Se fabricó la máquina extrusora de filamento a partir de los modelos obtenidos en SolidWorks, esto fue llevado a cabo en un taller metal mecánico. Algunas piezas fueron modificadas debido a que con los procesos de manufactura disponibles no era posible su fabricación. Las principales piezas afectadas fueron los acoples de boquilla y termopar que inicialmente eran uno solo, pero debido a no contar con las herramientas de torneado y fresado adecuadas lo más práctico para este caso fue dividirlos en dos piezas individuales. Al finalizar la construcción estructural se implementaron todos los componentes comerciales como chumacera, pernos y poleas, así como todos los sistemas de control de temperatura y velocidad de motores.

Después de pruebas y calibraciones se logró establecer los parámetros correctos de temperatura y velocidades de motores siendo estos 232 °C para el controlador PID, 2 rpm para el husillo extrusor y 7 rpm para el motor a pasos. Con dichas configuraciones para la máquina se logró producir de manera constante un filamento de 1,75 milímetros de diámetro a partir de plástico PET transparente.

RECOMENDACIONES

El presente trabajo se enfocó solamente en la extrusión de plástico PET transparente, pero la máquina esta diseñada para futuras mejoras, tanto la velocidad de extrusión como el control de temperatura pueden modificarse y adaptarse, pero esto requiere de varios cálculos para determinar los mejores parámetros para cada material.

La gran mayoría de las variables se controla de forma individual por lo que juntar todo en un solo controlador sería de gran ayuda para facilitar el manejo. Esto requiere de un modelo más complejo evidentemente, pero a su vez sería un cambio que daría una mejora considerable.

La máquina extrusora de filamento trabaja correctamente y sin complicaciones si la materia prima es correctamente seleccionada, sin embargo, sería de gran utilidad agregar un sistema de protección y detección de fallas ante atascamientos por elementos extraños que podrían introducirse a la máquina por la tolva.

REFERENCIAS

- Aviles, C. (2018). *Electricfor. Resistencias eléctricas calefactoras*. Asesores en tecnología e innovación. <http://atiasesores.com/empresas/electricfor-resistencias-electricas-calefactoras/>
- Beltrán, M. (2011). *Estructura y propiedades de los polímeros*. Universidad de Alicante. <http://hdl.handle.net/10045/16882>
- Benavente, M. (2011, agosto 1). *¿Para qué sirven las máquinas extrusoras de plástico?* <http://omnitematico.over-blog.com/article-para-que-sirven-maquinas-extrusoras-plastico-85844948.html>
- Bermeo-Paucar, J., Rea-Sánchez, V., López-Bermúdez, R., & Pico-Yépez, M. (2017). El reciclaje la industria del futuro en Ecuador. *UNIVERSIDAD, CIENCIA y TECNOLOGÍA*, 21, 29–36.
- Campos, G. (2010). *Introducción al arte de la investigación científica*. Universidad Nacional Autónoma De México (UNAM), Escuela Nacional De Enfermería Y Obstetricia (ENEO).
- EMAC. (2021, junio 21). *Controlador de temperatura*. <https://emacstores.com/controlador-de-temperatura/>
- Esquivel, J., Jiménez, J., & Mena, A. (2018). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE FILAMENTO TERMOPLÁSTICO ALIMENTADA POR DESECHOS PLASTICOS*. Universidad de Costa Rica.
- Felfil. (s/f). *FELFIL EVO ASSEMBLED*. Recuperado el 29 de octubre de 2022, de <https://felfil.com/es/shop/felfil-evo-assembled/?v=5ea34fa833a1>
- filabot. (s/f). *FILABOT EX2 FILAMENT EXTRUDER*. Recuperado el 29 de octubre de 2022, de <https://www.filabot.com/collections/filabot-core/products/filabot-original-ex2>

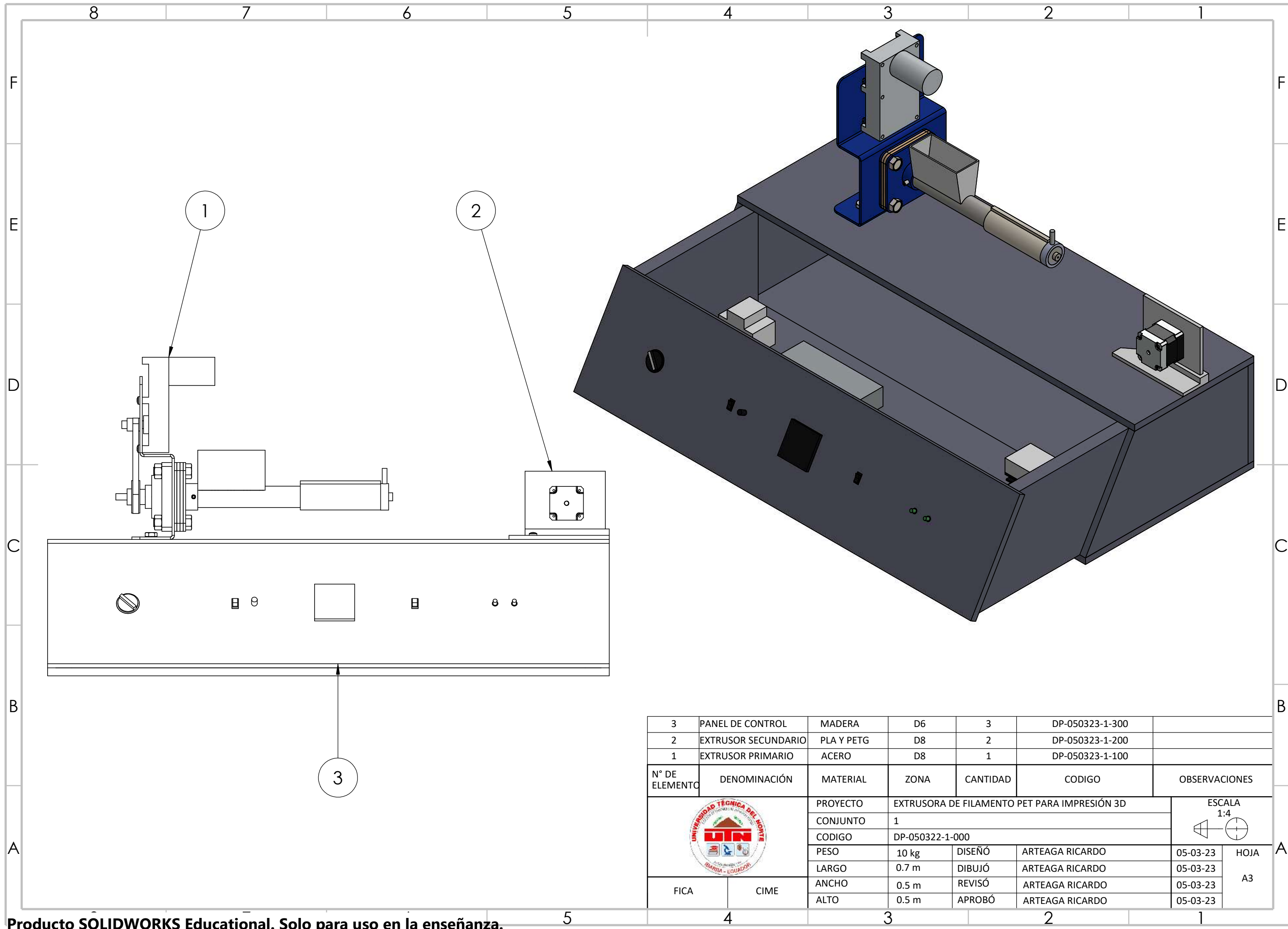
- FILASTRUDER. (s/f). *FILASTRUDER KIT*. Recuperado el 29 de octubre de 2022, de <https://www.filastruder.com/collections/filastruders-accessories/products/filastruder-kit?variant=323882043>
- Gómez, J., & Gutiérrez, J. (2007). *DISEÑO DE UNA EXTRUSORA PARA PLÁSTICOS* [Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/145b2ecf-d956-4b4e-b2f5-5406d77c76fe/content>
- Grajales, Y., & Monsalve, J. (2019). *DISEÑO DE UN INSTRUMENTO DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURA A TRAVÉS DE TERMOCUPLA TIPO K Y MICROCONTROLADOR USANDO EL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SPI* [ESCUELA TECNOLÓGICA INSTITUTO TÉCNICO CENTRAL]. <https://repositorio.itc.edu.co/handle/001/378>
- Guerrero, G., & Arias, P. (2021). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE INSTRUMENTACIÓN PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS TERMOPARES TIPO J, K & T, Y CONTROL DE UN HORNO DE TRES ETAPAS* [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15571>
- Gutiérrez, C., & Vargas, L. (2017). *DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA PARA CREAR EL FILAMENTO DE LA IMPRESORA 3D A PARTIR DE MATERIAL PLÁSTICO* [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7922>
- Ibeh, C. C. (2011). *Thermoplastic Materials*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13623>
- Lab-Volt. (2005). *Control de proceso de temperatura* (Primera edición). Lab-Volt Ltda. <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/ManualesIng/ControlProTemp-O.pdf>

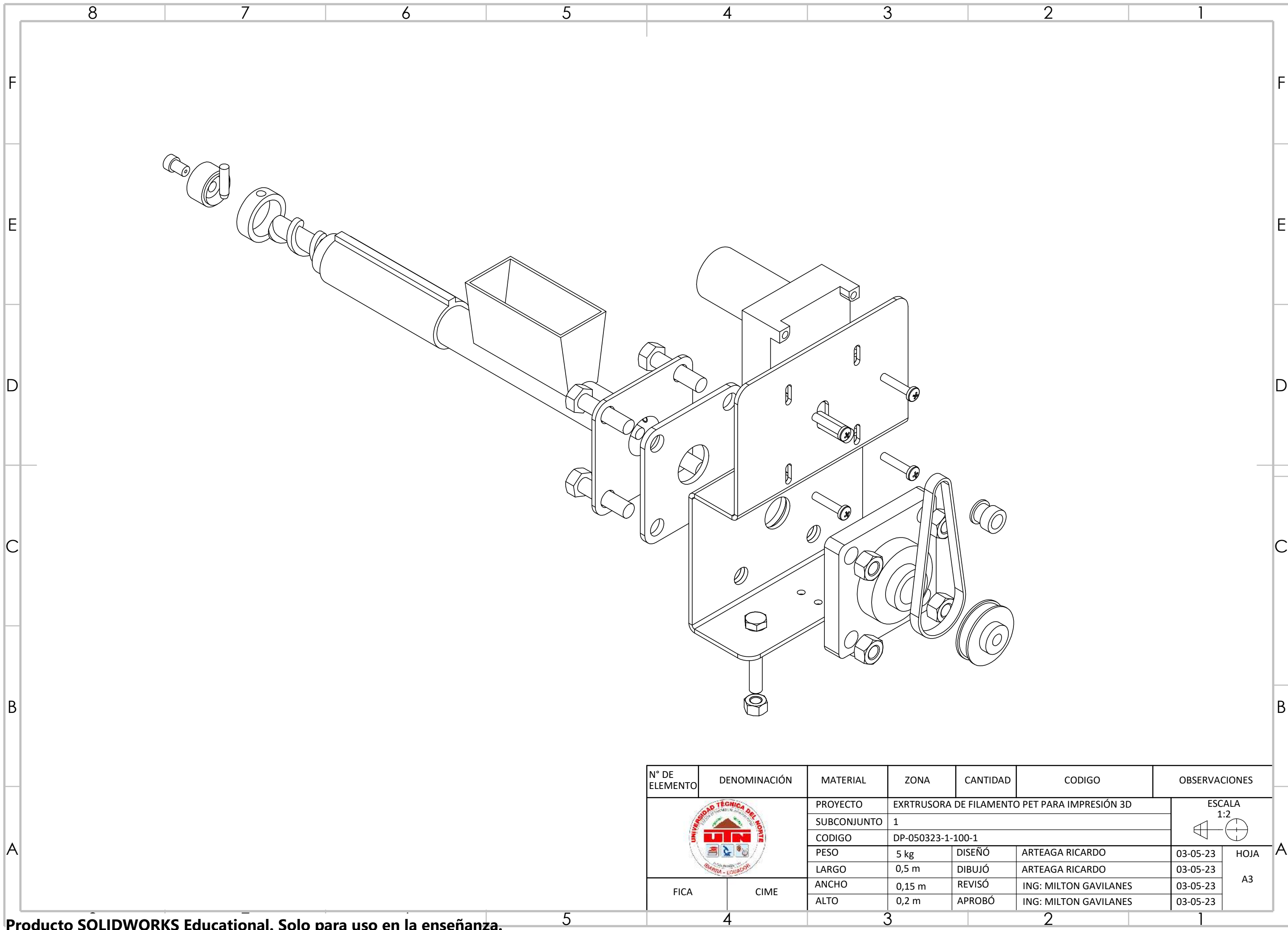
- Maly, T. (2013, enero 17). *Filabot Turns your Plastic junk into material for 3-D PRINTERS*.
<https://www.wired.com/2013/01/filabot-plastic-recycler/>
- Manzanares, I. (2020). *El sector de las resistencias eléctricas en España, análisis y plan de futuro para la asociación SeFarBlin. Una actualización* [Universidad Politécnica de València].
<https://riunet.upv.es/handle/10251/152114>
- Morán, S. (2020, noviembre 10). *Nada frena los plásticos de un solo uso: más de 260.000 toneladas al año en Ecuador*. <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/nada-frena-plasticos-un-solo-uso-mas-260000-toneladas-al-ano-ecuador>
- Novatronic. (s/f). *Novatronicec*. Recuperado el 15 de mayo de 2023, de
<https://novatronicec.com/index.php/product/fuente-de-poder-5v-5a/>
- Opazo, M. (2020, septiembre 2). *¿Sabes cómo clasificar tus plásticos?*
<https://www.diariosostenible.cl/noticia/el-dato-sostenible/2020/09/sabes-como-clasificar-tus-plasticos>
- Ordóñez, A. (2017). La contribución al emprendimiento ecuatoriano de una empresa de tecnología 3D. *Revista de Negocios y PYMES*, 3(7), 35–46. www.ecorfan.org/spain
- Ortiz, C. (2018). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUINA EXTRUSORA DE FILAMENTO DE 1.75 MM Y 3MM PARA IMPRESORAS 3D APARTIR DE POLIMERO RECICLADO*. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Pazmiño, A. (2013). *DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA DE MEZCLADO DE POLIOLEFINAS COMERCIALES Y RECICLADAS A ESCALA PILOTO*. Escuela Politécnica Nacional.

- Ramos, G., & Lombana, G. (2019). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE EXTRUSIÓN DE FILAMENTO PARA IMPRESIÓN 3D A PARTIR DE BOTELAS RECICLADAS*. Universidad Autónoma de Occidente.
- Recalde, D. (2015). *Control ON-OFF de temperatura con arduino*.
- Robotics. (s/f). *Roboticsec*. Recuperado el 15 de mayo de 2023, de <https://roboticsec.com/producto/regulador-pwm-9-60vdc-20a-1200w/>
- Rodriguez, E. (2005). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Soberón, M. (2007). *Plásticos industriales y su procesamiento*. El Cid Editor.
- Suasnavas, D. (2017). *Degradación de materiales plásticos “PET” (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión* [PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR].
- <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13224/Degradaci%C3%B3n%20Qu%C3%ADmica%20del%20PET.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zoto, B. (2021). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA EXTRUSORA DE BOTELLAS DE PLASTICO PARA LA OBTENCIÓN DE FILAMENTO PET A BAJO COSTO* [Universidad Señor de Sipán]. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/9229>

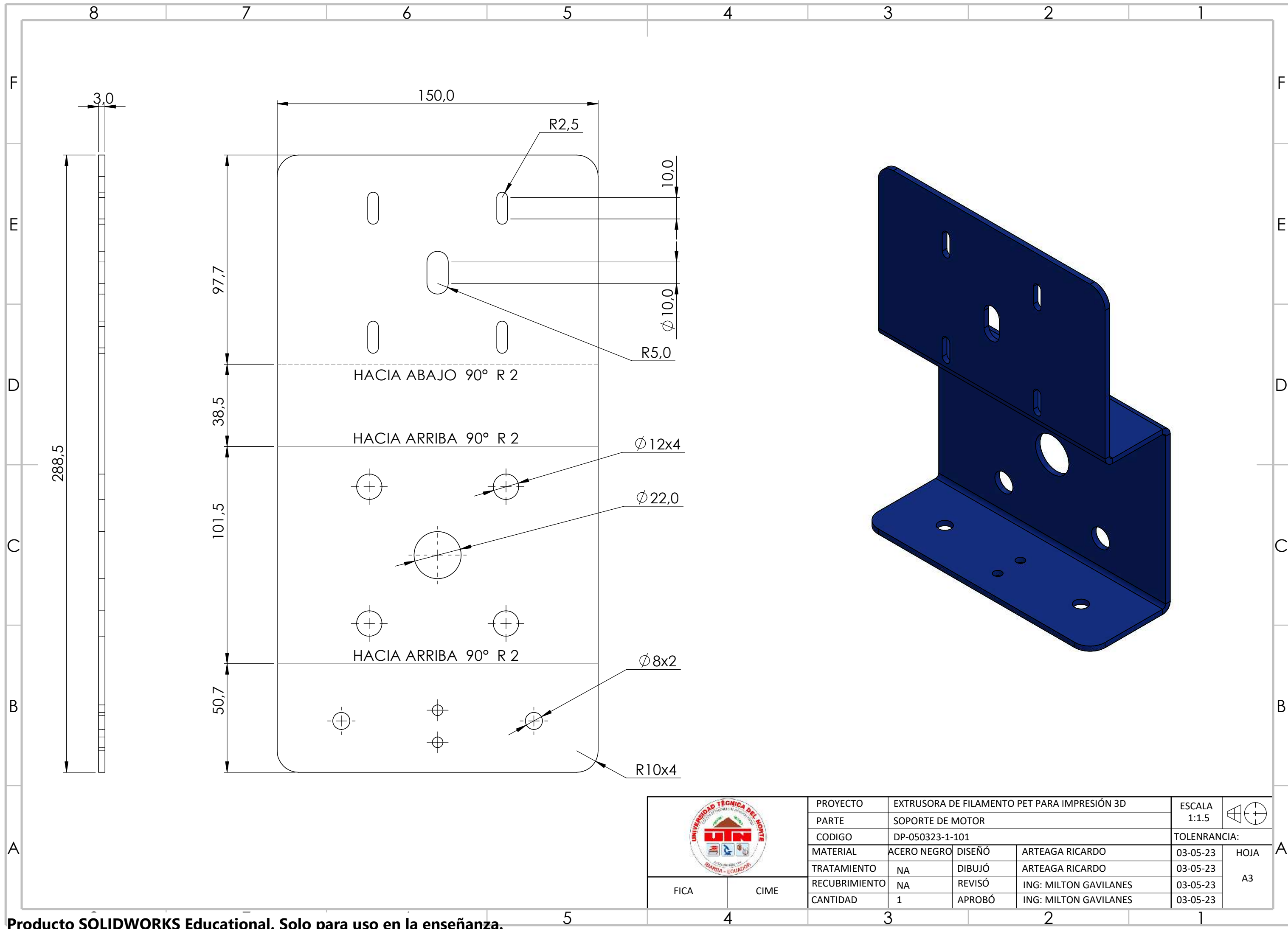
ANEXO 1

PLANOS

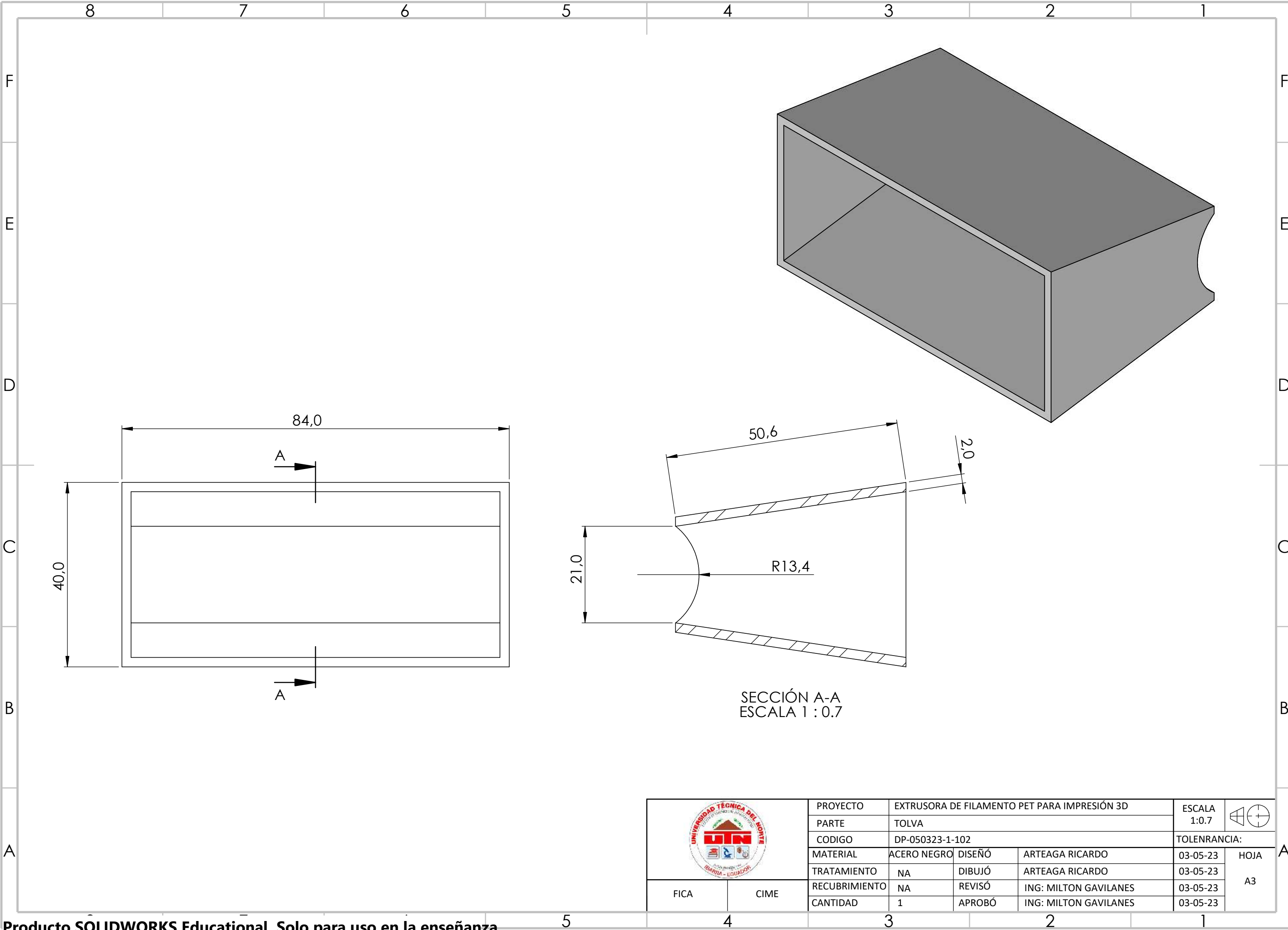


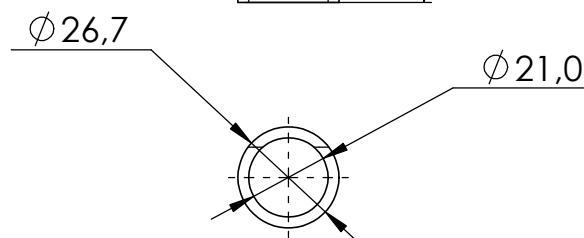
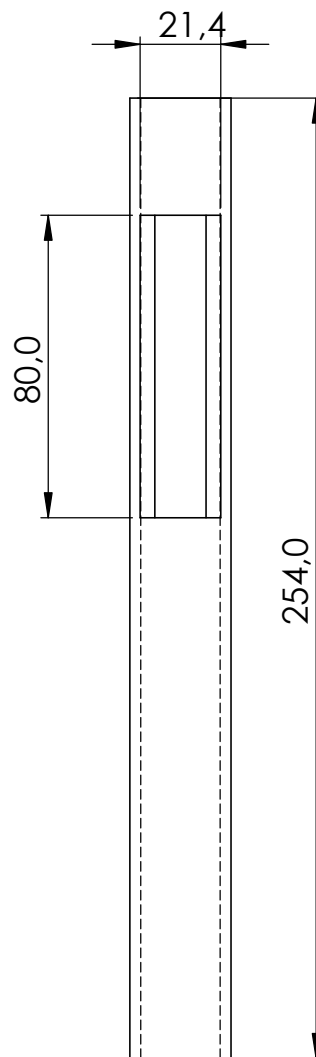
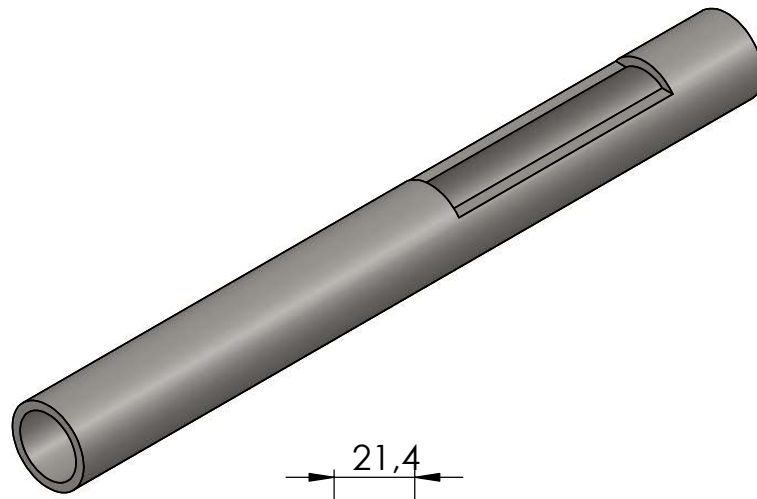


N° DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	ZONA	CANTIDAD	CODIGO	OBSERVACIONES		
		PROYECTO	EXRTRUSORA DE FILAMENTO PET PARA IMPRESIÓN 3D			ESCALA 1:2		
		SUBCONJUNTO	1					
		CODIGO	DP-050323-1-100-1					
		PESO	5 kg	DISEÑO	ARTEAGA RICARDO		03-05-23	HOJA A3
		LARGO	0,5 m	DIBUJÓ	ARTEAGA RICARDO		03-05-23	
		ANCHO	0,15 m	REVISÓ	ING: MILTON GAVILANES		03-05-23	
FICA	CIME	ALTO	0,2 m	APROBÓ	ING: MILTON GAVILANES		03-05-23	



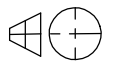
		PROYECTO	EXTRUSORA DE FILAMENTO PET PARA IMPRESIÓN 3D			ESCALA 1:1.5		
		PARTE	SOPORTE DE MOTOR					
		CODIGO	DP-050323-1-101			TOLERANCIA:		
		MATERIAL	ACERO NEGRO	DISEÑO	ARTEAGA RICARDO		03-05-23	HOJA A3
		TRATAMIENTO	NA	DIBUJÓ	ARTEAGA RICARDO		03-05-23	
FICA	CIME	RECUBRIMIENTO	NA	REVISÓ	ING: MILTON GAVILANES		03-05-23	
		CANTIDAD	1	APROBÓ	ING: MILTON GAVILANES		03-05-23	





PROYECTO		EXTRUSORA DE FILAMENTO PET PARA IMPRESIÓN 3D		
PARTE		BARRIL		
CODIGO		DP050323-1-103		
MATERIAL	ACERO	DISEÑO	ARTEAGA RICARDO	
TRATAMIENTO	NITRURADO	DIBUJO	ARTEAGA RICARDO	
RECUBRIMIENTO	NA	REVISÓ	ING: MILTON GAVILANES	
CANTIDAD	1	APROBÓ	ING: MILTON GAVILANES	

ESCALA
1:2



TOLERANCIA:

03-05-23

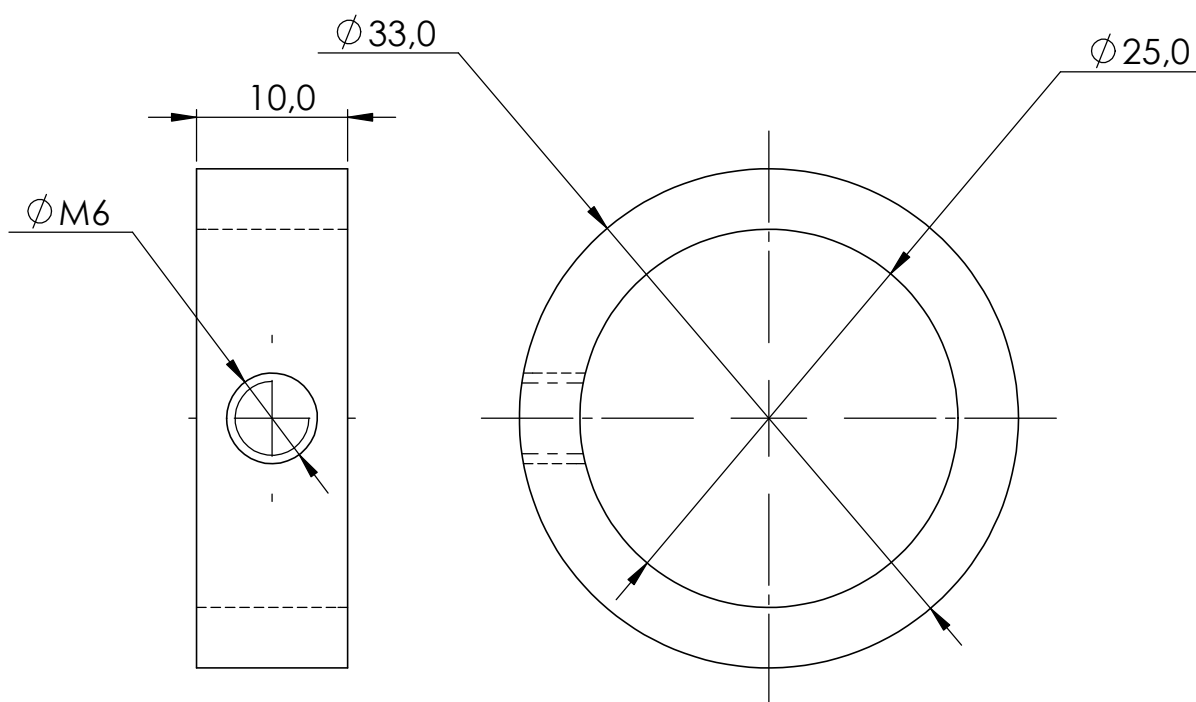
03-05-23

03-05-23

03-05-23

HOJA

A4



PROYECTO	EXTRUSORA DE FILAMENTO PET PARA IMPRESIÓN 3D		
PARTE	ACOPLE TERMOPAR		
CODIGO	DP-050323-1-105		
MATERIAL	ACERO	DISEÑO	ARTEAGA RICARDO
TRATAMIENTO	NA	DIBUJÓ	ARTEAGA RICARDO
RECUBRIMIENTO	NA	REVISÓ	ING: MILTON GAVILANES
CANTIDAD	1	APROBÓ	ING: MILTON GAVILANES

FICA

CIME

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

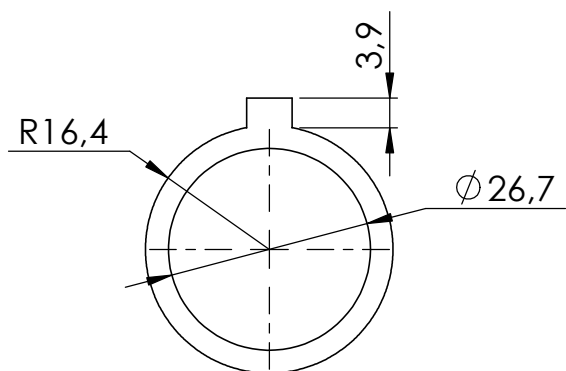
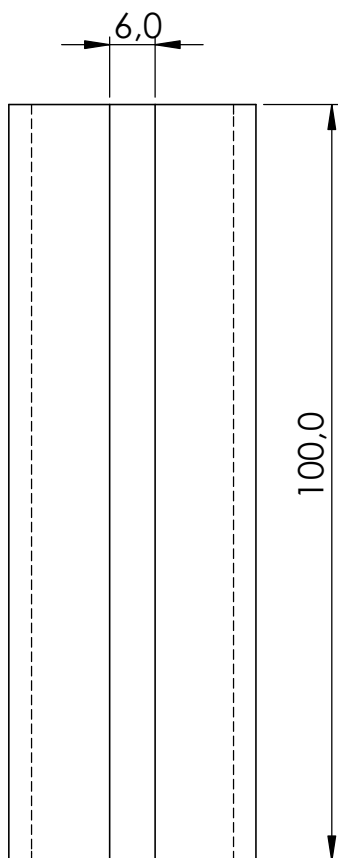
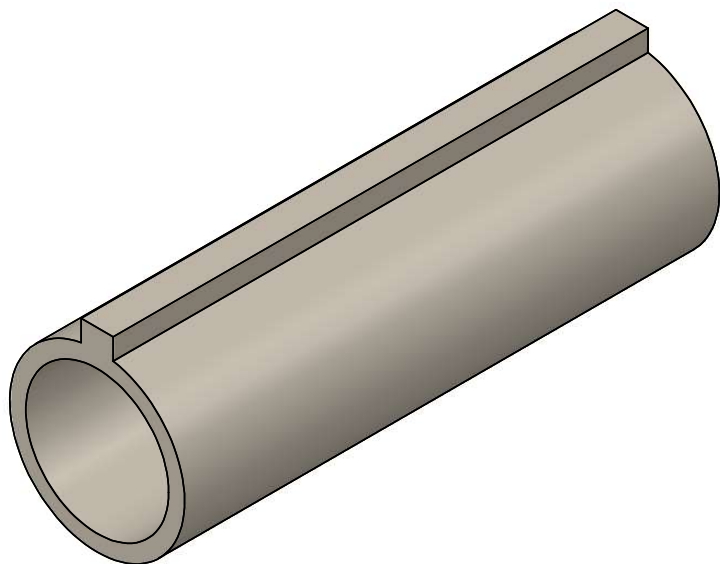
C

B

B

A

A



FICA

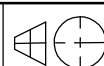
CIME

PROYECTO

EXTRUSORA DE FILAMENTO PET PARA IMPRESIÓN 3D

ESCALA

1:1



PARTE

RESISTENCIA CALEFACTORA

CODIGO

DP-050323-1-105

TOLERANCIA:

MATERIAL

ACERO

DISEÑO

ARTEAGA RICARDO

03-05-23

HOJA

TRATAMIENTO

NA

DIBUJO

ARTEAGA RICARDO

03-05-23

RECUBRIMIENTO

NA

REVISÓ

ING: MILTON GAVILANES

03-05-23

CANTIDAD

1

APROBÓ

ING: MILTON GAVILANES

03-05-23

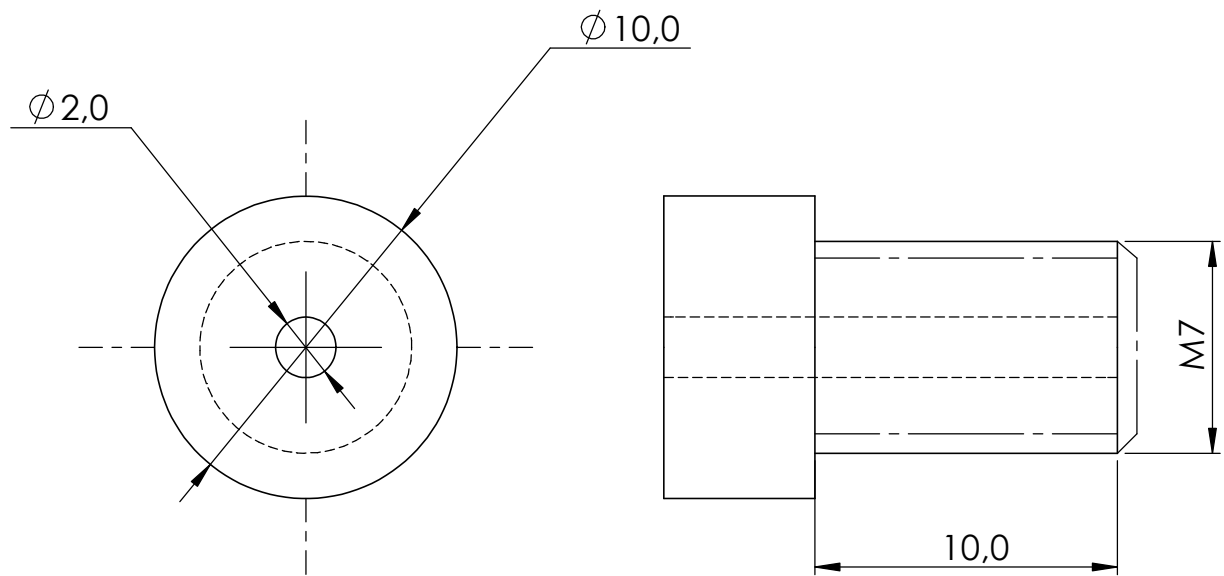
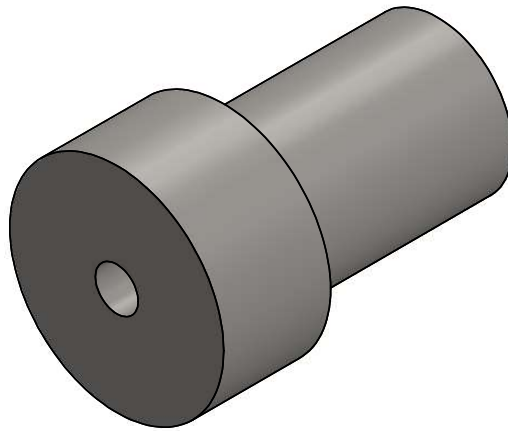
A4

4

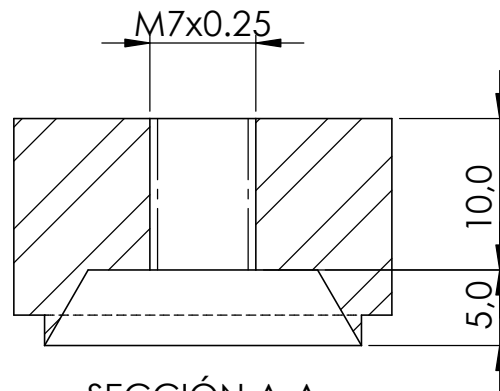
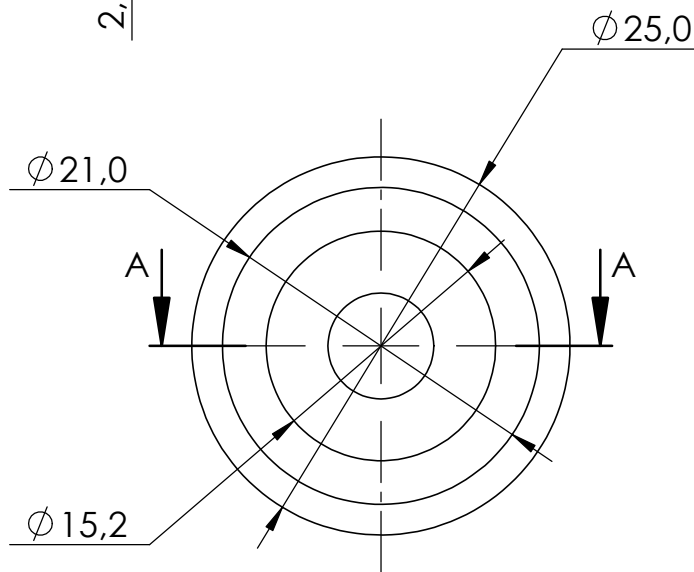
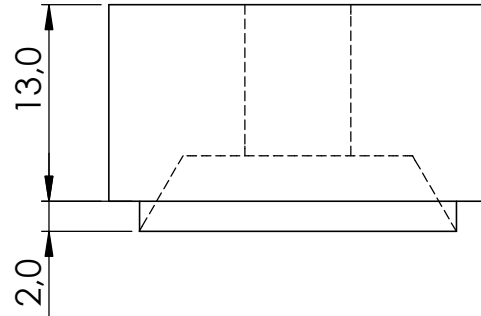
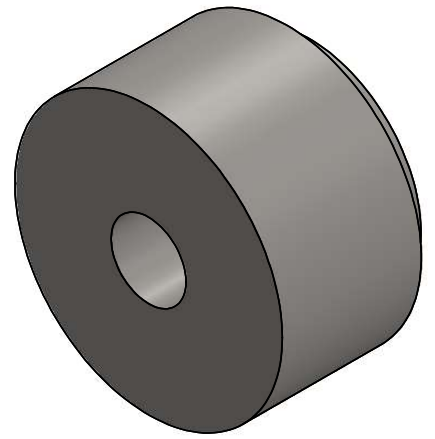
3

2

1



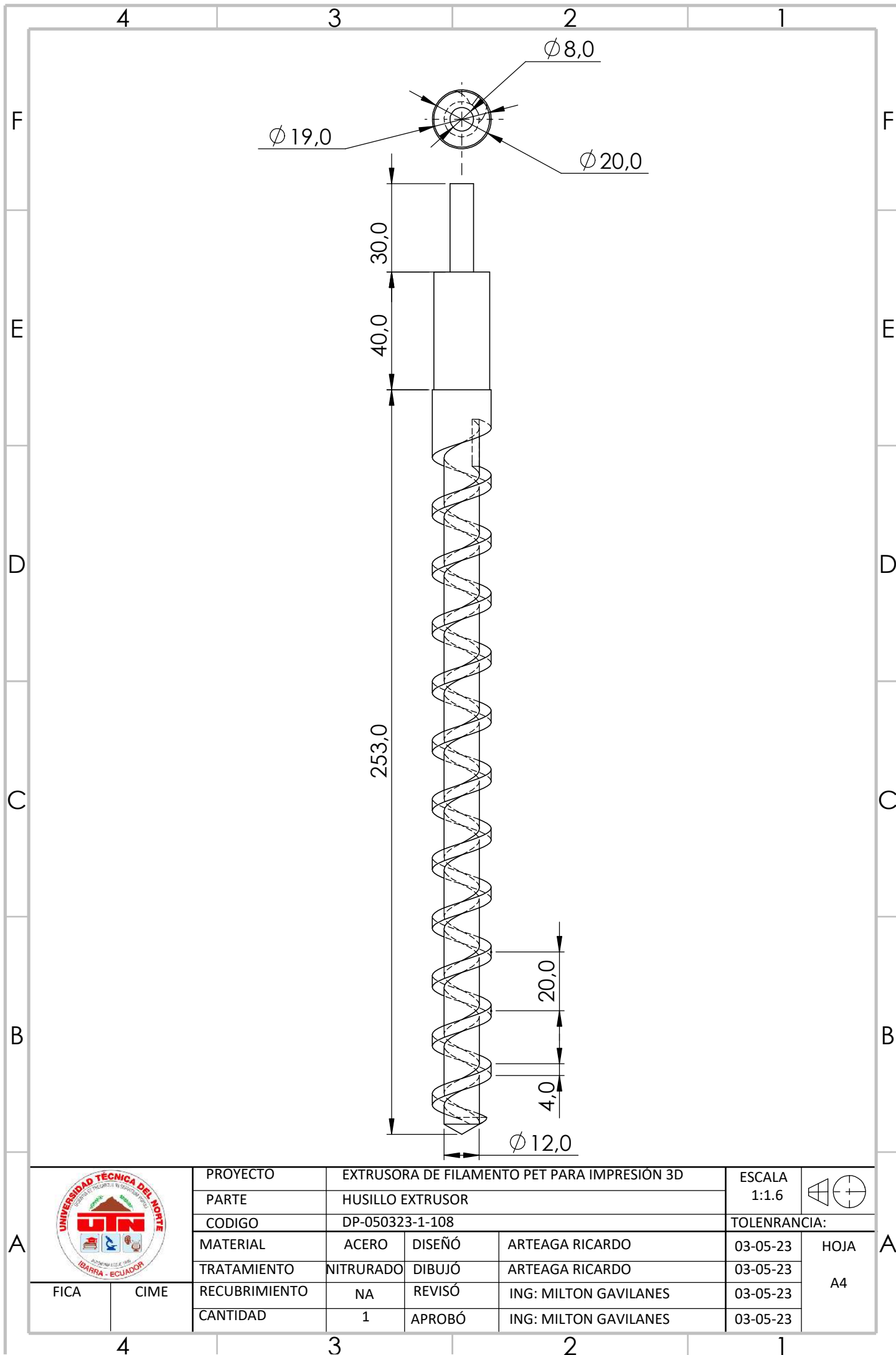
PROYECTO	EXTRUSORA DE FILAMENTO PET PARA IMPRESIÓN 3D			ESCALA 4:1	
PARTE	BOQUILLA				
CODIGO	DP-050323-1-106			TOLERANCIA:	
MATERIAL	ACERO	DISEÑO	ARTEAGA RICARDO	03-05-23	HOJA A4
TRATAMIENTO	NA	DIBUJÓ	ARTEAGA RICARDO	03-05-23	
RECUBRIMIENTO	NA	REVISÓ	ING: MILTON GAVILANES	03-05-23	
CANTIDAD	1	APROBÓ	ING: MILTON GAVILANES	03-05-23	



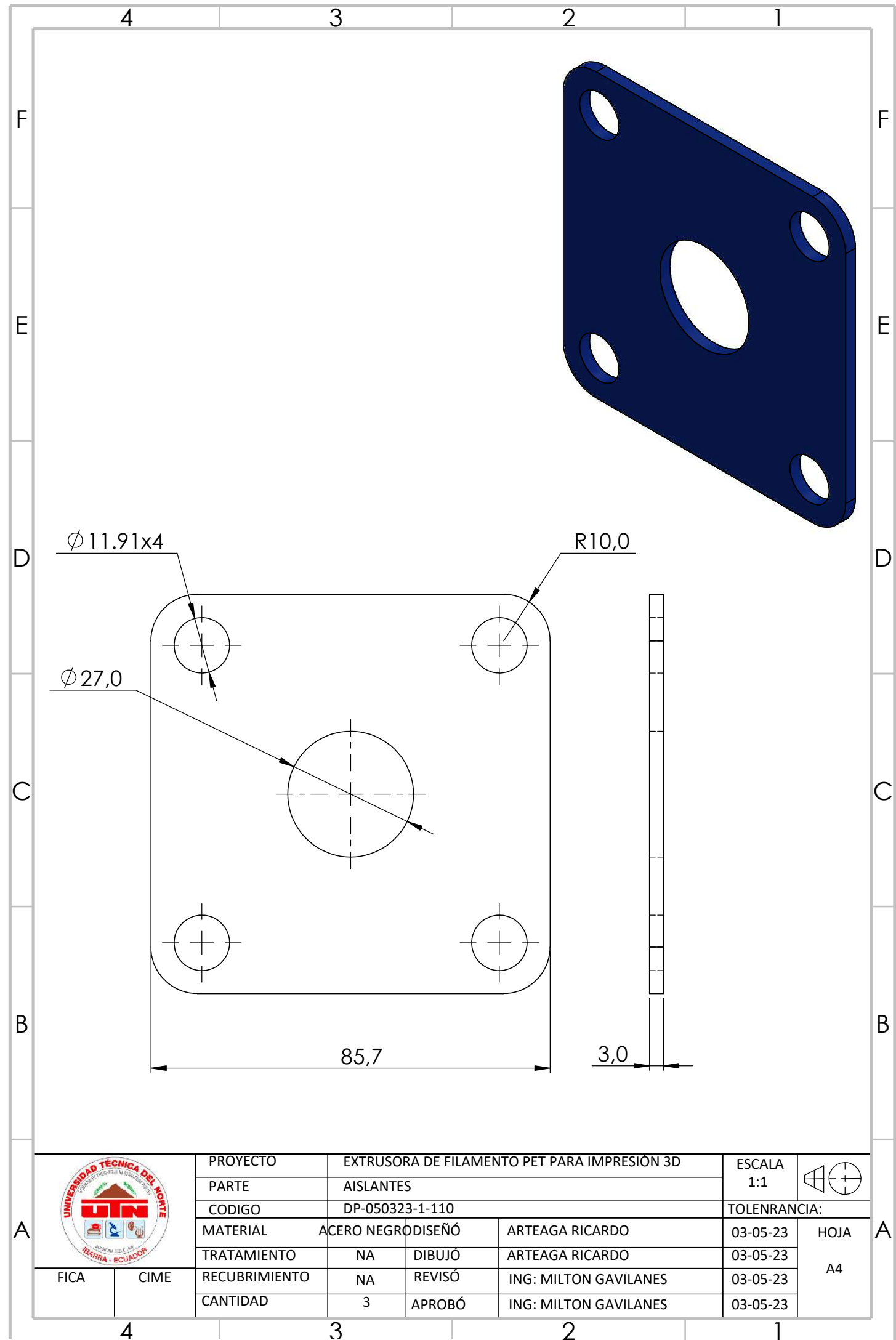
SECCIÓN A-A

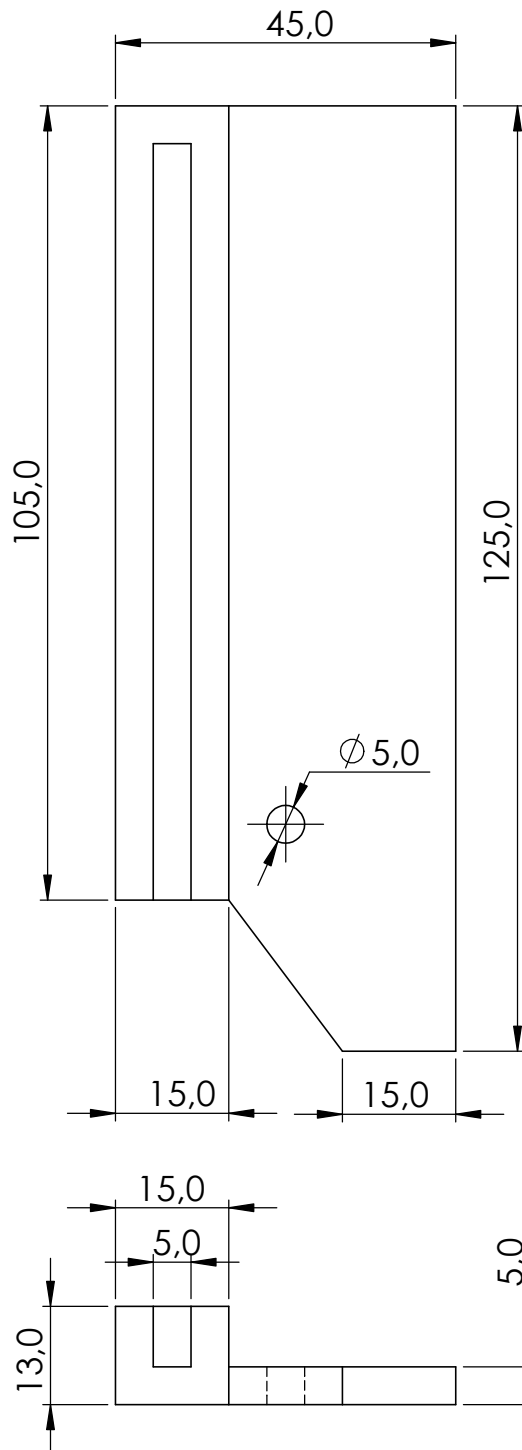


PROYECTO	EXTRUSORA DE FILAMENTO PET PARA IMPRESIÓN 3D			ESCALA 2:1	
PARTE	ACOPLE BOQUILLA				
CODIGO	DP-050323-1-107			TOLERANCIA:	
MATERIAL	ACERO	DISEÑO	ARTEAGA RICARDO	03-05-23	HOJA A4
TRATAMIENTO	NA	DIBUJÓ	ARTEAGA RICARDO	03-05-23	
RECUBRIMIENTO	NA	REVISÓ	ING: MILTON GAVILANES	03-05-23	
CANTIDAD	1	APROBÓ	ING: MILTON GAVILANES	03-05-23	

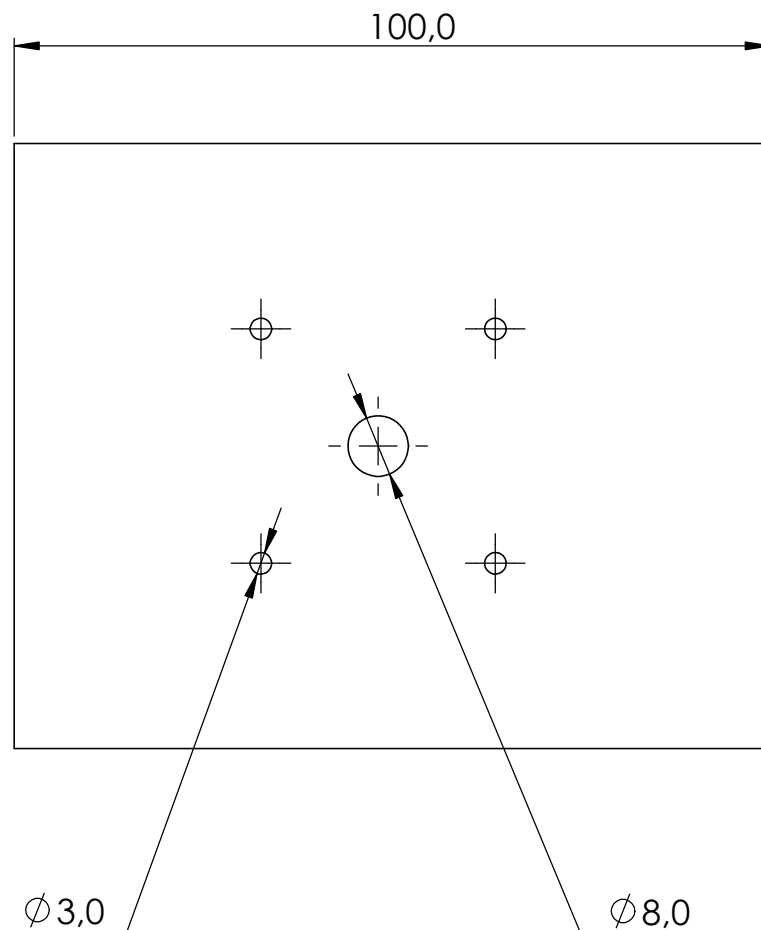


PROYECTO	EXTRUSORA DE FILAMENTO PET PARA IMPRESIÓN 3D			ESCALA 1:1.6	
PARTE	HUSILLO EXTRUSOR				
CODIGO	DP-050323-1-108			TOLERANCIA:	
MATERIAL	ACERO	DISEÑO	ARTEAGA RICARDO	03-05-23	HOJA A4
TRATAMIENTO	NITRURADO	DIBUJO	ARTEAGA RICARDO	03-05-23	
RECUBRIMIENTO	NA	REVISÓ	ING: MILTON GAVILANES	03-05-23	
CANTIDAD	1	APROBÓ	ING: MILTON GAVILANES	03-05-23	

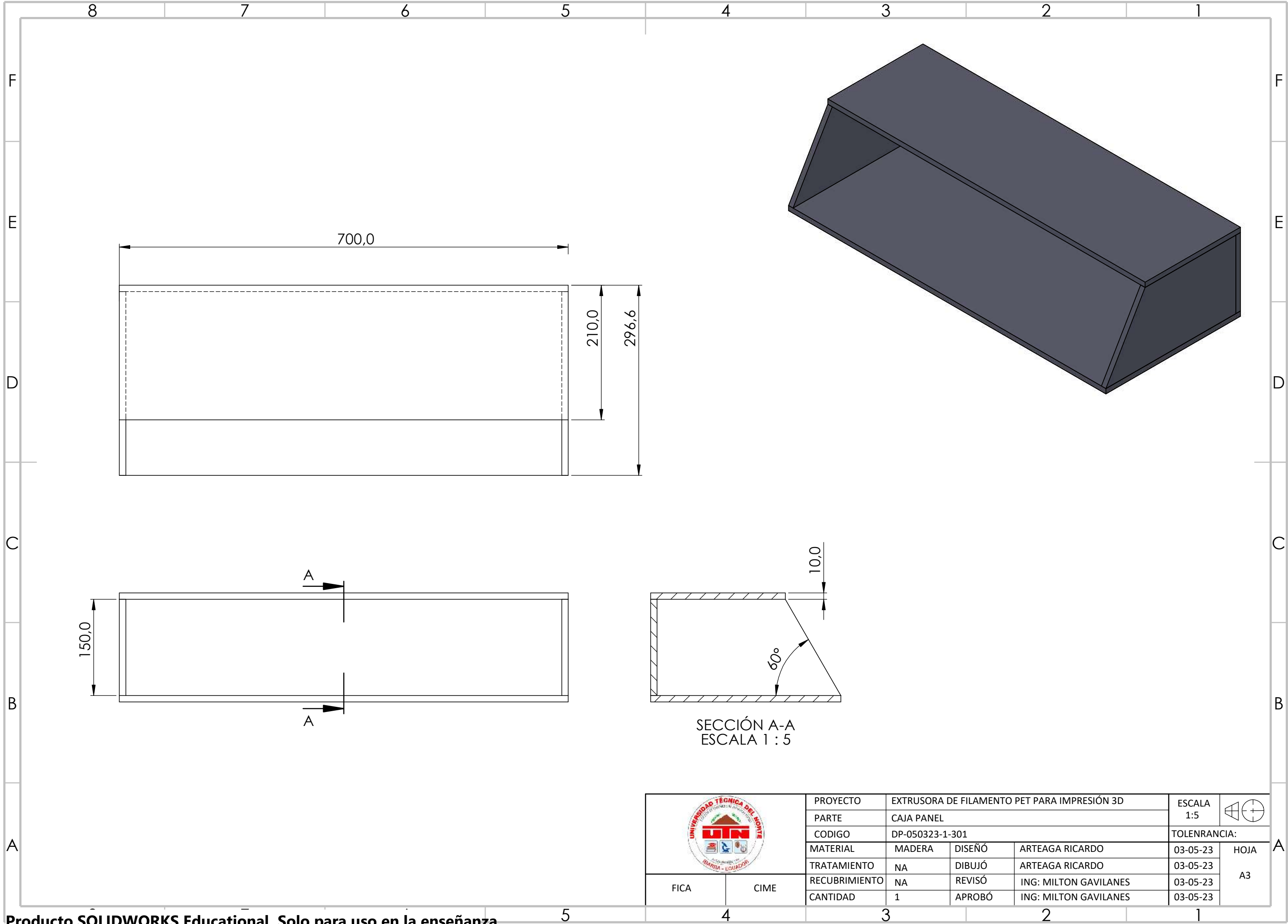




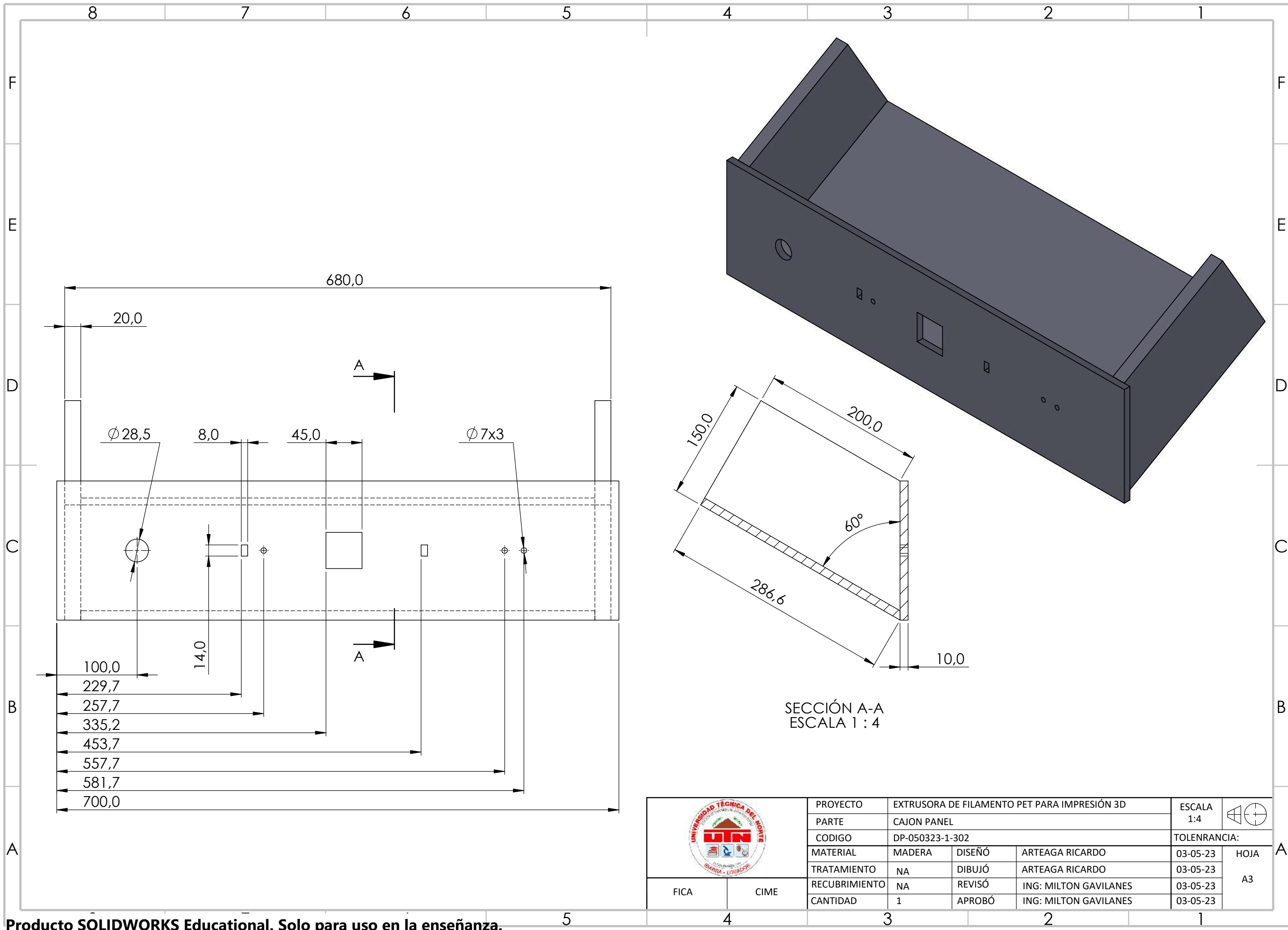
PROYECTO	EXTRUSORA DE FILAMENTO PET PARA IMPRESIÓN 3D			ESCALA 1:1	
PARTE	BASE EXTRUSOR SECUNDARIO				
CODIGO	DP-050323-1-201			TOLERANCIA:	
MATERIAL	PLA	DISEÑO	ARTEAGA RICARDO	03-05-23	HOJA A4
TRATAMIENTO	NA	DIBUJO	ARTEAGA RICARDO	03-05-23	
RECUBRIMIENTO	NA	REVISÓ	ING: MILTON GAVILANES	03-05-23	
CANTIDAD	1	APROBÓ	ING: MILTON GAVILANES	03-05-23	



PROYECTO	EXTRUSORA DE FILAMENTO PET PARA IMPRESIÓN 3D		
PARTE	PARED EXTRUSOR FINAL		
CODIGO	DP-050323-1-202		
MATERIAL	PLA	DISEÑO	ARTEAGA RICARDO
TRATAMIENTO	NA	DIBUJÓ	ARTEAGA RICARDO
RECUBRIMIENTO	NA	REVISÓ	ING: MILTON GAVILANES
CANTIDAD	1	APROBÓ	ING: MILTON GAVILANES



		PROYECTO	EXTRUSORA DE FILAMENTO PET PARA IMPRESIÓN 3D			ESCALA 1:5	
		PARTE	CAJA PANEL				
		CODIGO	DP-050323-1-301			TOLERANCIA:	
		MATERIAL	MADERA	DISEÑO	ARTEAGA RICARDO	03-05-23	HOJA A3
		TRATAMIENTO	NA	DIBUJÓ	ARTEAGA RICARDO	03-05-23	
FICA	CIME	RECUBRIMIENTO	NA	REVISÓ	ING: MILTON GAVILANES	03-05-23	
		CANTIDAD	1	APROBÓ	ING: MILTON GAVILANES	03-05-23	



		PROYECTO	EXTRUSORA DE FILAMENTO PET PARA IMPRESIÓN 3D			ESCALA 1:4		
		PARTE	CAJON PANEL					
		CODIGO	DP-050323-1-302			TOLERANCIA:		
		MATERIAL	MADERA	DISEÑO	ARTEAGA RICARDO		03-05-23	HOJA A3
		TRATAMIENTO	NA	DIBUJÓ	ARTEAGA RICARDO		03-05-23	
FICA	CIME	RECUBRIMIENTO	NA	REVISÓ	ING: MILTON GAVILANES		03-05-23	
		CANTIDAD	1	APROBÓ	ING: MILTON GAVILANES		03-05-23	

ANEXO 2

ECUACIONES

Dimensiones del barril

$$Lb = 12 \times (Di + 3) \quad (1)$$

$$Lb = 254,52 \text{ mm}$$

Donde:

- Lb = Longitud del barril
- Di = Diámetro interno del barril

Dimensiones de husillo extrusor

Holgura

$$\lambda = (0,003) \times Di \quad (2)$$

$$\lambda = 0,063 \text{ mm}$$

Donde:

- λ = Holgura
- Di = Diámetro interno del barril

Diámetro del husillo extrusor

$$Dt = Di - (2 \times \lambda) \quad (3)$$

$$Dt = 20,83 \text{ mm}$$

Donde:

- Dt = Diámetro del tornillo extrusor

Longitud de rosca del husillo

$$Lt = 12 \times (Dt + 3) \quad (4)$$

$$Lt = 253,01 \text{ mm}$$

Donde:

- L_t = Longitud de rosca de tornillo

Longitud de alimentación

$$La = \frac{Lt}{2} \quad (5)$$

$$La = 126,51 \text{ mm}$$

Donde:

- La = Longitud de alimentación de la rosca de tornillo

Longitud de compresión

$$Lc = \frac{Lt}{4} \quad (6)$$

$$Lc = 63,25 \text{ mm}$$

Donde:

- Lc = Longitud de compresión de la rosca de tornillo

Longitud de dosificación

$$Ld = \frac{Lt}{4} \quad (7)$$

$$Ld = 63,25 \text{ mm}$$

Donde:

- Ld = Longitud de dosificación de la rosca de tornillo

Paso

$$w = 1 \times Dt \quad (8)$$

$$w = 20,83$$

Donde:

- w = Paso del tornillo de extrusión

Ancho de cresta del filete

$$af = 0,08 \times Dt \quad (9)$$

$$af = 1,67 \text{ mm}$$

Donde:

-af = Ancho de cresta

Profundidad del canal helicoidal de tornillo

$$h = 0,2 \times Dt \quad (10)$$

$$h = 4,17 \text{ mm}$$

Donde:

-h = Profundidad del canal

Ángulo de hélice

$$\psi = \frac{w}{\pi * \left(\frac{\pi}{180}\right) * Dt} \quad (11)$$

$$\psi = 18,24^\circ$$

Donde:

-ψ = Angulo de hélice

Holgura del filete

$$\delta = 0,025 \times Dt \quad (12)$$

$$\delta = 0,521 \text{ mm}$$

Donde:

-δ = Holgura

Numero de filetes

$$nf = \frac{Lt}{Dt} \quad (13)$$

$$nf = 12,14 \approx 12$$

Donde:

-nf = Numero de filetes

Caudal volumétrico del tornillo

$$Q = \left(\frac{a * K}{K * \beta * \gamma} \right) n * \rho * 60 \frac{\text{min}}{\text{hora}} \quad (14)$$

Donde:

-Q = Caudal volumétrico del tornillo

- α = Constante de flujo directo

- β = Constante de flujo inverso

- γ = Constante de fugas

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

-n = RPM del husillo extrusor

- ρ = Densidad del PET = $1,38 * 10^{-3}$

Todos los cálculos relacionados con el caudal volumétrico se realizan en centímetros con la finalidad de facilitar las distintas operaciones.

Constante de flujo directo

$$\alpha = \frac{\pi * m * Dt * h * \left(\frac{w}{m} - af \right) * \cos \psi^2}{2} \quad (15)$$

$$\alpha = 2,46 \text{ cm}^3$$

Donde:

-m = Número de canales

Constante de flujo inverso

$$\beta = \frac{m * h^3 * \left(\frac{w}{m} - af\right) * \cos \psi * \sin \psi}{12 * Lt} \quad (16)$$

$$\beta = 1,36 * 10^{-4} \text{ cm}^3$$

Constante de fugas

$$\gamma = \frac{\pi^2 * Dt^2 * \delta^3 * \tan \psi}{10 * Lt * af} \quad (17)$$

$$\gamma = 4,73 * 10^{-5} \text{ cm}^3$$

Coeficiente de la forma geométrica

Canal cilíndrico

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

$$k1 = 1,151 * 10^{-5} \text{ cm}^3$$

Donde:

-k1 = Coeficiente de forma geométrica para canales cilíndricos

-d = Diámetro del canal = 1.75 mm

-L = Longitud del canal = 20 mm

Canal cónico

$$k2 = \frac{3 * \pi * de^3 * ds^3}{128 * L * (de^2 + de * ds + ds^2)} \quad (19)$$

$$k2 = 1,583 * 10^{-2} \text{ cm}^3$$

Donde:

-k2 = Coeficiente de forma geométrica de un canal cónico

-de = Diámetro de entrada = 22 mm

-ds = Diámetro de salida = 5 mm

-L = Longitud del canal = 10 mm

$$K = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}} \quad (20)$$

$$K = 1,151 * 10^{-5} \text{ cm}^3$$

Donde:

-K = Coeficiente de la forma geométrica

Capacidad de producción

Tabla 1

Interpolación de la capacidad de producción

Capacidad de producción del husillo						
α	β	γ	k	rpm	Densidad	Producción [Kg/h]
2,36	1,36E-04	4,73E-05	1,150E-05	1	1,380E-03	0,0115
2,36	1,36E-04	4,73E-05	1,150E-05	2	1,380E-03	0,0231
2,36	1,36E-04	4,73E-05	1,150E-05	3	1,380E-03	0,0346
2,36	1,36E-04	4,73E-05	1,150E-05	4	1,380E-03	0,0462
2,36	1,36E-04	4,73E-05	1,150E-05	5	1,380E-03	0,0577
2,36	1,36E-04	4,73E-05	1,150E-05	6	1,380E-03	0,0692

Potencia requerida

Potencia teórica

$$Pt = \frac{n * \pi * Dt^3}{K^2} \quad (21)$$

$$P_t = 31,93 \text{ W}$$

Donde:

- P_t = Potencia teórica (Watts)

- n = Revoluciones en rpm

- D_t = Diámetro del tornillo extrusor

- K = Factor de proporcionalidad = 66,7

Perdidas por instalaciones eléctricas

$$P_i = 0,015(P_t) \quad (22)$$

$$P_i = 0,479 \text{ W}$$

Donde:

- P_i = Perdida por instalaciones eléctricas (Watts)

Perdidas en motores

$$P_m = 0,03(P_t) \quad (23)$$

$$P_m = 0,958 \text{ W}$$

Donde:

- P_m = Perdidas por motores o generadores

Potencia Real

$$P_r = P_t + P_i + P_m \quad (24)$$

$$P_r = 33,367 \text{ W}$$

Donde:

P_r = Potencia real

Momento de giro

EL momento de giro es calculado para determinar la flecha máxima admisible, este dato será comprobado con la simulación el software SolidWorks.

$$Mg = 9950 \frac{Pr}{n} \quad (25)$$

$$Mg = 63,726 \text{ Nm}$$

Donde:

-Mg = Momento de giro

-n = Velocidad angular del husillo en rpm

Resistencia calefactora

Presión máxima dentro la extrusora

$$Pmax = \frac{6\pi * Dt * Lt * n * u}{ha^2 * \tan(18,24^\circ)} \quad (26)$$

$$Pmax = 29,13 \text{ MPa}$$

$$\Delta P = 29,13 \text{ MPa}$$

Donde:

-u = Viscosidad efectiva

Flujo total dentro la extrusora

$$Qt = \alpha(n) - \beta \left(\frac{\Delta P}{u} \right) \quad (27)$$

$$Qt = 6,14 * 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

Donde:

-Qt = Flujo dentro de la extrusora

Volumen del barril

$$Vb = Lb * \pi * (De^2 - Di^2) \quad (28)$$

$$Vb = 5,46 * 10^{-5} m^3$$

Donde:

Vb = Volumen del barril

Superficie externa del barril

$$Ae = 2 * \pi * De * Lb \quad (29)$$

$$Ae = 0,0213 m^2$$

Donde:

Ae = Superficie externa del barril

Tiempo de residencia de la mezcla

$$Tpo = \frac{\pi * Lt * RDt}{Qt} \quad (30)$$

$$Tpo = 12,64 s$$

Donde:

RDt = Radio externo del husillo (m)

Diferencias de temperaturas en el barril

$$\Delta Tb = Tm - Ta \quad (31)$$

$$\Delta Tb = 673,15 \text{ } ^\circ K - 298,15 \text{ } ^\circ K$$

$$\Delta Tb = 375 \text{ } ^\circ K$$

Donde:

-Tm = Temperatura máxima

-Ta = Temperatura ambiente

Flujo de calor

$$Qr = \delta * Vb * Ce * \Delta Tb \left[1 - e^{\left(\frac{Tpo * Ub * Ae}{\rho A * Vb * Ce} \right)} \right] \quad (32)$$

$$Q_r = 3806,495 \text{ J}$$

Donde:

- ρ_A = Densidad ASTM A106 = 7900 kg /m³

- C_e = Calor específico del acero = 460 J /kg * °K

- U_b = Coeficiente de transferencia de calor del acero = 38,6 W/m² * °K

Potencia aparente

$$P_{ap} = \frac{Q_r}{T_{po}} \quad (33)$$

$$\Delta P_{ap} = 301,069 \text{ W}$$

Potencia real

$$P_{real} = P_{ap} * f_{en} * f_{sd} \quad (34)$$

$$\Delta P_{real} = 397,412 \text{ W}$$

Donde:

- f_{en} = Factor de envejecimiento = 1,1

- f_{sd} = Factor de sobredimensionamiento = 1,2

ANEXO 3

CATÁLOGO DIPAC

PLANCHAS

LAMINADAS AL CALIENTE

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 115
Espesores:	ASTM A36 - SAE J 403 1008
Espesores:	2mm a 12mm
Rollos:	Ancho 1000, 1220, 1500mm
Planchas:	4 x 8 pies y medidas especiales
Acabado:	Acero Negro



Calidad Comercial

Calidad	Composición Química							Propiedades Mecánicas			
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	Norma Equivalente
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= Oe	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33

Calidad Estructural

Norma		Composición Química						Propiedades Mecánicas				
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alarga- miento %	Doblado 180°	Norma Equivalente
ASTM A-588M Grado A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min	0=1,5e	SAE 1015 SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36
ASTM A-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min		
JIS G-3101 5541 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min		
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e	

EJES

ACERO DE TRANSMISIÓN

Especificaciones Generales:

Norma: AISI 1018

Descripción: Es un acero de cementación no aleado principalmente utilizado para la elaboración de piezas pequeñas, exigidas al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante.

Aplicaciones: Levas uniones, bujes, pines, pivotes, pernos grado 3.

Largo: 6 mts



COMPOSICIÓN QUÍMICA

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0 - 0,20	0 - 0,25	0 - 0,70	0 - 0,04	0 - 05

PROPIEDADES MECÁNICAS

RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm ²)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm ²)	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
410 - 520	235	20	143

DIMENSIONES

DIÁMETRO

3/8"
1/4"
5/8"
3/4"
7/8"
1"
1-1/4"
1-1/2"
1-3/4"
2"
2-1/4"
2-1/2"
2-3/4"
3"
3-1/2"
4"
4-1/2"
5"
6"

EJES

ACERO INOXIDABLE

Especificaciones Generales:

Norma: AISI 304

Descripción: Acero Inoxidable austenítico al cromo-níquel con bajo contenido de carbono. Resiste a la corrosión intercrystalina hasta 300 C. Resiste al efecto corrosivo del medio ambiente, vapor, agua y ácidos, así como de soluciones alcalinas, si se emplea con la superficie pulida espejo.

Aplicaciones: Industrias alimenticias, cervecera, azucarera, utensillos domésticos, industria del cuero, farmacéutica, dental, etc...

Largo: 6 mts



COMPOSICIÓN QUÍMICA

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 - 0,08	0 - 1	0 - 2	0 - 0,045	0 - 0,03	8 - 10.5	18 - 20

PROPIEDADES MECÁNICAS

RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm ²)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm ²)	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
520	220	20	249 - 278

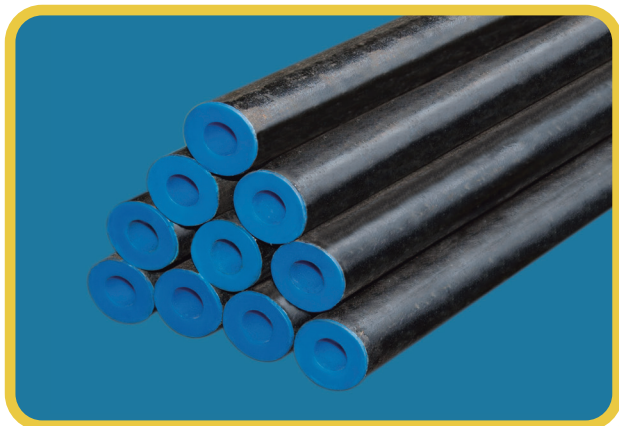
DIMENSIONES

DIÁMETRO

3/16"
1/4"
5/16"
3/8"
1/2"
5/8"
3/4"
1"
1-1/4"
1-1/2"
2"
2-1/2"
3"
3-1/2"
4"
5"
6"

TUBERÍA SIN COSTURA

CÉDULA 80



Especificaciones Generales:

ASTM A 53 GRB: Conducción fluidos y gases en minería, petroquímica, pesca y en general.

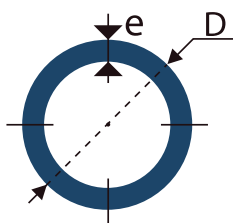
API 5L: Tubos para industria petrolera

ASTM A 106: Tubos para servicio a altas temperaturas

Recubrimiento: Negro o galvanizado

Largo normal: 6,00 mts.

Acabado: Acero negro



PROPIEDADES MECÁNICAS				
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min
Kg/mm ²	Psi	Kg/mm ²	Psi	
42.2	60000	24.6	35000	30 - 35

COMPOSICIÓN QUÍMICA %			
C Max	Mn	P Max	S Max
0.3	1.2	0.05	0.06

DIÁMETRO			PROPIEDADES				
INTERIOR	EXTERIOR (D)		ESPESOR (e)		PRESIÓN/PRUEBA		PESO
pulg	mm	pulg	mm	pulg	kg/cm ²	lb/pulg ²	kg/mts
1/2"	21.30	0.84	3.73	0.14	60	850	1.62
3/4"	26.70	1.05	3.91	0.15	60	850	2.19
1"	33.40	1.31	4.55	0.17	60	850	3.23
1 1/4"	42.20	1.66	4.85	0.19	134	1900	4.47
1 1/2"	48.30	1.90	5.08	0.20	134	1900	5.41
2"	60.30	2.37	5.54	0.21	176	2500	7.48
2 1/2"	73.00	2.87	7.01	0.27	176	2500	11.41
3"	88.90	3.50	7.62	0.30	176	2500	15.27
4"	114.30	4.50	8.56	0.33	197	2800	22.31
6"	168.30	6.62	10.97	0.43	193	2740	42.56

*Otros largos y acabados previa consulta

www.dipacmanta.com

TUBERÍA SIN COSTURA

CÉDULA 40



Especificaciones Generales:

ASTM A 53 GRB: Conducción flúidos y gases en minería, petroquímica, pesca y en general.

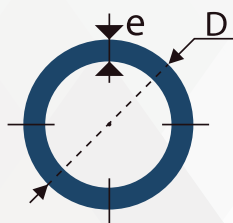
API 5L: Tubos para industria petrolera

ASTM A 106: Tubos para servicio a altas temperaturas

Recubrimiento: Negro o galvanizado

Largo normal: 6,00 mts.

Acabado: Acero negro



COMPOSICIÓN QUÍMICA %			
C Max	Mn	P Max	S Max
0.3	1.2	0.05	0.06

PROPIEDADES MECÁNICAS				
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min
Kg/mm ²	Psi	Kg/mm ²	Psi	
42.2	60000	24.6	35000	

DIÁMETRO			PROPIEDADES				
INTERIOR	EXTERIOR (D)		ESPESOR (e)		PRESIÓN/PRUEBA		PESO
pulg	mm	pulg	mm	pulg	kg/cm ²	lb/pulg ²	kg/mts
1/2"	21.30	0.84	2.77	0.10	49	700	1.27
3/4"	26.70	1.05	2.87	0.11	49	700	1.68
1"	33.40	1.31	3.38	0.13	49	700	2.50
1 1/4"	42.20	1.66	3.56	0.14	91	1300	3.38
1 1/2"	48.30	1.90	3.68	0.14	91	1300	4.05
2"	60.30	2.37	3.91	0.15	176	2500	5.44
2 1/2"	73.00	2.87	5.16	0.20	176	2500	8.62
3"	88.90	3.50	5.49	0.21	176	2500	11.29
4"	114.30	4.50	6.02	0.23	155	2210	16.07
5"	141.30	5.56	6.55	0.25	137	1950	21.78
6"	168.30	6.62	7.11	0.28	125	1780	28.26
8"	219.10	8.62	8.18	0.32	110	1570	42.53
10"	273.00	10.75	9.27	0.36	101	1430	60.29
12"	323.80	12.75	10.31	0.40	94	1340	79.65
14"	355.60	14.00	11.13	0.43	92	1310	94.55

*Otros largos y acabados previa consulta

ANEXO 4
CATÁLOGO RCK
INSTRUMENTS INC

REX-C100
REX-C400
REX-C410
REX-C700
REX-C900



General Description

The Century Series controllers are designed for precise control performance at the most reasonable cost. Available in five DIN sizes, these instruments are recognized for their solid reliability and ease-of-use. This Series features dual displays, autotuning, PID algorithm, field-selectable °C/°F, reverse or direct action and a full range of temperature alarms.

Features

- ☆ Heat/Cool Control
- ☆ Standard autotuning
- ☆ Heater and loop break alarm
- ☆ Numerous control outputs
- ☆ Field-configurable thermocouples

Heat/Cool Control

The Heat/Cool PID control features heat and cool outputs for use where process-generated heat exists. This allows the input of overlap or deadband settings which contribute to energy savings. (Not available on REX-C100)

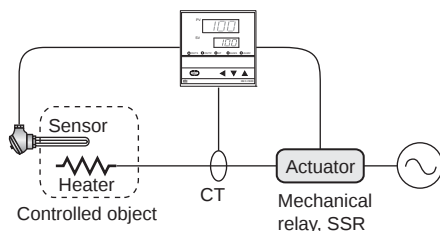
Heater Break Alarm (Optional)

The heater break alarm (HBA) detects a fault in heating or cooling circuit and displays actual amperage on the front panel. If the measured value becomes lower than the preset value, the alarm is activated.

The HBA function requires a current detector for measuring and monitoring the current load.

HBA for three phase is available. Contact RKC for details.

- Current transformer : CTL-6-P-N (0 to 30A),
CTL-12-S56-10L-N (0 to 100A)



Loop Break Alarm (Optional)

The control loop break alarm (LBA) monitors and protects an entire temperature control system. The LBA detects heater breaks, thermocouple or RTD failures, short circuits, or the failure of an operating device such as a mechanical or solid state relay.

When the PID computed value reaches 100% and the temperature does not respond in a set time, the loop break alarm is activated. Conversely, when the PID value reaches 0% and the temperature does not respond accordingly, the loop break alarm is turned on. In this example, the LBA uses reverse action to control heat. For cool control, the LBA action is reversed and becomes direct. LBA deadband is available to suppress the influence of external disturbances.

Standard Features

The Century Series offers full PID Control, autotuning on demand, °C/°F, Reverse or Direct action, PV Bias, anti-reset windup and operator lock-out function. Twelve different field-configurable thermocouple types inputs, RTD, DC milliamp or voltage inputs as well as relay, voltage pulse, 4-20 mA and triac trigger outputs are available.



Specifications

Input

Input (Universal input)

- a) Thermocouple : K, J, R, S, B, E, T, N (JIS/IEC), PLII (NBS)
W5Re/W26Re (ASTM), U, L (DIN)
 - Influence of external resistance : Approx. 0.35 μ V/ Ω
 - Input break action : Up-scale
- b) RTD : Pt100 (JIS/IEC), JPt100 (JIS)
 - Influence of input lead resistance : Approx. 0.01[%/ Ω] of reading
• Maximum 10 Ω per wire
 - Input break action : Up-scale
- c) DC voltage : 0 to 5V, 1 to 5V (0.0 to 100.0% fixed)
 - Input break action : Down-scale
- d) DC current : 0 to 20mA, 4 to 20mA (0.0 to 100.0% fixed)
 - Input break action : Down-scale

Sampling Time

0.5 sec

Performance

Measuring Accuracy

- a) Thermocouple
 - $\pm$ (0.5% of reading + 1 digit) or $\pm$ 3°C (6°F) whichever is larger
 - R, S inputs: $\pm$ 6°C (12°F) between 0 and 399°C (0 and 799°F)
 - Accuracy is not guaranteed between 0 and 399°C (0 and 799°F)

for

type B.

- b) RTD
 - $\pm$ (0.5% of reading + 1 digit) or $\pm$ 0.8°C (1.6°F) whichever is larger
- c) DC voltage and DC current
 - $\pm$ (0.5% of span + 1 digit)

Insulation Resistance

More than 20M Ω (500V DC) between measured and ground terminals
More than 20M Ω (500V DC) between power and ground terminals

Dielectric Strength

1000V AC for one minute between measured and ground terminals
1500V AC for one minute between power and ground terminals

Control

Control Method

- a) PID control with autotuning
 - Available for reverse and direct action (Specify when ordering.)
- b) Heat/Cool PID control with autotuning (Not available on REX-C100)
 - Available for air and water cooling type (Specify when ordering.)

Major Setting Range

Setting range : Same as input range.
Heat-side proportional band: 1 to span or 0.1 to span
(ON/OFF action when P=0)
• Differential gap at ON/OFF action is 2°C (°F) as standard
(Factory set value)
Cool-side proportional band: 0 to 1000% of heat-side proportional band
(Heat/Cool ON/OFF action when P_c=0)
Integral time : 0 to 3600sec.(PD action when I=0)
Derivative time : 0 to 3600sec.(PI action when D=0)
Anti-reset windup (ARW) : 1 to 100% of heat-side proportional band
Deadband/overlap : -10 to 10°C (°F) or -10.0 to 10.0°C (°F)
Proportional cycle : 1 to 100 sec.

Control Output

Relay output : Form C contact, 250V AC 3A (resistive load)
(Form A contact : REX-C100)
Voltage pulse output : 0/12V DC
(Load resistance : More than 600 Ω)
Current output : 4 to 20mA DC
(Load resistance : Less than 600 Ω)
Triac trigger output : Zero-cross method for medium capacity
triac drive (less than 100A)
• Not available on Heat/Cool PID type.

Alarms

(Optional)

Temperature Alarm

- a) Number of alarm : 2 points (Maximum)
- b) Alarm action : Deviation High, Low, High/Low, Band
Process High, Low
- c) Alarm differential gap : 2°C (°F) or 2.0°C (°F) as standard.

Heater Break Alarm (For single phase)

- a) Number of inputs : 1 point
- b) CT type : CTL-6-P-N(30A), CTL-12-S56-10L-N(100A)
- c) Display range : 0.0 to 100.0A
- d) Accuracy : $\pm$ 5% of input value or 2A
(whichever is larger)

• Output from Alarm 2 terminal.

Control Loop Break Alarm (LBA)

- a) LBA time setting : 0 to 7200 sec.
- b) LBA deadband : 0 to 999 °C[°F] or 100% of span
(OFF when LBA deadband = 0)

- Not available for triac trigger output type.
- Not available for heat/cool type.

Alarm Output

Relay output, Form A contact 250V AC 1A (resistive load)

General Specifications

Supply Voltage

- a) 85 to 264V AC (Including supply voltage variation)
[Rating : 100 to 240V AC] (50/60Hz common)
- b) 21.6 to 26.4V AC(Including supply voltage variation)
[Rating : 24V AC] (50/60Hz common)
- c) 21.6 to 26.4V DC(Ripple rate 10% p-p or less)
[Rating : 24V DC]

Power Consumption

Less than 17VA for standard AC type
Less than 7.5VA for 24V AC type
Less than 200mA for 24V DC type

Power Failure Effect

A power failure of 20msec or less will not affected the control action.
If power failure of more than 20msec occurs, controller will restart.

Operating Environment : 0 to 50°C [32 to 122°F] , 45 to 85% RH

Memory Backup : Backed up by non-volatile memory.

Net Weight

REX-C100 : Approx. 170g
REX-C400 : Approx. 260g
REX-C410 : Approx. 260g
REX-C700 : Approx. 250g
REX-C900 : Approx. 340g

External Dimensions (W x H x D)

REX-C100 : 48 x 48 x 100mm
REX-C400 : 48 x 96 x 100mm
REX-C410 : 96 x 48 x 100mm
REX-C700 : 72 x 72 x 100mm
REX-C900 : 96 x 96 x 100mm

Compliance with Standards (Optional)

- CE Mark
- UL/cUL Recognized



• Triac trigger output type and triac output are not CE Mark or UL/cUL Recognized.

Digital Temperature Controller CENTURY Series



Model and Suffix Code

Specifications	Model and Suffix Code									
Model	C100 (1/16 DIN size) C400 (1/8 DIN Vertical size) C410 (1/8 DIN Horizontal size) C700 (3/16 DIN size) C900 (1/4 DIN size)									
Control method	PID control with AT (reverse action) PID control with AT (direct action) Heat/Cool PID with AT (Water cooling type) ¹ • Not available on REX-C100 Heat/Cool PID with AT (Air cooling type) ¹ • Not available on REX-C100						F			
Input type	See Range and Input Code Table						D			
Scale range	See Range and Input Code Table						W			
Control output (OUT1)	Relay contact output Voltage pulse output DC current output : 4 to 20mA ² Triac trigger output ³						A			
Control output (OUT2)	Control action : F, D Relay contact output Voltage pulse output DC current output : 4 to 20mA							M		
Alarm 1	No alarm See Alarm Code Table							V		
Alarm 2	No alarm See Alarm Code Table							8		

Note

¹ Triac trigger output and LBA are not available on Heat/Cool type.

² HBA is not available if current output is specified.

³ Alarm 2 is not available for REX-C100 if triac trigger output is specified.

• For CE Mark and UL/cUL Approved products, add the suffix of "CE" to the end of the model code.

Range and Input Code Table

Thermocouple (Field-programmable)

Input	Code	Range
K	K 01	0 – 200°C
	K 02	0 – 400°C
	K 03	0 – 600°C
	K 04	0 – 800°C
	K 05	0 – 1000°C
	K 06	0 – 1200°C
	K 07	0 – 1372°C
	K 13	0 – 100°C
	K 14	0 – 300°C
	K 20	0 – 500°C
J	K A1	0 – 800°F
	K A2	0 – 1600°F
	K A3	0 – 2502°F
	K A9	20 – 70°F
	J 01	0 – 200°C
	J 02	0 – 400°C
	J 03	0 – 600°C
	J 04	0 – 800°C
	J 05	0 – 1000°C
	J 06	0 – 1200°C
R	J A1	0 – 800°F
	J A2	0 – 1600°F
	J A3	0 – 2192°F
	J A6	0 – 400°F
	R 01	0 – 1600°C
	R 02	0 – 1769°C
	R 04	0 – 1350°C
	R A1	0 – 3200°F
	R A2	0 – 3216°F
S	S 01	0 – 1600°C
	S 02	0 – 1769°C
	S A1	0 – 3200°F
	S A2	0 – 3216°F
B	B 01	400 – 1800°C
	B 02	0 – 1769°C
	B A1	800 – 3200°F
	B A2	0 – 3308°F

¹ Type B input : Accuracy is not guaranteed between 0 and 399°C (0 and 799°F)

Input	Code	Range
E	E 01	0 – 800°C
	E 02	0 – 1769°C
	E A1	0 – 1600°F
N	E A2	0 – 1832°F
	N 01	0 – 1200°C
	N 02	0 – 1300°C
T	N A1	0 – 2300°F
	N A2	0 – 2372°F
	T 01	-199.9 – 400.0°C
W5Re W26Re	T 02	-199.9 – 100.0°C
	T 03	-100.0 – 200.0°C
	T 04	0.0 – 350.0°C
PL II	T A1	-199.9 – 752.0°F
	T A2	-100.0 – 200.0°F
	T A3	-100.0 – 400.0°F
U	T A4	0.0 – 450.0°F
	T A5	0.0 – 752.0°F
	W 01	0 – 2000°F
L	W 02	0 – 2320°C
	W A1	0 – 4000°F
	A 01	0 – 1300°C
	A 02	0 – 1390°C
	A 03	0 – 1200°C
	A A1	0 – 2400°F
	A A2	0 – 2534°F
	U 01	-199.9 – 600.0°C
	U 02	-199.9 – 100.0°C
	U 03	0.0 – 400.0°C
	U A1	-199.9 – 999.9°F
	U A2	-100.0 – 200.0°F
	U A3	0.0 – 999.9°F
	L 01	0 – 400°C
	L 02	0 – 800°C
	L A1	0 – 800°F
	L A2	0 – 1600°F

RTD (Field-programmable)

Input	Code	Range
Pt100	D 01	-199.9 – 649.0°C
	D 02	-199.9 – 200.0°C
	D 03	-100.0 – 50.0°C
	D 04	-100.0 – 100.0°C
	D 05	-100.0 – 200.0°C
	D 06	0.0 – 50.0°C
	D 07	0.0 – 100.0°C
	D 08	0.0 – 200.0°C
	D 09	0.0 – 300.0°C
	D 10	0.0 – 500.0°C
JPT100	D A1	-199.9 – 999.9°F
	D A2	-199.9 – 400.0°F
	D A3	-199.9 – 200.0°F
	D A4	-199.9 – 100.0°F
	D A5	-100.0 – 300.0°F
	D A6	0.0 – 100.0°F
	D A7	0.0 – 200.0°F
	D A8	0.0 – 400.0°F
	D A9	0.0 – 500.0°F
	P 01	-199.9 – 649.0°C
	P 02	-199.9 – 200.0°C
	P 03	-100.0 – 50.0°C
	P 04	-100.0 – 100.0°C
	P 05	-100.0 – 200.0°C
	P 06	0.0 – 50.0°C
	P 07	0.0 – 100.0°C
	P 08	0.0 – 200.0°C
	P 09	0.0 – 300.0°C
	P 10	0.0 – 500.0°C

Voltage and Current

Input	Code	Range
0 – 5V DC	4 01	0.0 – 100.0 (Fixed)
1 – 5V DC	6 01	0.0 – 100.0 (Fixed)
0 – 20mA DC	7 01	0.0 – 100.0 (Fixed)
4 – 20mA DC	8 01	0.0 – 100.0 (Fixed)

• Field programmable among following input group

a) 0 – 5V, 1 – 5V

b) 0 – 20mA, 4 – 20mA

Alarm Code Table

Code	Type
A	Deviation High
B	Deviation Low
C	Deviation High - Low
D	Deviation Band
E	Deviation High with Hold
F	Deviation Low with Hold
G	Deviation High/Low with Hold

Code	Type
H	Process High
J	Process Low
K	Process High with Hold
L	Process Low with Hold
R	Loop break alarm (LBA)
P	Heater break alarm (CTL-6P-N) 30A
S	Heater break alarm (CTL-12-S56-10L-N) 100A

Supply Voltage

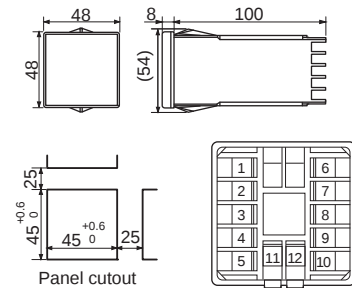
100 – 240V AC	24V AC	24V DC
---------------	--------	--------

Digital Temperature Controller **CENTURY Series**

External Dimensions and Rear Terminals

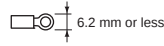
(Unit : mm)

REX-C100



No.	Description
1	Alarm 1
2	Alarm 2
3	Control Output (1) Relay contact output (2) Voltage DC/Current DC (3) Triac trigger output
4	Relay contact output
5	Control Output (1) Relay contact output (2) Voltage DC/Current DC (3) Triac trigger output

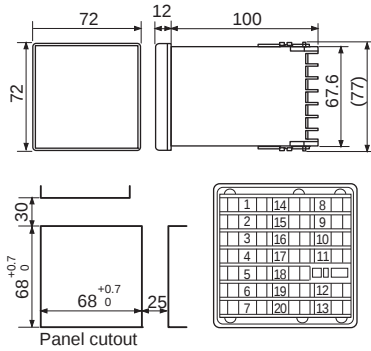
• Use 6.2mm or less solderless terminal.



No.	Description
6	Power supply
7	Power supply
8	Measured input (1) Thermocouple (2) RTD (3) Voltage/Current
9	Measured input (1) Thermocouple (2) RTD (3) Voltage/Current
10	Measured input (1) Thermocouple (2) RTD (3) Voltage/Current

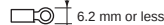
No.	Description
11	CT input for heater break alarm
12	Current transformer input

REX-C700

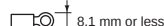


No.	Description
1	Ground
2	Power supply
3	Power supply
4	PID Control (OUT1)
5	Heat/Cool PID Control (OUT2)
6	Control Output (1) Relay contact output (2) Voltage DC/Current DC (3) Triac trigger output
7	Control Output (1) Relay contact output (2) Voltage DC/Current DC (3) Triac trigger output

• Use 6.2mm or less solderless terminal.
No. 1-10 (Power, Alarm and Output terminals)



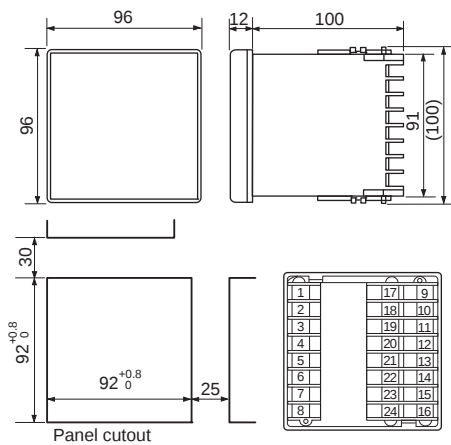
• Use 8.1mm or less solderless terminal.
No. 11-13 (Input terminals)



No.	Description
8	Alarm output
9	Alarm output
10	Alarm output
11	Measured input (1) Thermocouple (2) RTD (3) Voltage/Current
12	Measured input (1) Thermocouple (2) RTD (3) Voltage/Current
13	Measured input (1) Thermocouple (2) RTD (3) Voltage/Current

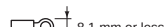
No.	Description
19	CT input for heater break alarm
20	Current transformer input

REX-C900



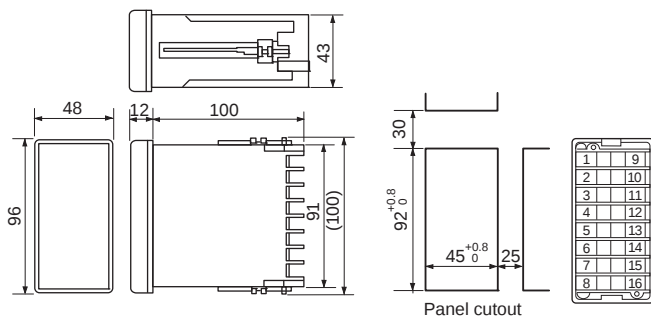
No.	Description
1	Ground
2	Power supply
3	Power supply
4	PID Control (OUT1)
5	Heat/Cool PID Control (OUT2)
6	Control Output (1) Relay contact output (2) Voltage DC/Current DC (3) Triac trigger output
7	Control Output (1) Relay contact output (2) Voltage DC/Current DC (3) Triac trigger output
8	Control Output (1) Relay contact output (2) Voltage DC/Current DC (3) Triac trigger output

• Use 8.1mm or less solderless terminal.

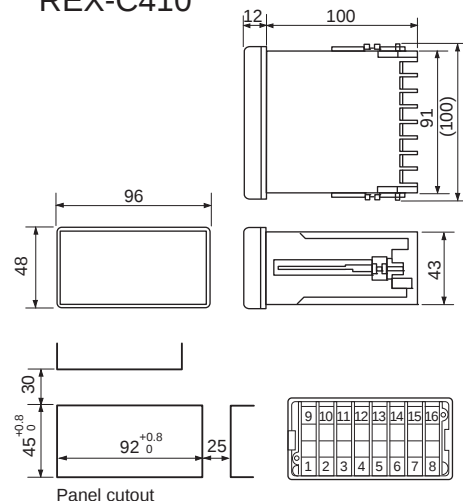


No.	Description
9	Alarm output
10	Alarm output
11	Alarm output
12	CT input for heater break alarm
13	Current transformer input
14	Measured input (1) Thermocouple (2) RTD (3) Voltage/Current
15	Measured input (1) Thermocouple (2) RTD (3) Voltage/Current
16	Measured input (1) Thermocouple (2) RTD (3) Voltage/Current

REX-C400



REX-C410



ANEXO 5

PROGRAMACIÓN

DE ARDUINO

```

//CODIGO PARA CONTROL DE MOTOR A PASOS DE EXTRUSORA DE FILAMENTO

//Libreria para control de motor a pasos
#include <AccelStepper.h>
#include <MultiStepper.h>

// Definicion de las conexiones del motor paso a paso y el tipo
de interfaz del motor.
//El tipo de interfaz del motor debe establecerse en 1 cuando se
utiliza un controlador:
#define dirPin 3
#define stepPin 4
#define motorInterfaceType 1

// Crear una nueva instancia de la clase AccelStepper:
AccelStepper stepper = AccelStepper(motorInterfaceType, stepPin,
dirPin);

//Variables para pulsadores de control de velocidad
int pulsador1 = 8; //Entrada digital pulsador 1
int pulsador2 = 9; //Entrada digital pulsador 2
int presionado1 = 0; //Variable para pulsadorA
int presionado2 = 0; //Variable para pulsadorR
int contador;

void setup() {
    //Definición de maxima velocidad en pasos por segundo
    stepper.setMaxSpeed(1000);
    //Definición de entradas y salidas digitales
    pinMode(pulsador1,INPUT);
    pinMode(pulsador2,INPUT);
}

void loop() {
    if (digitalRead(pulsador1)==LOW)
    {
        presionado1 = 1; //cambia de estado si se presiona el
pulsador
    }
    if (digitalRead(pulsador1)==HIGH && presionado1 == 1)
    {
        delay(100);
        presionado1=0; //se reinicia la variable
        contador++;    //contador aumenta en una unidad

        if (contador > 5)
        {
            contador = 0; //se reinicia el contador
        }
    }
}

```

```

}

//secuencia para disminuir o retroceder

if (digitalRead(pulsador2)==LOW)
{
    presionado2 = 1; //cambia de estado si se presiona el
pulsador
}
if (digitalRead(pulsador2)==HIGH && presionado2 == 1)
{
    delay(100);
    presionado2 = 0; //se reinicia la variable
    contador--;

    if (contador < 0)
    {
        contador = 5; // se reinicia el contador
    }
}
switch (contador)
{

    case 0:
        //El motor a pasos se detiene completamente
        stepper.disableOutputs();
        break;

    case 1:
        stepper.setSpeed(10); //Velocidad den paso por segundo
        stepper.runSpeed(); //Aceleracion constante
        break;

    case 2:
        stepper.setSpeed(14); //Velocidad den paso por segundo
        stepper.runSpeed(); //Aceleracion constante
        break;

    case 3:
        stepper.setSpeed(17); //Velocidad den paso por segundo
        stepper.runSpeed(); //Aceleracion constante
        break;

    case 4:
        stepper.setSpeed(20); //Velocidad den paso por segundo
        stepper.runSpeed(); //Aceleracion constante
        break;
}

```

```
    case 5:  
        stepper.setSpeed(23); //Velocidad den paso por segundo  
        stepper.runSpeed(); //Aceleracion constante  
        break;  
    }  
}
```

ANEXO 6

MANUAL DE USUARIO

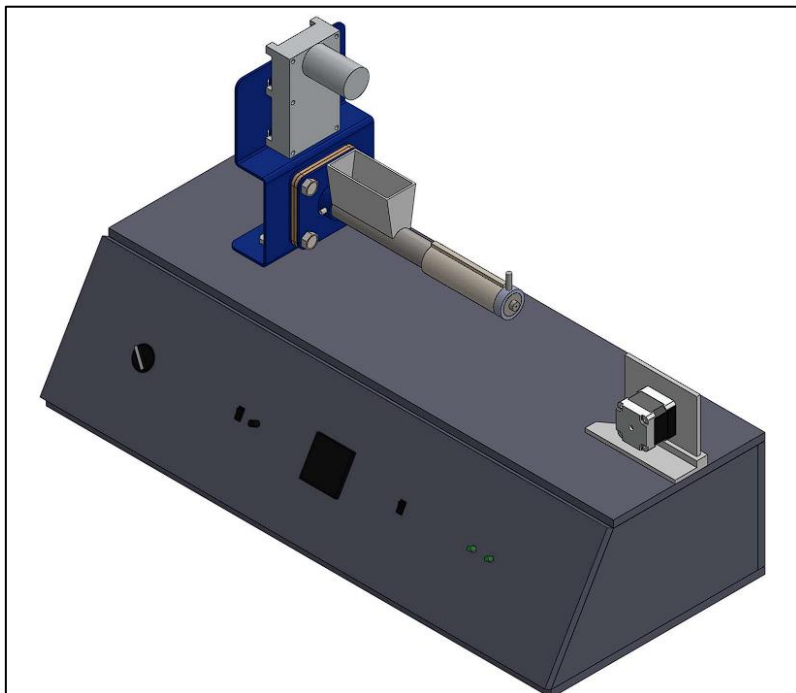


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

MANUAL DE USUARIO DE MÁQUINA EXTRUSORA DE FILAMENTO DE
POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET) RECICLADO PARA IMPRESORAS 3D



Introducción

La extrusora PET es un dispositivo diseñado para procesar botellas de plástico PET trituradas y tratadas con la finalidad de obtener un filamento para su uso en la impresión 3D. Este manual de usuario ha sido creado con finalidad de guiarlo a usted en uso correcto de esta máquina y así obtener los mejores resultados. Lea atentamente todas las indicaciones y advertencias.

Advertencias

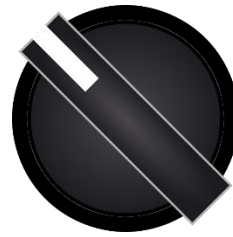
Antes de iniciar con su uso es importante conocer la máquina que está a punto de utilizar, esencialmente sus riesgos. Al ser una extrusora el principal riesgo es el de una quemadura debido a las altas temperaturas de algunos elementos expuestos. Además, el derretir plástico también trae riesgos a la salud por los vapores tóxicos que se generan. Por esto y más es indispensable disponer del equipo de protección personal adecuado que para este caso son los lentes de protección, guantes y tapabocas.



Instrucciones de uso

El dispositivo cuenta con switch selector para el encendido y apagado.

0



1



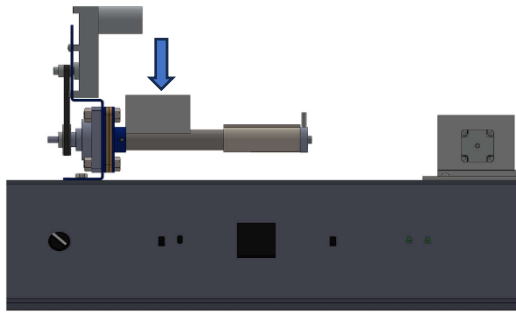
Una vez iniciado el selector el controlador PID se inicia automáticamente y se vera la siguiente pantalla.



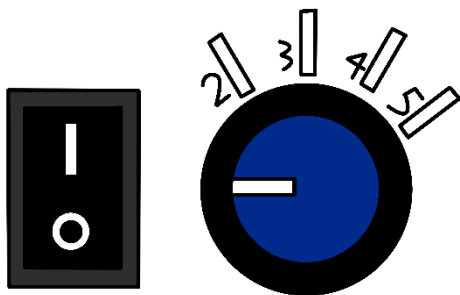
A continuación, debe espera 45 minutos para la temperatura se estabilice en 231°C.



Cuando la temperatura se haya estabilizado debe ingresar el material para la extrusión en la tolva.

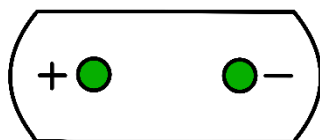


Cuando la materia prima esta lista se debe iniciar el giro de husillo para ello se debe activar el mini switch de dos posiciones y llevar el potenciómetro a la posición con el número 5.



Cuando el material empieza a salir deberá descartar los primeros centímetros debido a que puede presentarse cualquier impureza.

Finalmente debe iniciar el motor a pasos este viene configurado con 5 velocidades inicie en la más baja y una vez este enganchado el filamento aumente la velocidad hasta el máximo. En la siguiente imagen se muestra los pulsadores.



Recalibración

En caso de que el dispositivo por alguna razón haya sufrido alguna modificación y usted desee cambiar la temperatura desea solamente debe dar un clic en la tecla set del PID y con ayuda de las flechas ubicar la temperatura configurada anteriormente. Si quiere ingresar una nueva temperatura este método solo funciona para una configuración de 2 °C arriba o debajo de la configurada anteriormente.

Si lo que usted desea es ingresar una temperatura fuera de los parámetros establecidos, siga los pasos a continuación.

Para empezar, mantenga presionado la tecla set durante unos segundos hasta que le salga el siguiente menú.



En este menú con un clic en set podrá moverse a través de las opciones, vaya hasta la opción de la siguiente imagen y configure el valor mostrado ahí.



Con la configuración anterior podrá activar el modo PID del controlador, una vez listo configure las siguientes opciones con los valores mencionados en las imágenes.

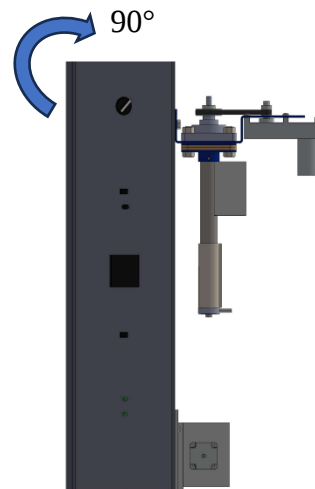


Cuando las configuraciones estén listas salga del menú manteniendo presionado el botón set.

Ahora debe esperar a que la temperatura se estabilice en la temperatura deseada.

Mantenimiento de la máquina

Este dispositivo requiere de mantenimiento o limpieza cuando se desea cambiar de material de extrusión, como por ejemplo usar PET de otro color. Esto se realiza girando la máquina 90 grados en sentido horario y encendiéndola. Una vez la temperatura se haya estabilizado se retira la boquilla y se pone en marcha el motorreductor a máxima velocidad.



Una vez listo esto se coloca un recipiente para recolectar el plástico acumulado en la máquina y espera que todo el material derretido salga.

Si la máquina está sometida a un uso diario es recomendable cambiar la banda dentada cada 6 meses.