



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONITOREO DE EXTRUSORA DE
FILAMENTO CON CÁMARA REGULADORA DE HUMEDAD
USANDO LABVIEW**

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

AUTORES: Heide Beatríz Solórzano Orellana
Daniella Michelle Toral Andrade
TUTOR: David Humberto Cárdenas Villacrés

Guayaquil - Ecuador
2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, **Heide Beatríz Solórzano Orellana** con documento de identificación N° **1206873695** y **Daniella Michelle Toral Andrade** con documento de identificación N° **0923326144**; manifestamos que:

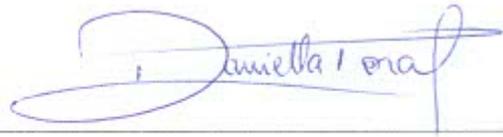
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,



Heide Beatríz Solórzano Orellana
1206873695



Daniella Michelle Toral Andrade
0923326144

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Heide Beatríz Solórzano Orellana** con documento de identificación N° **1206873695** y **Daniella Michelle Toral Andrade** con documento de identificación N° **0923326144**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: Diseño, Construcción y Monitoreo de Extrusora de Filamento con Cámara Reguladora de Humedad usando Labview**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,



Heide Beatríz Solórzano Orellana
1206873695



Daniella Michelle Toral Andrade
0923326144

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **David Humberto Cárdenas Villacrés**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana , declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **Diseño, Construcción y Monitoreo de Extrusora de Filamento con Cámara Reguladora de Humedad usando Labview**, realizado por **Heide Beatríz Solórzano Orellana** con documento de identificación N° **1206873695** y por **Daniella Michelle Toral Andrade** con documento de identificación N° **0923326144**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,

Ing. David Humberto Cárdenas Villacrés, MSc
1716494107

I. AGRADECIMIENTOS

A Padre.
A los miembros de DTAI.
A nuestro tutor a cargo.
A nuestras Familias.

II. RESUMEN

El presente proyecto contempla el diseño, construcción y monitoreo de una máquina extrusora de filamento para impresión 3D y una cámara reguladora de humedad para su almacenamiento. Dicho proceso de extrusión se llevará a cabo a partir del scrap generado por los laboratorios de manufactura aditiva de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, Campus Centenario.

En este estudio se redactan los fundamentos teóricos y cálculos necesarios para la obtención de un nuevo filamento, además del diseño de los elementos que conforman el resto de procesos contemplados en la extrusión y bobinado. El documento incluye análisis estáticos y dinámicos del husillo mostrando su comportamiento ante el giro del motor principal y la nueva densidad del material reciclado.

Para lograrlo se realizaron pruebas de extrusión con PE virgen y PLA reciclado, logrando establecer una correcta velocidad en los motores en el área de conversión y en el motor principal del husillo. Además, se monitorea la temperatura adecuada en cada una de las zonas de extrusión por medio del micro controlador Raspberry que enviará los datos al software LabView como interfaz de monitoreo.

Posterior a esto, se almacena el filamento en una cámara reguladora de humedad para proteger al filamento de cambios higroscópicos.

Palabras claves: Extrusora, Husillo, scrap, Filamento 3D, Cámara reguladora de humedad, Raspberry, LabView.

III. ABSTRACT

This project contemplates the design, construction and monitoring of a filament extruder machine for 3D printing and a humidity regulating chamber for its storage. Said extrusion process will be carried out from the scrap generated by the additive manufacturing laboratories of the Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, Campus Centenario.

In this study, the theoretical foundations and calculations necessary to obtain a new filament are drawn up, in addition to the design of the elements that make up the rest of the processes contemplated in extrusion and winding. The document includes static and dynamic analyzes of the screw, showing its behavior when the main motor rotates and the new density of the recycled material.

To achieve this, extrusion tests were carried out with virgin PE and recycled PLA, establishing a correct speed in the motors in the conversion area and in the main motor of the spindle. In addition, the appropriate temperature is monitored in each of the extrusion zones by means of the Raspberry microcontroller that will send the data to the LabView software as a monitoring interface.

After this, the filament is stored in a humidity regulating chamber to protect the filament from hygroscopic changes.

Keywords: Extruder, Screw, Scrap, 3D Filament, Humidity Regulatory Chamber, Raspberry, LabView.

ÍNDICE

I.	Agradecimientos	5
II.	Resumen	6
III.	Abstract	7
IV.	Introducción	12
V.	Estado del Arte	13
V-A.	Problema de Estudio	13
V-B.	Justificación	13
V-C.	Objetivos de la investigación	14
V-C1.	Objetivo general	14
V-C2.	Objetivos específicos	14
VI.	Fundamentación Teórica	15
VI-A.	Marco Teórico	15
VI-A1.	Extrusión de Plásticos	15
VI-A2.	Técnica de extrusión de plásticos	15
VI-A3.	Tipos de extrusora	16
VI-A4.	Especificaciones de extrusora mono husillo	16
VI-A5.	Componentes de la extrusora	17
VI-A6.	Descripción de funcionamiento de una extrusora	20
VI-A7.	Extrusoras de filamento 3D para baja producción	21
VI-A8.	Procesos de post extrusión	22
VI-A9.	Sistema de bobinado de filamento	23
VI-A10.	Polímeros	23
VI-A11.	Tipos de Polímeros	24
VI-A12.	Los polímeros y la humedad	24
VI-A13.	Antecedentes de secadoras de filamento del mercado	24
VI-A14.	Raspberry Pi	25
VI-A15.	LabView	26
VII.	Metodología	27
VII-A.	Marco metodológico	27
VII-B.	Husillo de extrusión	27
VII-B1.	Análisis de Esfuerzos	32
VII-B2.	Selección del Motor	35
VII-C.	Cilindro	37
VII-D.	Cabezal Y boquilla	38
VII-E.	Tolva	39
VII-F.	Sistema de enfriamiento	40
VII-G.	Sistema de Poleas	41
VII-H.	Sistema de Medición	42
VII-I.	Sistema de Tensionado y guía a bobinado	43
VII-J.	Sistema de bobinado	44
VII-K.	Monitoreo en LabView	45
VII-L.	Cámara reguladora de humedad	46

VIII. Resultados	47
VIII-A. Prueba 1	47
VIII-B. Prueba 2	48
VIII-C. Prueba 3	49
VIII-D. Scrap	50
IX. Cronograma	51
X. Presupuesto	55
XI. Conclusiones	57
XII. Recomendaciones	58
Referencias	59
Apéndice	60
A. Ficha Técnica Acero 4140	60
B. Ficha Técnica Acero 304	61
C. Ficha Técnica Chumacera SKF	62
D. Ficha Técnica MAX 6675	64
E. Ficha Técnica Relé de estado sólido	66
F. Ficha Técnica Termopar tipo K.	68
G. Especificaciones de motor DC a 12V - 250rpm y 30rpm	69
H. Ficha Técnica Motor Paso a Paso	70
I. Ficha Técnica driver TB6600	71
J. Plano del Cilindro	72
K. Plano de final de carrera	73
L. Plano de Guía de tensionado / Cart	74
M. Plano de boquilla de extrusión	75
N. Plano del Husillo	76
Ñ. Plano de Guía de tensionado / CouplerV2	77
O. Ficha Técnica del Rodamiento D/W R6	78
P. Plano del Sistema de Embobinado / DC Small Belt Pulley	80
Q. Plano de Guía de tensionado / Filament Roller Half 1	81
R. Plano de Guía de tensionado / Filament Roller Half 2	82
S. Plano del Sistema de Embobinado / Front Bearing Tower	83
T. Plano de Guía de tensionado / Guide Blocks	84
U. Plano de Guide Wood Mount	85
V. Plano del Sistema de Embobinado / Large Belt Pulley	86
W. Plano del Plato de Soporte	87
X. Plano del Plato Rompedor	88
Y. Plano de la polea	89
Z. Plano de la Guía de Tensionado / Base de Guía	90
. Plano de la Guía de Tensionado / Slider	91
. Plano del Soporte de Polea	92
. Plano de los Spooler Hubs	93
. Plano de la Tolva	94
. Plano de la Guía de Tensionado / Switch Mount	95
. Plano del Sistema de Embobinado / Winder DC Bearing Tower	96
. Plano de la Base de la Cámara de Humedad	97
. Plano de la Tapa de la Cámara de Humedad	98

ÍNDICE DE CUADROS

I.	Producción de filamento según la variación de RPM	31
II.	Tabla del análisis estático del material y primera condición de operación	32
III.	Resultado del análisis de fuerzas y sujeciones en Inventor 2019	34
IV.	Parámetros de Prueba 1	47
V.	Parámetros de Prueba 2	48
VI.	Parámetros de Prueba 3	49
VII.	Cronograma de actividades de mayo a julio	51
VIII.	Cronograma de actividades de agosto a octubre	52
IX.	Cronograma de actividades de noviembre a febrero	53
X.	Presupuesto de Tesis de Grado	56
XI.	Especificaciones de motor 12V-250RPM	69
XII.	Especificaciones de motor 12V-30RPM	69

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Extrusora de plástico y sus componentes	15
2.	Tipos de husillo	17
3.	Partes del husillo	17
4.	Modelo de tolva	18
5.	Garganta de alimentación	19
6.	Extrusora 3devo	22
7.	Extrusora Exo Extruder	22
8.	Indicador de diámetro (Reloj Comparador) de carátula y digital	23
9.	Clasificación de Polímeros	23
10.	Secadora de filamento PrintDry PRO	24
11.	Secadora de filamento SUNLU	25
12.	Elemento calefactable de poliamida	25
13.	Raspberry Pi 4	25
14.	Interfaz LabView	26
15.	Zonas geométricas de Boquilla	29
16.	Diseño de Husillo en Inventor 2019	32
17.	Diseño de Husillo en Inventor 2019	33
18.	Diseño de Husillo en Inventor 2019	33
19.	Simulación del análisis de fuerzas y sujeciones en Inventor 2019	35
20.	Motor Nema 23 con caja reductora de 15,3:1	36
21.	Imagen obtenida de la página oficial de SKF, modelo tridimensional de la chumacera FY 20 TF	36
22.	Diseño de Barril en Inventor 2019	37
23.	Diseño de Barril mecanizado, con boquilla, plato rompedor, plato de soporte y termocuplas acopladas	37
24.	Diseño de Boquilla en Inventor 2019	38
25.	Diseño de Plato Rompedor en Inventor 2019	38
26.	Diseño de Cabezal y Boquilla mecanizadas	39
27.	Malla para retención de impurezas	39
28.	Diseño de Tolva en Inventor 2019	39
29.	Diseño de Tolva mecanizada	40
30.	Diseño del Sistema de Ventilación en Inventor 2019	40
31.	Sistema de Ventilación implementado en maqueta	41
32.	Diseño del Sistema de Poleas en Inventor 2019	41
33.	Sistema de poleas implementado en maqueta	42
34.	Diseño del Sistema de Medición en Inventor 2019	42
35.	Sistema de Medición implementado en maqueta	43

36.	Diseño del Sistema de tensionado y guía a bobinado en Inventor 2019	43
37.	Sistema de tensionado y guía a bobinado implementado en maqueta	44
38.	Diseño del Sistema de bobinado en Inventor 2019	44
39.	Sistema de bobinado implementado en maqueta	45
40.	Comunicación con LabVIEW	45
41.	Cámara reguladora de humedad	46
42.	PE compacto	47
43.	PE compacto	47
44.	Filamento extruido PE	48
45.	Filamento extruido con mezcla de PE y PLA reciclado	48
46.	Cilindro de color azul por altas temperaturas	49
47.	PLA compacto después de extrusión	50
48.	PLA usado para extrusión	50
49.	Acero 4140	60
50.	Acero 304	61
51.	Chumacera SKF	62
52.	Chumacera SKF	63
53.	MAX 6675	64
54.	MAX 6675	65
55.	Relé de estado sólido	66
56.	Relé de estado sólido	67
57.	Termopar tipo K	68
58.	Motor paso a paso con caja reductora de 15,3:1	70
59.	Drive de motores paso a paso TB6600	71
60.	Plano del cilindro realizado en Inventor 2019	72
61.	Plano del final de carrera realizado en Inventor 2019	73
62.	Plano de Guía de tensionado / Cart realizado en Inventor 2019	74
63.	Plano de boquilla de extrusión realizado en Inventor 2019	75
64.	Plano del Husillo realizado en Inventor 2019	76
65.	Plano de Guía de tensionado / CouplerV2 realizado en Inventor 2019	77
66.	Ficha Técnica del Rodamiento D/W R6	78
67.	Ficha Técnica del Rodamiento D/W R6	79
68.	Plano del Sistema de Embobinado / DC Small Belt Pulley realizado en Inventor 2019	80
69.	Plano de Guía de tensionado / Filament Roller Half 1 realizado en Inventor 2019	81
70.	Plano de Guía de tensionado / Filament Roller Half 2 realizado en Inventor 2019	82
71.	Plano del Sistema de Embobinado / Front Bearing Tower realizado en Inventor 2019	83
72.	Plano de Guía de tensionado / Guide Blocks realizado en Inventor 2019	84
73.	Plano de Guide Wood Mount realizado en Inventor 2019	85
74.	Plano del Sistema de Embobinado / Large Belt Pulley realizado en Inventor 2019	86
75.	Plano del Plato de Soporte realizado en la versión para estudiantes de Autodesk	87
76.	Plano del Plato Rompedor realizado en Inventor 2019	88
77.	Plano de polea realizado en Inventor 2019	89
78.	Plano de la Guía de Tensionado / Base de Guía realizado en Inventor 2019	90
79.	Plano de la Guía de Tensionado / Slider realizado en Inventor 2019	91
80.	Plano del Soporte de Polea realizado en Inventor 2019	92
81.	Plano de los Spooler Hubs realizado en Inventor 2019	93
82.	Plano de la Tolva realizado en Inventor 2019	94
83.	Plano de la Guía de Tensionado / Slider realizado en Inventor 2019	95
84.	Plano del Sistema de Embobinado / Winder DC Bearing Tower realizado en Inventor 2019	96
85.	Plano de la Base de la Cámara de Humedad realizado en Inventor 2019	97
86.	Plano de la Tapa de la Cámara de Humedad realizado en Inventor 2019	98

IV. INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se establece una solución para mejorar la calidad de los filamentos de impresión 3D almacenados y expuestos a la humedad. Por otro lado, se plantea un nuevo uso para el scrap generado en los laboratorios de manufactura aditiva de la UPS sede Guayaquil Campus Centenario, construyendo y monitoreando una extrusora de plástico con ayuda del software LabView y el microcomputador Raspberry.

Para cumplir con lo mencionado, se procederá a realizar distintas pruebas en el extrusor y así determinar la velocidad precisa del motor y temperatura adecuada para la extrusión del filamento. A fin de mantener un tensionado correcto, la velocidad del motor que permite el giro del husillo y coordinarlo con el giro del carrete de bobinado ubicado al final de la cámara reguladora de humedad. Adicional, se harán pruebas de enfriamiento del material extruido por medio de viento para evitar que durante el bobinado se adhieran las capas.

V. ESTADO DEL ARTE

V-A. *Problema de Estudio*

Existe un problema común en los Laboratorios de Manufactura Aditiva a nivel mundial que es la humedad. Pacheco menciona en su investigación que todos los filamentos para impresión 3D presentan una atracción al agua, unos en mayor medida que otros, y esto puede presentar las siguientes fallas: fragilidad de la pieza impresa, aumento de diámetro, ruptura del filamento sin imprimir, material atascado en la boquilla del extrusor, entre otros.[15]

Estudios realizados en la Universidad Politécnica de Amozoc en México indican que: “(...) Se estima que, la quinta parte del material utilizado en las impresiones se desecha; es decir, un kilogramo de plástico por cada cinco kilogramos de materia prima se va a la basura.”[19] Además, si a esto se le suma el factor de que no todas las impresiones 3D presentan el resultado final ideal para las que fueron diseñadas entonces el Kilogramo de desechos que estimó la UPAM no hace más que aumentar.

La Universidad Politécnica Salesiana UPS sede Guayaquil, Campus Centenario no es la excepción, esta cuenta con varios laboratorios de manufactura aditiva, en dónde se realizan prácticas de impresión 3D.

En dichos laboratorios se ha podido evidenciar la falta de monitoreo del efecto de la humedad en los filamentos, además la falta de reutilización de los desechos producidos por la reimpresión de piezas hasta que cumplan los parámetros adecuados.

La generación de estos desperdicios se traduce como pérdida de material y dinero, debido a que no se ha implementado una estrategia de reutilización del material desechado ni el correcto almacenamiento de los filamentos para que no exista afección de humedad.

V-B. *Justificación*

La impresión 3D se ha convertido en una gran herramienta para el aprendizaje de distintas áreas de enseñanza, una de ellas es el prototipado de piezas y ensambles a nivel de ingeniería, mostrando de forma más didáctica distintos mecanismos que usualmente son complejos de entender con un modelo en 2D. Debido a esto, la Universidad Politécnica Salesiana UPS sede Guayaquil, Campus Centenario, permitió la implementación de laboratorios de manufactura aditiva para mejorar la formación de los estudiantes.

Si bien es cierto, Molina afirma que existen variedad de ventajas en la impresión 3D [12], sin embargo, no se omite su costo y ya que esta metodología se basa en un sistema de “prueba y error”, los gastos del material se vuelven una gran desventaja en vista de que todas las impresiones consumen material que posteriormente puede llegar a ser desechado por no cumplir con las especificaciones requeridas, generando así una gran cantidad de desperdicios tanto de material como de inversión monetaria.

Dichos desperdicios, como menciona Pacheco en su trabajo investigativo, suelen producirse por problemas en el filamento presentes a causa de su mal almacenamiento, provocando que la humedad genere burbujas de aire en la composición original del material, dando como resultado una mala calidad de impresión y ruptura del filamento al momento de ser extruido[15]. Por lo tanto, no existen sólo desechos a causa de constantes fallos al imprimir, sino que también se pierde el material de impresión mucho antes de ser utilizado.

Los laboratorios de manufactura aditiva de la Universidad Politécnica Salesiana UPS sede Guayaquil Campus Centenario, carecen de un control de desperdicios y de monitoreo de humedad, provocando pérdidas valiosas de filamento. El scrap de los laboratorios no es aprovechado y se invierte en nuevos rollos de filamento, cuando este puede ser elaborado a partir de aquellos que son desechados.

En el presente proyecto se propone utilizar aquellos desechos causados por la humedad y así disminuir el costo de inversión, implementando un diseño de extrusor de fácil manejo con la ayuda de Raspberry que permitirá la comunicación entre dispositivos físicos y LabView como principal software de manejo utilizando la programación gráfica para visualizar todos los aspectos del sistema. Agregando al final del proceso una cámara de humedad que ayudará a conservar el estado de los filamentos al ser extruidos.

Esta implementación en los laboratorios logrará aprovechar el scrap producido por fallos de impresión, evitará problemas generados por la humedad, reducirá los costos por filamentos y será de aporte educativo para los estudiantes en distintas áreas de aprendizaje como son: diseño, monitoreo de sensores y actuadores por medio de un software de manejo e implementación de interfaz gráfica y procesos mecánicos que intervienen para la obtención del filamento para impresión 3D.

V-C. Objetivos de la investigación

V-C1. Objetivo general: Implementar una cámara reguladora de humedad para almacenar filamento, proveniente de una extrusora de filamento monitoreada por Labview.

V-C2. Objetivos específicos:

- Implementar un diseño de extrusor que permita generar filamentos para su uso en impresoras 3D.
- Construir una cámara de control humedad individual para el almacenamiento de rollos de filamento.
- Utilizar los desechos generados en los laboratorios de manufactura de la UPS sede Guayaquil, Campus Centenario, para la creación de nuevo filamento.

VI. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

VI-A. Marco Teórico

En la siguiente división se detallan los diversos procesos pertenecientes a la extrusión de filamento y los problemas generados en el material extruido por causa de la humedad.

VI-A1. Extrusión de Plásticos: El proceso de extrusión permite la transformación de un material, el cual es previamente fundido, a través de una boquilla, permitiendo la formación de un nuevo producto con constante sección transversal y longitud no establecida la cual depende del uso. Entre los materiales de extrusión destaca el plástico, no obstante, existen otros como los metales, cerámicos e incluso ciertos alimentos. Siendo un principal proceso para la transformación de los plásticos, la extrusión se lleva a cabo por máquinas extrusoras o extrusores y, aunque existen variedad de modelos, las más utilizadas poseen un husillo simple el cual fuerza el paso del plástico fundido hasta una boquilla.

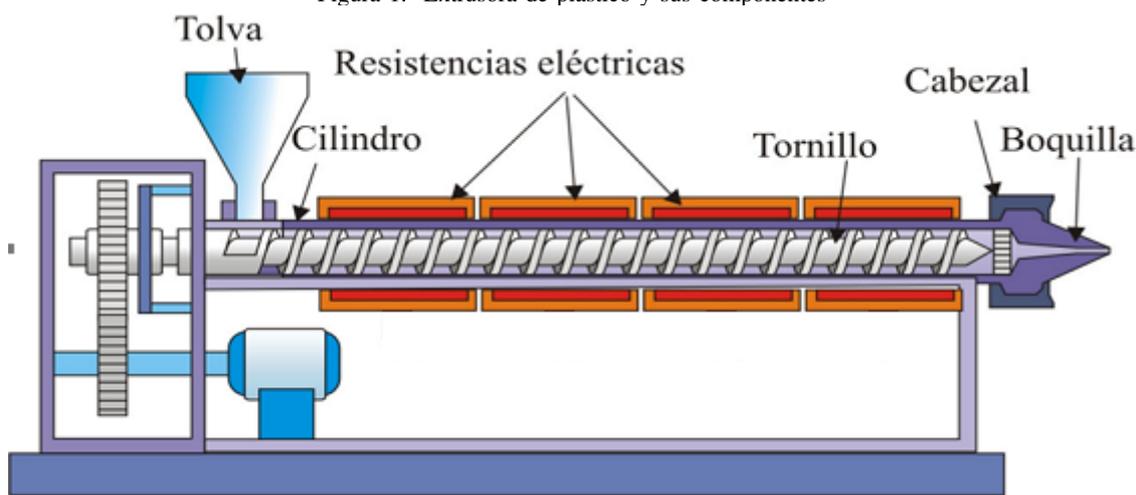
En el método de extrusión más usado para los plásticos, la alimentación de materia prima está en estado sólido y la extrusora se encarga de entregar esa materia en un estado fundido. Existe funciones específicas para una extrusora de mono husillo:

- Transportación del material en estado sólido hacia el área de fusión
- Plastificación o área de fusión
- Transporte del material fundido
- Final y salida de material por boquilla

Es necesario que una extrusora deba cumplir con ciertas disposiciones, como lo son el área de alimentación de la materia prima, área de fusión o plastificación y el área de salida que normalmente dispone de una boquilla al final del proceso.

VI-A2. Técnica de extrusión de plásticos: Según muestra la figura 1 se disponen de tres áreas para todo el procedimiento de extrusión. En primer lugar, en el área de alimentación se encuentra una tolva en dónde se ingresa la materia prima que posteriormente será llevada hacia la segunda área de plastificación o compresión conformada por un husillo o tornillo de Arquímedes que gira por la intervención de un motor conectado a una caja de reducción de velocidad, permitiendo que el material viaje a través del cilindro o barril por medio del husillo en dónde será calentado por resistencias eléctricas hasta fundirse y llevado al área final en dónde se encuentra el cabezal y boquilla, zona en dónde el material es expulsado con un área transversal específica.

Figura 1. Extrusora de plástico y sus componentes



Nota: Se presenta un el modelo de extrusor con cada una de sus partes[2]

VI-A3. Tipos de extrusora:

Extrusora de husillo simple: La extrusora Mono Husillo, consta como su nombre lo indica con un único husillo, motor y variador de velocidad. El Husillo es dividido en sus tres fases comunes: Alimentación, donde desde la tolva cae el material. Transición, donde el material avanza, es comprimido, calentado y mezclado. Dosificación, que conecta con la boquilla u orificio formador donde el material es finalmente expulsado. Se puede recalcar que la función que se cumple en la zona de Transición del husillo no es estricta, debido a que el avance, compresión, calentado y mezclado se cumple a lo largo de todo el husillo.

Extrusora de doble husillo: Por otra parte, tenemos la extrusoras Doble Husillo o Multi tornillo que constan con más de un husillo y son usadas cuando la producción es de gran volumen. Siendo las más populares las de dos tornillos, estas presentan una gran variedad de disposiciones posibles de los husillos (depende del grado de engrane entre los mismos), así como los movimientos de rotación (giro contrario y giro paralelo).

Al ser de dos husillos presenta posibilidades que no podrían ser posibles con uno sólo, como, por ejemplo: Un mejor mezclado, una mejor circulación del material, mejor distribución y una auto limpieza de los husillos. Obviamente, su precio aumenta y los servicios de mantenimientos son más caros y difíciles de conseguir.

VI-A4. Especificaciones de extrusora mono husillo:

Diámetro del cilindro (D): Está relacionado directamente con la velocidad de flujo y debido a que el caudal de material extruido es proporcional al cuadrado del diámetro del husillo, es necesario que este tenga la suficiente holgura y así tener un fluido constante.

Relación entre longitud y diámetro (L/D): Para lograr una adecuada fundición, mezclada y homogenización, la longitud del husillo debe estar relacionada con el diámetro de este y la velocidad de su giro se ve aumentada cuando su longitud aumenta, es por esto que se da la relación con su diámetro L/D. No obstante, existen problema de alineación cuando el husillo es muy largo, así que la relación recomendada de L/D para la extrusión de polímeros termoplásticos suele ser 20:1 o 30:1.

Compresión: Según la Tecnología de polímeros “la relación volumétrica de las vueltas del filete en las zonas de alimentación y de dosificado”. En esencia, las profundidades en la primera y última área del husillo sólo son válidas si la anchura del canal y el ángulo en los filetes se mantiene constante, las más usadas tienen un rango de 2.0 y 4.0. Ahora bien, existe una alta relación de compresión en el área de dosificado por su pequeña profundidad, componiendo una mayor velocidad de cizalla (relacionada con la viscosidad) sobre el material fundido y se lo relaciona con una presión mayor.

Elección de husillo: Escoger el husillo es la tarea más compleja de toda la extrusora, ya que de él dependen muchos otros componentes, su diseño debe ser preciso para nuestra aplicación y todas las especificaciones requeridas como: velocidades de flujo, fusión de polímero, entre otras. A continuación, se muestra un ejemplo de varios modelos de husillo como muestra Pacheco en su investigación [15] ilustrado a continuación en la figura 2

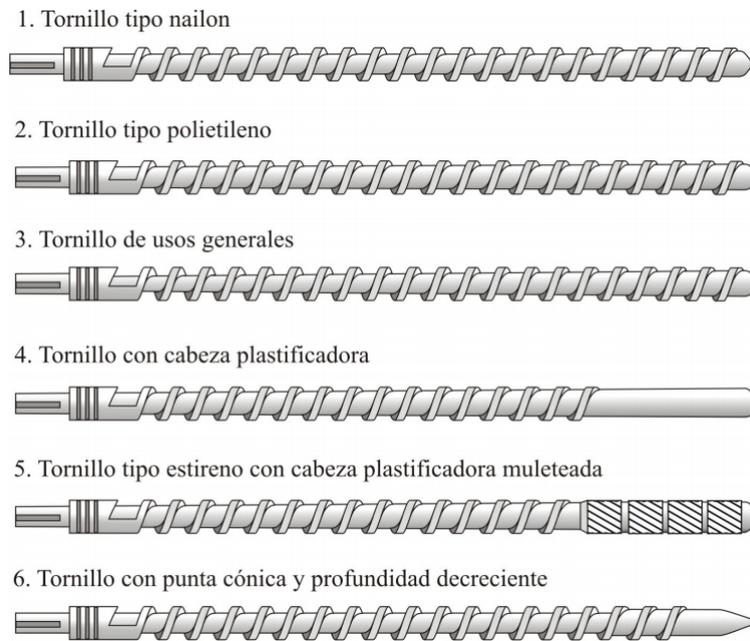


Figura 2. Tipos de husillo
 Nota: Tipos de husillos para extrusor[2]

VI-A5. *Componentes de la extrusora:* Es importante resaltar que el presente proyecto pretende usar un husillo que cumpla con tres áreas o zonas: área de alimentación, área de plastificación o compresión y área de dosificación.

El tornillo de extrusión: El husillo es un cilindro de acero largo cuyo diseño consta de un enrollamiento o filete helicoidal. Es esencial por su contribución en el transporte, fundición, homogenización, plastificación y transformación de un polímero. Su importancia es tal que el rendimiento, calidad y por ende estabilidad de los siguientes procesos dependen de esta pieza. Para poder diseñar el husillo los aspectos más importantes a tomar en cuenta son: Longitud efectiva y de alimentación, diámetro, paso de rosca, ángulo del filete y el grosor del filete (ver figura 3).

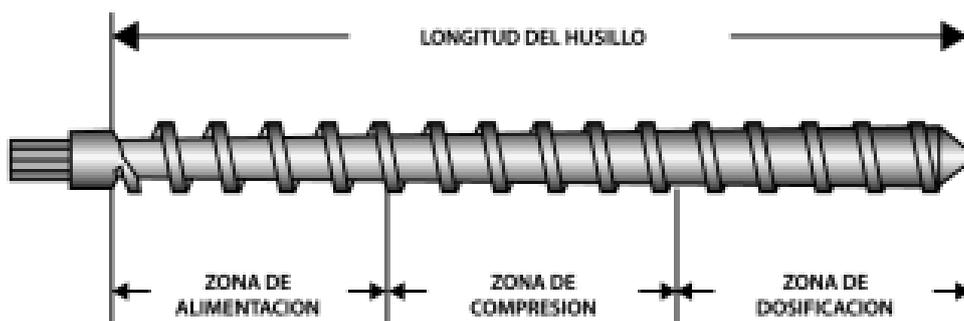


Figura 3. Partes del husillo
 Nota: Descripción de las zonas del husillo incluyendo sus respectivas medidas [10]

El husillo comprende más aspectos que sólo el transporte del material también debe tomarse en cuenta la presión que existirá hasta que el material sea extruido, al inicio se trabajará con presión atmosférica y conforme el material

avanza esta presión aumenta. Y esta afección se debe a otro aspecto a tomar en cuenta, en la zona de alimentación del husillo como se muestra en la figura 3, el diámetro es menor que el que está casi por la zona de dosificación, también llamada de extrusión o inyección. Existen otros aspectos importantes a resaltar como: la anchura del canal, las revoluciones de giro, el coeficiente de fricción, la elasticidad, calor específico, la temperatura a la que se funden los polímeros y su viscosidad.

Resulta importante resaltar que no es el husillo el que calienta el material para que este sea fundido, pero sí hay excepciones en las que vienen con huecos por los que fluye un refrigerante o calefactor líquido. Este cambio se ve presente debido a la cantidad de aspectos mencionados previamente, para una buena máquina inyectora se deben conocer los tipos de polímeros con los que se trabajará para escoger al husillo ideal. Dicho esto, la selección del husillo dependerá de dos aspectos generales: La boquilla y el material con el que se trabajará.

Cilindro: El cilindro también conocido como cañón o barril es en donde la plastificación y homogenización de material toman lugar también se encarga de portar al husillo o tornillo y a las resistencias que se encargarán de calentar el material. Su superficie se caracteriza por ser rugosa lo cual aumenta la fuerza de cizalla que soportará el material para que circule en toda su longitud, anuncia Salazar en su estudio.[10]

La construcción del cilindro es bastante particular, siendo la parte de mayor dureza de la máquina inyectora se construye con aceros de alta resistencia como lo serían los de aleación 4140, además en ciertos casos se le añade un revestimiento bimetalico el cual aumenta aún más su resistencia.

Como se lo mencionó anteriormente el barril porta resistencias, el cual es el método de calefacción más común, y en otros casos llega a incluso a calentarse el material por radiación o con fluidos calefactores o refrigerantes. Estas zonas de calefacción lo más común es dividir las en 3 partes y su control de temperatura es individual, lo que permite que el aumento de temperatura sea gradual desde la zona de alimentación hasta la de inyección (tomando en cuenta que el material va a estar más caliente que el cilindro). De preferencia el enfriamiento del cilindro se lo hace de forma gradual al ambiente o también se pueden aplicar soplantes como método opcional y no dañino para este como lo sería el uso de líquidos.

Tolva: Se lo define de igual forma como contenedor de alimentación, debido a que se lo usa para introducir la materia prima en la extrusora. Junto a ella siempre deben estar ensambladas la garganta de alimentación y la boquilla de entrada proporcionando así el material que se necesita transportar por el husillo. Su diseño se lleva a cabo según una cantidad de material a suministrar, normalmente su volumen permite dos horas de trabajo. Beltrán y Marcilla redactan en su estudio que no existe un modelo único de tolva así que en la figura 4 se muestran algunos modelos con sus respectivas vistas.[2]

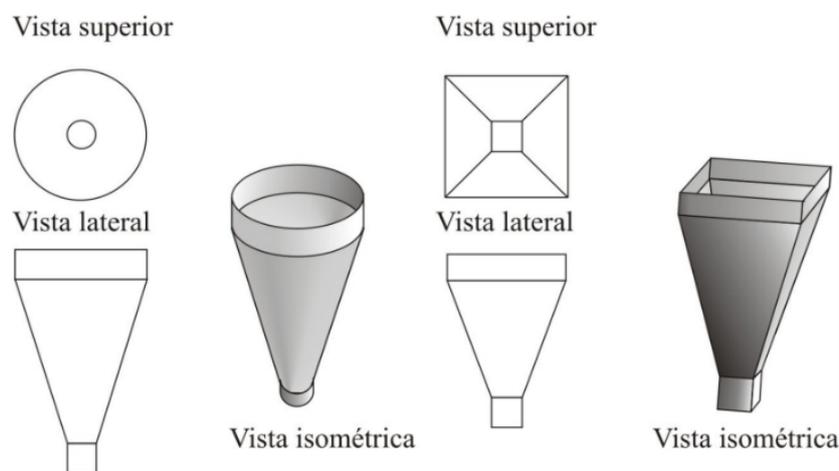


Figura 4. Modelo de tolva
Nota: Nota: Modelos de tolva con sus respectivas vistas[2]

Sistema de motor: Es necesario para la transportación del material, tanto como materia prima sólida como fundido, elegir el motor adecuado debido a que este será quien completará el proceso de extrusión hasta la zona final de dosificación. Ejecutará rotación en el husillo permitiendo que este adquiera potencia. Normalmente son eléctricos y de corriente continua de modo que se facilita su control y funcionan con voltajes entre 220V para extrusoras pequeñas y medianas y, 440V para extrusoras con mayor capacidad. Sin embargo, esta elección de motores no se da sólo por su voltaje de funcionamiento, sino también por el rango variado de velocidades de giro, lo que es muy conveniente a la hora de extruir ya que si no se tiene una correcta velocidad el material fundido presentará afecciones en su composición. Su velocidad dependerá netamente de la aplicación.

Garganta de alimentación: Esta se encuentra como una apertura en el cilindro que contiene al husillo, situada debajo de la tolva. En algunos modelos existe un sistema de refrigeración gracias al cual se mantiene una temperatura adecuada en el área para evitar la adherencia de partículas en las paredes internas del cilindro.

La boquilla de entrada permite la unión entre la garganta de alimentación y la tolva. Suele ser 1.5 veces de diámetro y 0.7 veces la anchura del cilindro, tal como se muestra en la figura 5 tiene un ligero desplazamiento desde el eje para no tener problemas de caída del material.

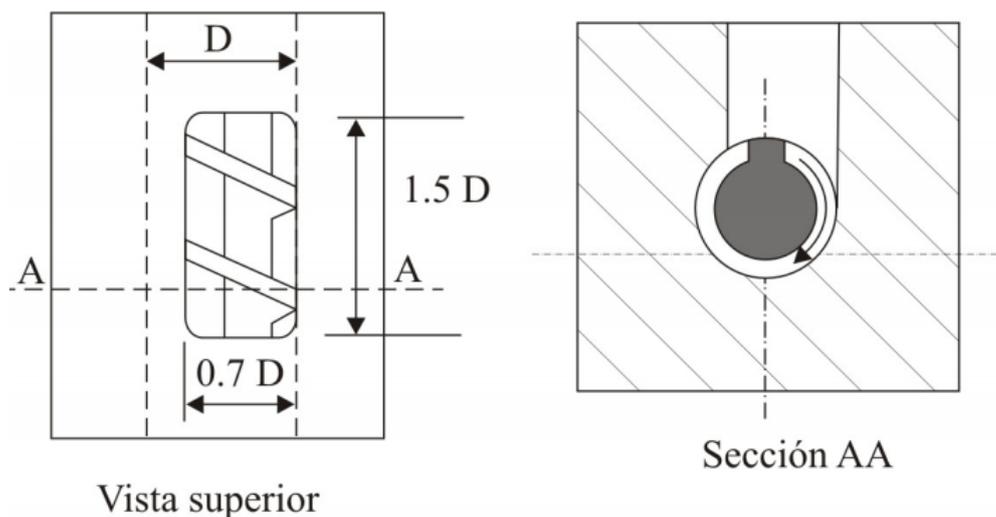


Figura 5. Garganta de alimentación
Nota: Nota: Modelos de tolva con sus respectivas vistas[2]

Calentadores: El sistema de transferencia de calor busca calentar el material que va a circular entre el husillo y el cilindro, este proceso es fundamental para que exista la mezcla, circulación y homogenización del material introducido en la tolva.

El método más común utilizado para el calentamiento es por medio de resistencias eléctricas ubicadas a lo largo del cilindro o barril. Las resistencias, en su mayoría, son fabricadas en aleación de Níquel al 80 por ciento y Cromo al 20 por ciento esto debido a las temperaturas a las que pueden ser sometidas (hasta 1000°C), proporciona una gran resistencia a impactos y a la oxidación.

Un factor muy importante para tomar en cuenta es que al controlar temperatura la temperatura mostrada de las resistencias (control que se realiza mediante termocuplas que van conectadas a los pirómetros) va a ser menor a la que se va a encontrar en realidad el material dentro del cilindro, para esto se pueden usar aislantes a lo largo del cilindro con un material de baja conductividad térmica.

Como otro método de calentamiento menos común se tiene el uso de radiación o fluidos calefactores, ya mencionado en un apartado anterior.

Termocuplas: Las termocuplas están diseñadas para diferentes usos y diferentes mediciones. Están formadas por dos tipos de alambres de diferente material, éstas se denominan 'termopares'.

En el caso de la termocupla seleccionada, la termocupla tipo 'K', su composición es Cromel (una aleación de Níquel y Cromo) en un termopar y en el otro de Alumen (Níquel y Aluminio).

La termocupla tipo K proporciona una salida de tensión proporcional y cuentan con un amplio rango de medición de temperatura (-200° a 1100°). Siendo una de las más usadas en la industria, cuenta con una calibración casi lineal con una sensibilidad de $\cong 41\mu\frac{V}{C}$ [7]

MAX 6675: El módulo MAX 6675 posee 3 funciones principales: Convertir la salida de voltaje de la termocupla en una lectura de temperatura, realiza la compensación de Unión-Frío y digitaliza la señal análoga de la termocupla tipo K a una resolución de 12 bits con una precisión de $\pm 0,25^{\circ}C$. [3] [5]

Cabezal y boquilla: El cabezal se encuentra al final del cilindro justo después del final del husillo y sujeta a la boquilla, además usualmente también contiene al plato rompedor y la malla importantes para cambiar el flujo en espiral que viene el material debido al husillo y a su vez hace de filtro para sustancias extrañas. Es importante que el perfil interno del cabezal facilite el flujo del material hacia la boquilla.

La boquilla será la encargada de darle forma al plástico fundido, pueden ser clasificadas por la forma que tomará el producto a la salida: Anulares, planas, circulares, entre otras. En esta sección podemos encontrar tres zonas: Entrada, donde se desacelera el material para que este repose. Relajación, justo después de la entrada aquí el polímero relaja todo el esfuerzo que obtuvo en la malla y plato rompedor. Salida, aquí el material ya es expulsado con la forma de la boquilla.

El caudal y presión con el que es expulsado el polímero dependerá directamente del diámetro de la boquilla, pero las dimensiones y forma no siempre serán las mismas entre lo que se puede deber a cómo es recogido el material por la boquilla, cómo se está enfriando el material y al proceso de relajación. Este efecto se reduce significativamente en las boquillas circulares y estas son las más utilizadas para un número amplio de materiales y operaciones.

VI-A6. Descripción de funcionamiento de una extrusora: Para explicar este apartado se toma en cuenta la investigación de Beltrán y Marcilla [2] el cual detallada cada área y sistema de transporte:

Área de alimentación: En esta zona es donde cae el material sólido y comprende desde el extremo del filete y la parte central o raíz del husillo. Aquí es donde se ocupa el mayor espacio del material (mayor volumen) debido a la forma del tornillo.

En esta zona es esencial que el husillo sea extremadamente liso, para que el material no se quede pegado en él, sino que pueda ser trasladado sin problemas y que ayude en la adhesión de la materia prima en la superficie del cilindro y no en el tornillo. Esta área se la puede subdividir en dos partes:

- Transporte de sólidos en la tolva.

En esta zona la materia prima se transporta por gravedad, así que el descenso se da por cuenta propia debido a su peso. En esta sección el tipo de material y el diseño de la tolva influyen directamente en transporte, el diseño con sección circular (debido a que ejercen una compresión gradual sobre el material) es mucho mejor que una sección cuadrada (ejercen una compresión poco uniforme) provocando que el material se detenga. En caso de decidirse por una tolva cuadrada se pueden aplicar agitadores o vibradores para que el material no se estanque formando puentes que obstruyan el flujo.

- Transporte de sólidos en el cilindro.

A través de la tolva, la materia prima cae al interior del cilindro y esta es arrastrada gracias al husillo. Una vez que cae a esta área la longitud de avance es corta hasta llegar a la salida de la zona de alimentación, aquí como es normal en todo movimiento van a existir fricciones una proveniente del cilindro y otra del husillo; fricciones que deben ser tomadas en cuenta porque generan un calor adicional al que ya se está sometiendo a través de las resistencias al cilindro.

Como se mencionó en la descripción del cilindro su diseño interno es rugoso, esto genera la fricción necesaria para que el material sólido salga de la extrusora mientras que la fricción que genera el husillo retarda la salida.

Una de las formas de aumentar el coeficiente de fricción con el cilindro es con una temperatura más baja en esta sección o como ya se mencionó superficies internas rugosas en el cilindro.

La ventaja de usar un cilindro con la cara interna rugosa a la de usar una baja temperatura es que la presión se mantiene uniforme en toda su longitud y también que estabiliza el caudal de salida de material, pero como desventaja es que en cambio generan mayores fuerzas de cizalla por lo que exige un mayor consumo al motor y que el material fundido en lugar de fluir se pueda quedar estancado en las estrías del cilindro.

Como se ha venido mencionando el tornillo o husillo juega un papel importante en el arrastre del material, se ha mencionado que la fricción que este debe de ejercer es mínima y esto se consigue aumentando su temperatura (dependiendo del tipo de husillo), usar recubrimientos especiales o pulir el tornillo para alisar su superficie.

Cuando se hizo la descripción del husillo, se especificó que pueden existir husillos dobles estos son más sencillos de limpiar, pero generan mayor fricción. Además, se mencionó que puede variar en cuanto al diseño por la distancia entre filetes a mayor distancia menor fricción genera y lo mismo sucede con el radio de los flancos.

- Transporte del material fundido

Como lo indica el nombre en esta zona el material se plastifica o se funde, el diámetro del husillo comienza a ensancharse por lo que el canal comienza a reducirse y la presión comienza a aumentar.

El área comienza a poca distancia de la tolva y abarca hasta el 60 por ciento de la longitud del husillo, como el calor directo es aplicado en el cilindro la primera parte en fundirse es la que está en contacto directo con este y el material se queda pegado a él. Posteriormente, el calor se va expandiendo y se va intensificando debido a la fricción que se explicó previamente, lo que genera que el resto del material que todavía está sólido se funda y debido al movimiento del husillo la primera película de material derretido y la nueva capa se empiezan a movilizar debido al giro del husillo.

El hecho de que se forme esta primera película de calor, que luego progresivamente se vaya derritiendo el resto de material y que se vea en movimiento por el husillo explica la eliminación del aire atrapado entre y en las partículas sólidas. Debido a que el área sólida se va compactando y comprimiendo debido a la disminución del área el aire comprimido va escapando por la tolva.

El flujo del calor dentro del cilindro se favorece conforme se aumenta la velocidad del tornillo, pero la transmisión de calor por conducción se reduce debido que al aumentar la velocidad del husillo el caudal aumenta por lo que disminuye la residencia del material en el cilindro. Para todos estos factores hay que tener muy en cuenta el tipo de material porque hay algunos polímeros cuya viscosidad es sensible a la temperatura puede verse reducida la velocidad de fusión.

- Final y salida de material por boquilla

Ya acercándose al área de expulsión el área de trabajo disminuye, debido a que es el área más ancha del husillo. En este punto todo el material está fundido y la compresión es mucho mayor lo cual ayuda al mezclado final del material, el flujo se puede dividir en tres: el flujo de arrastre, el flujo de presión y el flujo de pérdida o fuga de gas. Como la temperatura es difícil de mantener a lo largo del cilindro, la diferencia entre la temperatura de salida del cilindro con la zona central puede llegar a ser de 60°C, lo que provoca que el material que salga no sea homogéneo. Para poder contrarrestar este efecto se pueden colocar mezcladores que pueden homogenizar la temperatura de material y terminar de mezclar diferentes tipos de materiales.

VI-A7. *Extrusoras de filamento 3D para baja producción:*

3DEVO: Extrusora de filamento 3D, alcanza temperaturas de hasta 450° C, trabaja con diferentes materiales, puede imprimir filamentos desde 0.5 hasta 3 mm, de un solo tornillo, conexión USB.

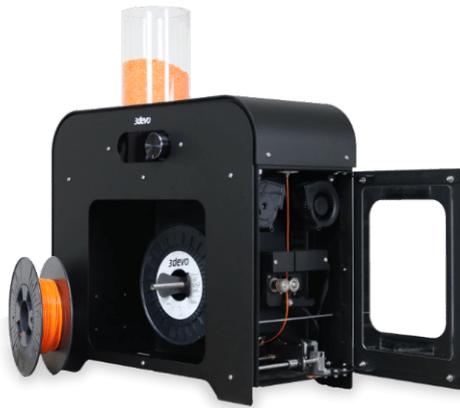


Figura 6. Extrusora 3devo
Extrusora de filamentos 3devo, por 3D PRINTING INDUSTRY[1]

EXO Extruder: Extrusora de filamentos 3D, con temperatura regulable, de un solo tornillo, posee además una enrolladora de filamento, puede extruir diversos filamentos.



Figura 7. Extrusora Exo Extruder
Extrusora de filamentos Exo Extruder, por EPO 3D[8]

VI-A8. Procesos de post extrusión: Una vez extruido el filamento es necesario realizar varias operaciones para que su diámetro y composición cumplan con los requerimientos de este proyecto.

Sistema de enfriamiento: Existen algunas formas de enfriar el filamento recién extruido, los más comunes son el agua y el aire, detallados en el estudio de Chávez relacionados a continuación. [6]

- Agua: Para los siguientes métodos es necesario tener presente las medidas exactas del filamento, mantener una temperatura adecuada y una bomba que permita redirigir el agua para ser enfriada nuevamente.
 - Por inmersión: El filamento pasa por un conducto abierto lleno de agua en constante enfriamiento produciendo que exista un intercambio de calor a altas velocidades.
 - Por esperado: Existe una cámara en donde el filamento pasa por numerosas mangueras que rocían agua fría, este método es recomendado para velocidades bajas.
- Aire: En este método se utilizan ventiladores para enfriar directamente el filamento. Existen varios tipos como son los ventiladores axiales o de caja, su ventaja es el bajo costo y baja impedancia. A diferencia de los sopladores que usan una mayor impedancia, mayor flujo de aire y son más ruidosos. Para este tipo de enfriamiento se necesita una ubicación estratégica para que el calor producido por la extrusora no afecte en el aire expulsado por el ventilador.
- Sistema de tiro y medición: El siguiente paso por realizar como parte de la extrusión del filamento es el sistema de tiro. Este influye en la calidad del filamento, más no en la productividad de la extrusora, ya que

este sistema trata de mantener la misma área transversal en todo el filamento para no provocar variaciones, como muestran Petsiuk y Pearce [17] en su investigación.

Existen tres tipos, redactados en el estudio de Chávez: Por oruga, de ruedas o rodillos y de bandas. De estos tres se elige el sistema de rodillos ya que son muy sencillos de implementar y permiten aumentar su área de contacto [6]

De la mano con este sistema se encuentran las distintas tecnologías para realizar una correcta medición de diámetro, ya sea por barrido o por sensor. Sin embargo, dado a que sus costos son elevados se propone usar un indicador de diámetro, también conocido como reloj comparador, para una mayor precisión de lecturas, estos pueden ser digitales o de carátula. Se muestra un ejemplo en la figura 8.



Figura 8. Indicador de diámetro (Reloj Comparador) de carátula y digital
Reloj comparador digital y de carátula [2]

VI-A9. *Sistema de bobinado de filamento:* Está compuesto por un carrete circular que con la ayuda de un soporte y un motor permitirán que el filamento extruido una vez cumpla las medidas requeridas sea enrollado y posteriormente almacenado en la cámara de humedad.

VI-A10. *Polímeros:* Una de sus características principales son que poseen moléculas muy grandes con largas cadenas de átomos que contienen materiales de origen orgánico y con un alto peso molecular. Los polímeros se pueden clasificar según lo explicado en la figura 9 mostrada por Piñeros y Acosta en su investigación:

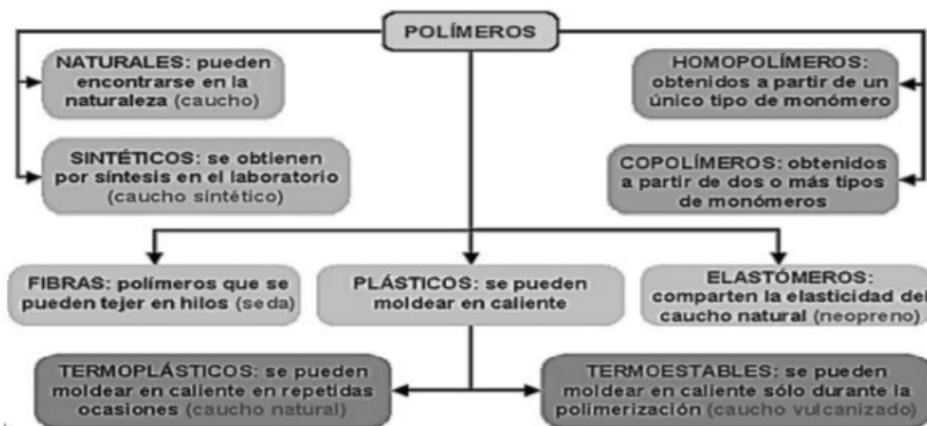


Figura 9. Clasificación de Polímeros
Clasificación y subclassificación de los polímeros [18]

VI-A11. Tipos de Polímeros:

PLA: El Ácido Poli-láctico, expresa Ortiz, es biodegradable que se deriva del ácido láctico inodora, es hecho a partir de materiales 100 porciento renovables. La desventaja que de él es que es higroscópico y que tiene baja densidad, pero es muy estable bajo la luz U.V. y es de baja inflamabilidad. [14]

ABS: Su nombre técnico es Acrilonitrilo Butadieno Estireno, consta con buena resistencia mecánica, resistencia al impacto combinado y facilidad para el procesado. Es rígido, resistente a químicos, resistencia térmica, duro y es estable en altas temperaturas.

También, redacta Johansson en su investigación [11], el butadieno es tenaz en bajas temperaturas, es resistente al impacto y a la fusión, por otro lado, el estireno da la resistencia mecánica, es de fácil proceso, rígido, brillo y dureza.

TPU: También conocidos como Poliuretanos Termoplásticos, redacta Espinoza en su análisis [9], tienen una estructura entrecruzada reversible lo cual le da la facilidad de ser procesados mediante fundición y les permite ser reciclados. Presenta segmentos rígidos y suaves, si predominan los suaves su deformabilidad será alta y si predominan los rígidos este tendrá mayor rigidez

PETG: Conocido técnicamente como Poli Etilen Tereftalato Glicol, en resumen, es un CO poliéster amorfo y es uno de los más complicados a fundir de la mayor parte de los Poliésteres, se lo conoce por su tenacidad y resistencia al impacto, resistencia química y buena estabilidad dimensional. Así como los otros, es higroscópico, por lo que su método usual de prevenir problemas con la humedad es secarlo (puede ser durante 4 horas a 70° C).

VI-A12. Los polímeros y la humedad: Una de las características de los polímeros es su tendencia para absorber la humedad presente en el lugar dónde se encuentran almacenados, si bien es cierto no todos absorben la misma cantidad de humedad, pero esto no quiere decir que no lo hagan.

Debido a que los filamentos mencionados anteriormente son higroscópicos, es necesario que sean conservados de forma correcta para que no absorban humedad, así se evitará la formación de burbujas que provocan superficies porosas y rugosas en las piezas impresas, por otro lado, también afectan en los mecanismos de los componentes de la impresora 3D. A este fenómeno en los filamentos se lo conoce como hidrólisis, provocando que su composición se altere debido a que el agua llega difundirse en las regiones amorfas de los polímeros, causando su lenta degradación, indica Molina en su investigación. [12]

VI-A13. Antecedentes de secadoras de filamento del mercado:

PRINTDRY PRO: Secadora de filamentos 3D: Seca el filamento de impresión antes y durante el proceso, presenta la opción de seleccionar la temperatura de secado, diversidad en diámetro de filamento y con rollos de hasta 11 lbs. de peso.



Figura 10. Secadora de filamento PrintDry PRO
Secadora de filamento PrintDry PRO, por Filament two print [1]

SUNLU: Secadora de filamento 3D: Permite el cambio de tiempo de secado y de temperatura, puede ser aplicado para diferentes tipos de filamentos, soporta rollos de hasta 2.2 lbs.



Figura 11. Secadora de filamento SUNLU
Secadora de filamento SUNLU, [20]

Elemento calefactable de poliamida: En la industria existen variedades de fibras textiles, tanto naturales como químicas. En el grupo de las fibras químicas se encuentra la poliamida, esta fibra no es encontrada en la naturaleza, ya que es específicamente creada en la industria para cumplir con las necesidades requeridas, es decir son totalmente sintéticas.

Como elemento calefactable funciona al igual que una resistencia eléctrica proporcionando calentarse a distintas temperaturas. Es ideal para lugares estrechos, debido a su espesor (se muestra un ejemplo en la figura 12) y posee una gran resistencia de clase dieléctrica, es decir tiene una baja conductividad eléctrica.



Figura 12. Elemento calefactable de poliamida
Resistencia eléctrica de poliamida de 1mm, [13]

VI-A14. Raspberry Pi: El RASPBERRY PI, redacta Francisco en su investigación [4], es un microcomputador que permite la interacción entre dispositivos físicos por medio de sus pines de conexión. Su procesador y memoria Ram permiten ejecutar sistemas operativos como LINUX o sistema RISC, incluyen varios conectores: HDMI, USB, Conexión Jack 3,5 pulg para salida de audio, puerto de ETHERNET, entre otros. Funciona con una fuente de alimentación de 5V a 1A. Se muestra en la figura 13 sus puertos y estructura física.

Raspberry también permite la comunicación distintos software y dispositivos como LabView, Matlab, arduino, entre otros. Es ideal para el procesamiento de datos en tiempo real cuando se trata de lectura de datos de sensores.



Figura 13. Raspberry Pi 4
Modelo de Raspberry PI 4, por Casas Marín [4]

VI-A15. *LabView*: Es un programa que combina la programación gráfica con la comunicación entre múltiples plataformas embebidas entre ellas los microcontroladores, FPGAs y DSPs. Su método de programación es interactivo desarrollo para personas sin conocimiento en lenguajes de programación comunes. Su interfaz permite la programación por bloques y un área de diseño como se muestra en la figura 14 para simular los distintos procesos creados.

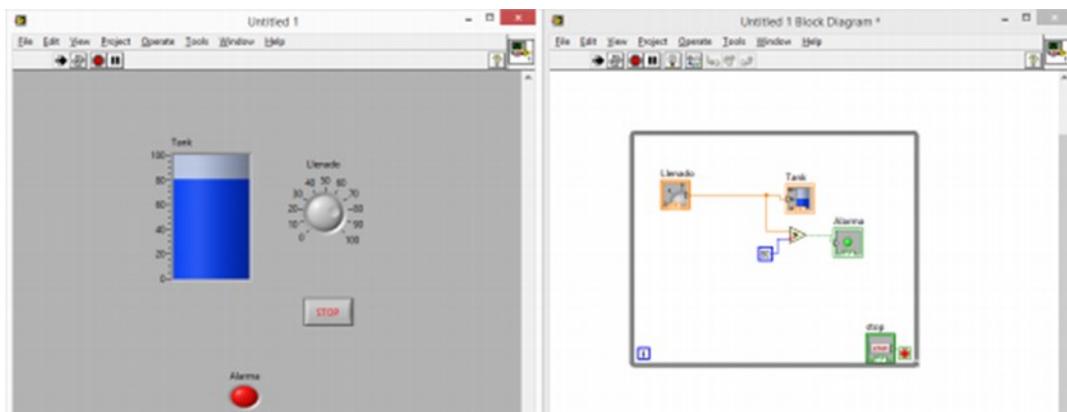


Figura 14. Interfaz LabView
Interfaz de LabView por Daniella Toral y Heide Solórzano

VII. METODOLOGÍA

VII-A. Marco metodológico

Dado que el presente proyecto pretende analizar la intervención de la humedad en el scrap de los laboratorios de manufactura aditiva de la UPS sede Guayaquil Campus Centenario, se estableció un diseño de extrusor de acuerdo a las necesidades de los laboratorios, cuyas respectivas medidas pretenden cumplir con los lineamientos necesarios para la extrusión y conversión del PLA reciclado. De esta forma almacenar dicho filamento en una cámara reguladora de humedad.

VII-B. Husillo de extrusión

Para los cálculos del husillo se establecen los siguientes lineamientos:

Relación L/D: Establece la capacidad de plastificar del extrusor, mientras más alta sea la relación, más permanencia tendrá el material en el interior del cilindro.

$$\frac{L}{D} = \text{Relacion del husillo} \quad (1)$$

Sabiendo que:

L: Longitud del husillo

D: Diámetro del exterior

$$\frac{L}{D} = \frac{226,5mm}{20mm} = 11,32$$

Relación 11:1

Para procesos de extrusión de plásticos es recomendable usar relaciones que varían entre 20:1 hasta 30:1. La importancia de esta relación dependerá del proceso posterior, si se necesita una fabricación de fibras o de películas, es recomendable un husillo de gran longitud, sin embargo, para extrusiones de perfiles continuos, como es el caso en este proyecto, se recomienda husillos de menor longitud. Por lo tanto, la relación resultante de los cálculos antes descritos, relación 11:1, no presentará problemas a la hora de extruir. [16]

Relación de compresión: Permite establecer el nivel de fricción en las áreas de más alta compresión. A mayor compresión el material tendrá mayor homogeneidad.

$$RC = \frac{h1}{h2} \quad (2)$$

h1 : Altura del filete en el área de alimentación.

h2 : Altura del filete en el área de dosificación.

$$RC = \frac{5mm}{2,5mm} = 2$$

Una relación de 2:1 es recomendable, ya que se necesita mayor presión para extruir filamentos, por lo tanto, la distancia entre la pared interna del cilindro y el alma del husillo en el área de dosificación debe ser bajo. [16]

Ángulo del filete: Está dado por la siguiente ecuación:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{t}{\pi \cdot D}\right) \quad (3)$$

En donde t es el Paso del husillo

$$\varphi = \arctan\left(\frac{16mm}{\pi \cdot 20mm}\right)$$

$$\varphi = 14,28^\circ$$

$$\cos(\varphi) = 0,969^\circ; \sin(\varphi) = 0,169^\circ; \tan(\varphi) = 0,254^\circ;$$

Ancho de filete:

$$e = 0,12D \quad (4)$$

$$e = 0,12(20mm)$$

$$e = 2,4mm$$

Flujo volumétrico husillo: La producción del husillo o flujo volumétrico depende de tres diferentes tipos de flujo; β representa el flujo de presión el cual es causado por la fuerza que se opone al flujo del sistema, α causado por la rotación del husillo, llamado flujo de arrastre y por último el flujo de filtración σ el cual disminuye la producción a causa del material perdido en la holgura mencionada previamente.[18]

$$Q = \left(\frac{\alpha \cdot K}{K + \beta + \sigma} \right) \cdot \eta \quad (5)$$

β : Flujo de presión

α : Flujo de arrastre

σ : Flujo de filtración

K : Constante total de forma geométrica

η : RPM del Husillo

Flujo de arrastre:

$$\alpha = \frac{\pi \cdot m \cdot D \cdot h1 \cdot \left(\frac{t}{m} - e\right) \cos^2 \varphi}{2} \quad (6)$$

m : Se define como una entrada por vuelta

$$\alpha = \frac{\pi \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{1,6cm}{1} - 0,24cm\right) \cdot (0,969)^2}{2}$$

$$\alpha = 2,00cm^3$$

Flujo de presión:

$$\beta = \frac{m \cdot h1^3 \cdot \left(\frac{t}{m} - e\right) \sin \varphi \cos \varphi}{12 \cdot L} \quad (7)$$

$$\beta = \frac{1 \cdot (0,5)^3 \cdot \left(\frac{1,6}{1} - 0,24\right) \cdot (0,0169) \cdot (0,969)}{12 \cdot 22,65}$$

$$\beta = 1,024259381898455 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

Flujo de filtración:

$$\gamma = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3 \cdot \tan \varphi}{10 \cdot e \cdot L} \quad (8)$$

Para evitar la alta fricción se debe tener presente la holgura necesaria

$$\delta = 0,025 \cdot D \quad (9)$$

$$\delta = 0,025 \cdot 20$$

$$\delta = 0,5 \text{ mm}$$

De esta forma se obtiene:

$$\gamma = \frac{\pi^2 \cdot (2)^2 \cdot (0,05)^3 \cdot (0,254)}{10 \cdot 0,24 \cdot 22,65}$$

$$\gamma = 2,305812654411974 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

Constante total de la forma geométrica: También conocida como forma geométrica del cabezal, involucra a las geometrías presentes en el cabezal, para los cálculos se tomará a aquellas pertenecientes a la boquilla, tanto sus formas cónicas como las cilíndricas. La figura 15 muestra las distintas formas geométricas (canales) con sus respectivas medidas.[18]

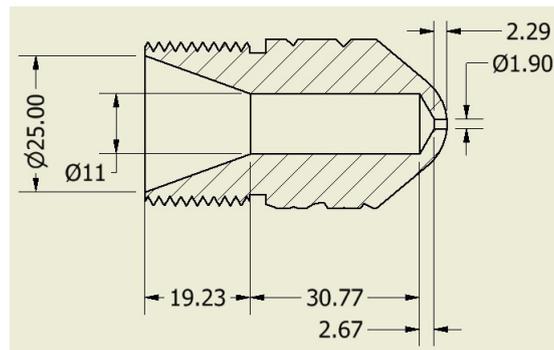


Figura 15. Zonas geométricas de Boquilla

Zonas Cónicas

$$K1 = \frac{3 \cdot \pi \cdot do^3 \cdot d1^3}{128 \cdot L_{canal} \cdot (do^2 + do \cdot d1 + d1^2)} \quad (10)$$

Para el primer canal cónico se tienen los siguientes datos:

$$d0 = 25mm$$

$$d1 = 11mm$$

$$\text{Longitud del canal} = 19,23mm$$

$$K1 = \frac{3 \cdot \pi \cdot (25)^3 \cdot (11)^3}{128 \cdot (19,23) \cdot ((25)^2 + 25 \cdot 11 + (11)^2)}$$

$$K1 = 0,928095500490833mm^3$$

Para el segundo canal cónico se tienen los siguientes datos:

$$d0 = 11mm$$

$$d1 = 1,90mm$$

$$\text{Longitud del canal} = 2,67mm$$

$$K2 = \frac{3 \cdot \pi \cdot (11)^3 \cdot (1,90)^3}{128 \cdot (2,67) \cdot ((11)^2 + 11 \cdot 1,90 + (1,90)^2)}$$

$$K2 = 0,346149114274223mm^3$$

Zona cilíndrica

Se muestran dos zonas cilíndricas las cuales presentan las siguientes medidas:

$$d1 = 11mm$$

$$\text{Longitud del canal (1)} = 30,77mm$$

$$d2 = 1,90mm$$

$$\text{Longitud del canal (2)} = 2,29mm$$

Canal 1:

$$K3 = \frac{\pi \cdot d1^4}{128 \cdot L_{canal}} \quad (11)$$

$$K3 = \frac{\pi \cdot (11)^4}{128 \cdot (30,77)}$$

$$K3 = 2,897024503445749 \times 10^2 mm^3$$

Canal 2:

$$K4 = \frac{\pi \cdot d1^4}{128 \cdot L_{canal}}$$

$$K4 = \frac{\pi \cdot (1,90)^4}{128 \cdot (2,29)}$$

$$K4 = 0,314234013514833mm^3$$

En base a los cálculos anteriores se obtiene:

$$K = \frac{1}{\sum \frac{1}{K1} + \sum \frac{1}{K2} + \sum \frac{1}{K3} + \sum \frac{1}{K4}} \quad (12)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{0,928095500490833} + \frac{1}{0,346149114274223} + \frac{1}{11,678394652159206} + \frac{1}{0,139675046468503}}$$

$$K = 0,08919407622979mm^3$$

$$K = 8,919407622971908x10^{-5}cm^3$$

Producción: Una vez calculados los datos necesarios para la obtención de Q , se detalla el cálculo de producción [18] teniendo presente lo siguiente:

Pro = Producción

$$Pro = Q \cdot \rho \quad (13)$$

ρ : Densidad del PLA [g/cm^3]

Q : Flujo volumétrico [$\frac{cm^3}{min}$]

Dada las unidades de producción $\frac{cm^3}{min}$ es necesario convertir este valor a $\frac{Kg}{H}$ por lo tanto:

$$Producción = Q \cdot \rho \cdot 0,00124 \frac{Kg}{cm^3} \cdot \frac{60min}{1H} \quad (14)$$

Según las distintas velocidades del motor en base a la ecuación 5 y la ecuación 14 se presentan en la tabla I los cálculos de producción final.

Producción de filamento PLA	
η [RPM]	Producción[Kg/H]
10	1.34
15	2.02
20	2.69
25	3.36

Cuadro I
PRODUCCIÓN DE FILAMENTO SEGÚN LA VARIACIÓN DE RPM

Dado los cálculos obtenidos en la tabla I en comparación con los rollos de filamentos vendidos en el mercado cuyo peso es de 1kg, se entiende que en una hora a 25 RPM se obtiene aproximadamente tres rollos de filamento, sin embargo, no se debe excluir las primeras partes de filamento extruido, ya que hasta obtener el diametro deseado (1.75mm) con una tolerancia óptima para ser usado en impresoras 3D, se pierde material extruido y este estimado (3 kg de filamento) puede reducirse.

Para el diseño del Husillo, uno de los aspectos a tomar en cuenta es el tipo de material a usar. Se eligió un acero AISI 4140 debido a sus propiedades físicas, siendo este una aleación de Cromo y Molibdeno presenta una alta resistencia a impactos y a la fluencia, templabilidad y puede ser usado durante periodos prolongados a altas temperaturas.

El diseño de la figura 16 fue realizado para su respectivo análisis de presión (que en el caso ideal será constante), esfuerzos y fuerzas (fijas y de torsión).

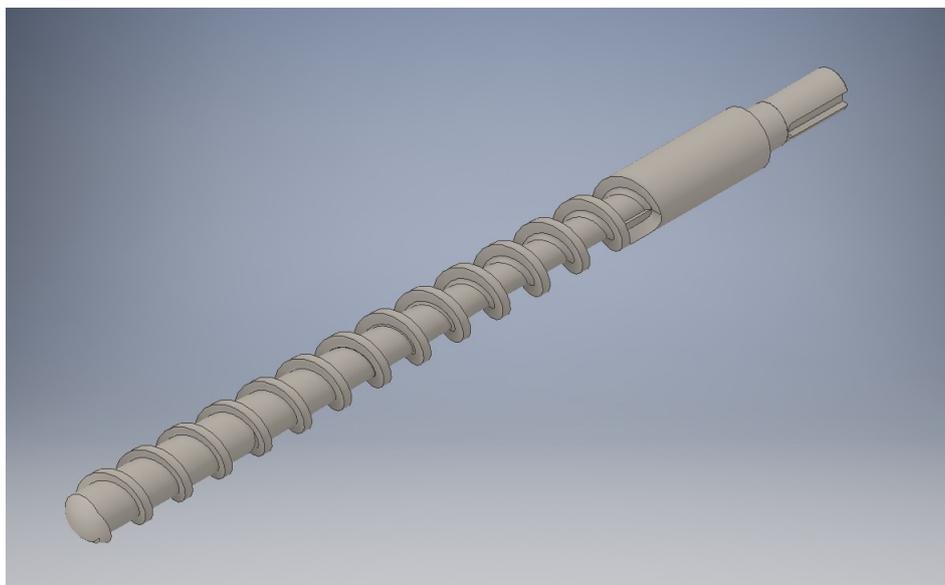


Figura 16. Diseño de Husillo en Inventor 2019

VII-B1. *Análisis de Esfuerzos:* Según los cálculos realizados para el husillo se realizó la simulación en Inventor 2019.

☐ **materiales**

Nombre	Materiales DIN de SolidWorks 1.7225 (42CrMo4)	
General	Densidad de masa	7,8g/cm ³
	Límite elástico	750 MPa
	Resistencia a la tracción	1000 MPa
Estrés	El módulo de Young	210 GPa
	El coeficiente de Poisson	0,28ul
	Módulo de corte	82,0312 GPa
Nombre(s) de parte	HUSILLO_20MM_Z-X_10mm	

☐ **Condiciones de operación**

☐ **Momento:2**

Tipo de carga	Momento
Magnitud	30000,000 N mm
Vector X	0,000 Nmm
Vector Y	0,000 Nmm
Vector Z	30000,000 N mm

Cuadro II
TABLA DEL ANÁLISIS ESTÁTICO DEL MATERIAL Y PRIMERA CONDICIÓN DE OPERACIÓN

Como se indica en la tabla II se aplicó un Momento de 30[N/m], esto debido a que se simuló según las condiciones máximas del motor con carga.

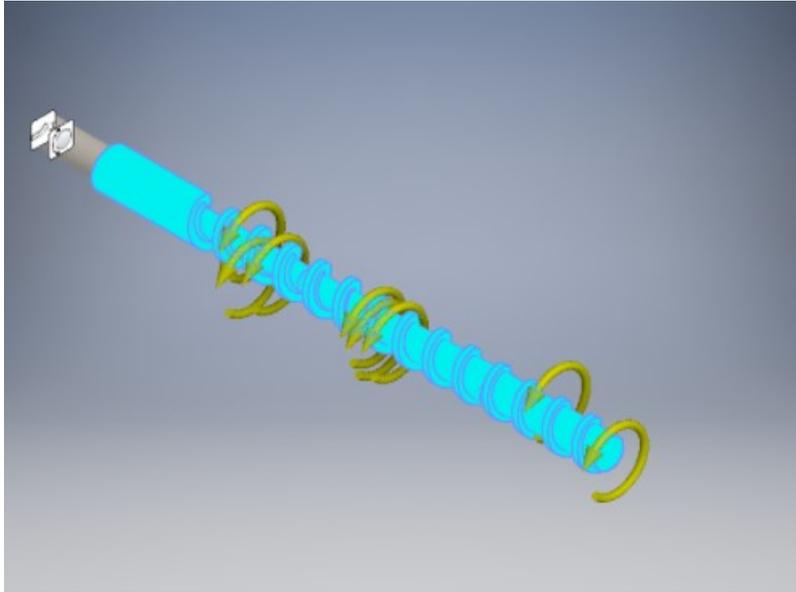


Figura 17. Diseño de Husillo en Inventor 2019

Además, se hicieron fijaciones de pasador y cara fija, debido a que el eje del husillo se encuentra fijo en un matrimonio sujeto al motor.



Figura 18. Diseño de Husillo en Inventor 2019

Detalle de Resultados: A continuación, se adjunta el resultado del análisis de fuerza realizado.

☐ Resumen de los resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	55932,4mm ³	
Masa	0,436273kg	
Estrés de von Mises	0,032394MPa	267,59MPa
1er esfuerzo principal	-23,8156MPa	240.318MPa
3er esfuerzo principal	-169.695MPa	16,0645MPa
Desplazamiento	0mm	0,373067mm
Factor de seguridad	2,8028 ul	15ul
Estrés XX	-82,1817MPa	68,3787MPa
Estrés XY	-48.182MPa	54,4699MPa
Estrés XZ	-139.664MPa	99.656MPa
Estrés YY	-107.352MPa	86,9061MPa
Estrés YZ	-96,4435MPa	124.541MPa
Estrés ZZ	-139.328MPa	139.805MPa
Desplazamiento X	-0,140013mm	0,339525mm
Desplazamiento Y	-0,144405mm	0,308748mm
Desplazamiento Z	-0,00912792mm	0,0109645mm
Tensión equivalente	0,000000132495 ul	0,00110778 ul
1ra cepa principal	0,000000132445ul	0,00117895 ul
Tercera cepa principal	-0,000843432 ul	-0,0000000935013 ul
Cepa XX	-0,000429502 ul	0,000412438 ul
Cepa XY	-0,000293681 ul	0,000332007 ul
Cepa XZ	-0,000851283 ul	0,000607427 ul
Cepa YY	-0,000508534ul	0,000385058 ul
Cepa YZ	-0,000587846 ul	0,000759107 ul
Cepa ZZ	-0,000518977 ul	0,000566295 ul

Cuadro III
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE FUERZAS Y SUJECIONES EN INVENTOR 2019

Según el resultado del análisis realizado a las máximas condiciones de salida del motor, notamos que el Husillo sufre desplazamientos mínimos que fueron contemplados en los cálculos. Siendo el máximo desplazamiento de 0.3mm y la holgura considerada fue de 0.5mm. Procediendo al análisis de von Mises, vemos que este no sobrepasa el límite elástico del material.

Tomando en cuenta la tabla III, se maneja un factor de seguridad promedio de 6 con un máximo de 15 (ponderación máxima) y un mínimo de 2,8 en el área de fijación y sujeción. Para finalizar, en el área de Estrés los valores resultantes no exceden ni el módulo de Young, ni el coeficiente de Poisson demostrando así la optimalidad del diseño.

Nota: Las respectivas comparaciones se hicieron con el análisis de materiales mostrado en la tabla II.

☐ Factor de seguridad

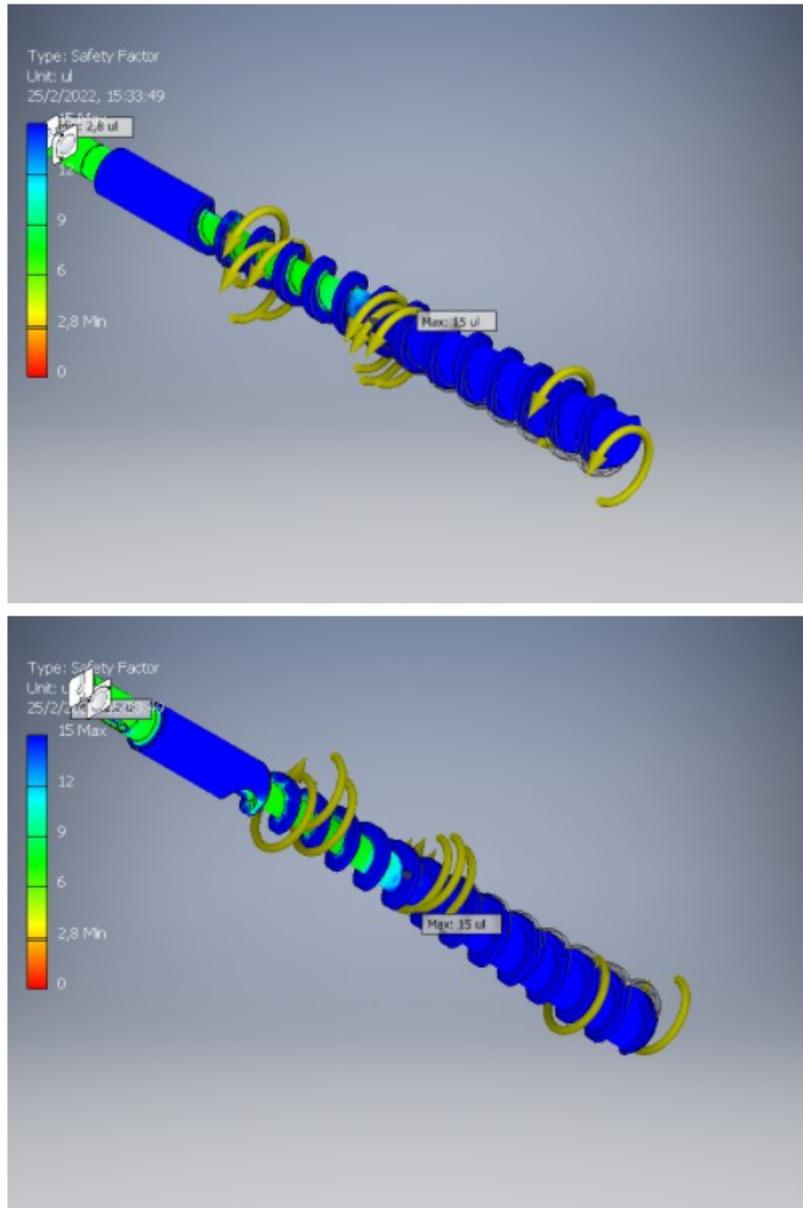


Figura 19. Simulación del análisis de fuerzas y sujeciones en Inventor 2019

VII-B2. Selección del Motor: Dado los requerimientos de extrusión como velocidad y torque se decidió usar un Motor Nema 23 con caja reductora de 15,3:1 con una resolución de $0,12^\circ$ de ángulo de paso. Ideal para bajas velocidades y alto torque.

En conjunto con este motor paso a paso es necesario conectar a un driver de corriente constante o un chopper (TB660, controlador para motores bipolares de hasta 3.5A), para evitar sobre cargas en el amperaje.

Para su conexión seguir el siguiente lineamiento:

- Negro \Rightarrow A+
- Verde \Rightarrow A-
- Rojo \Rightarrow B+
- Azul \Rightarrow B-



Figura 20. Motor Nema 23 con caja reductora de 15,3:1

Chumacera: Según el diseño implementado del husillo y el cilindro, se determinó una chumacera de pared para soporte y acople de las partes ya mencionadas

El modelo escogido es la FY 20 TF de SKF, para ello se tomó en cuenta: el diámetro de 20mm del husillo, el ancho de 37,3mm para no sobrepasar las dimensiones del husillo, la carga estática y dinámica soportada por la chumacera.



Figura 21. Imagen obtenida de la página oficial de SKF, modelo tridimensional de la chumacera FY 20 TF

VII-C. Cilindro

Para el mecanizado del cilindro se usó un acero inoxidable AISI 304, esto debido a su buen comportamiento en temperaturas menores a $420^{\circ}C$ y resistencia a la corrosión.

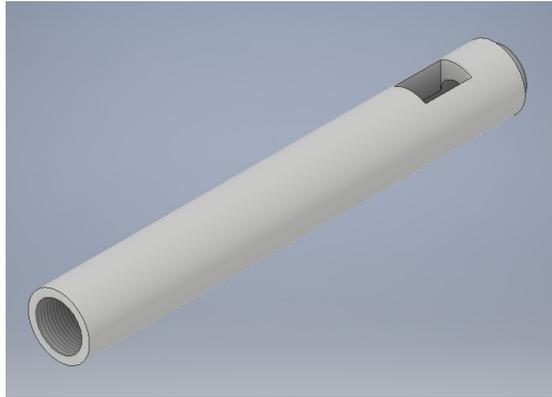


Figura 22. Diseño de Barril en Inventor 2019

En el diseño de la figura 22 se consideró una holgura de 0,5mm mencionada previamente en los cálculos, el ancho y posición de la garganta de alimentación, posición del plato rompedor y mallas; además, termocuplas y rosca de la boquilla de extrusión.

Adicional se añadió una rosca M30X2 con 6mm de profundidad, donde se posicionará el plato de soporte del cilindro y demás piezas (Véase figura 23).



Figura 23. Diseño de Barril mecanizado, con boquilla, plato rompedor, plato de soporte y termocuplas acopladas

VII-D. Cabezal Y boquilla

Para el mecanizado del Cabezal Y boquilla se usó un acero inoxidable AISI 304, esto debido a su buen comportamiento en temperaturas menores a $420^{\circ}C$ y resistencia a la corrosión.

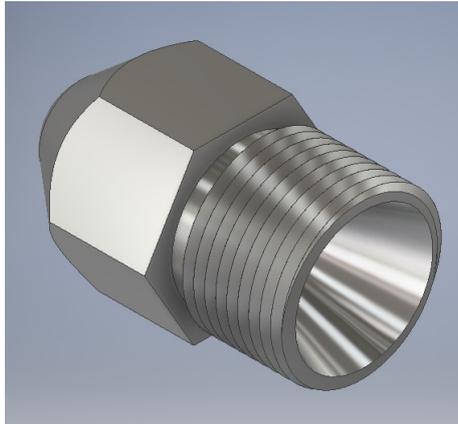


Figura 24. Diseño de Boquilla en Inventor 2019

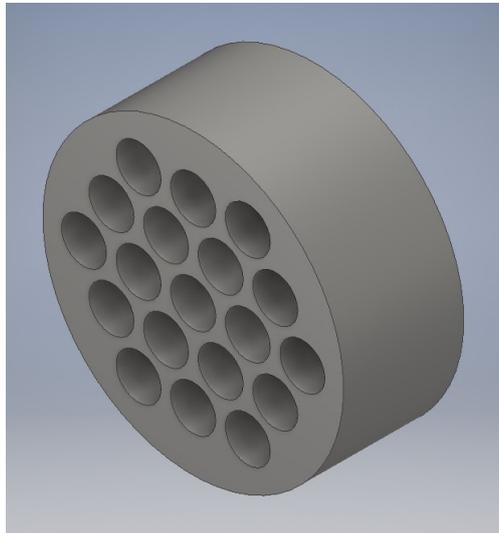


Figura 25. Diseño de Plato Rompedor en Inventor 2019

En el diseño de la figura 24 se consideró una boquilla con dos secciones cónicas para aumentar la presión de salida con un diseño de venturi. Adicional, el mecanizado de la figura 25 sirve para romper el flujo helicoidal del plástico fundido y permite incorporar una malla (Véase figura 27) que ayuda a la retención de impurezas.



Figura 26. Diseño de Cabezal y Boquilla mecanizadas

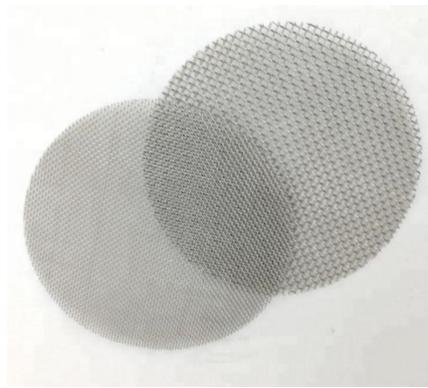


Figura 27. Malla para retención de impurezas

VII-E. Tolva

Para el mecanizado del cilindro se usó un acero inoxidable AISI 304, esto debido a su resistencia a la corrosión y facilidad de soldabilidad.



Figura 28. Diseño de Tolva en Inventor 2019

En el diseño de la figura 28 se consideró una tolva cuadrada con un soporte tipo abrazadera con diámetro interno igual al externo del cilindro, por otro lado, las dimensiones de la base se asemejan a las medidas de la garganta de alimentación.

Adicional, se tomó en consideración el mecanizado de dos agujeros pasantes para el ajuste del agarre de la tolva al cilindro así evitando movimientos indeseados. (Véase figura 29).



Figura 29. Diseño de Tolva mecanizada

VII-F. Sistema de enfriamiento

El área de enfriamiento consta de dos ventiladores de 5x5cm a 12V y 110mA (tipo de enfriamiento por aire). Además, se diseñó un soporte en 3D con una reducción acanalada, de esta forma enfriar directamente al filamento extruído.

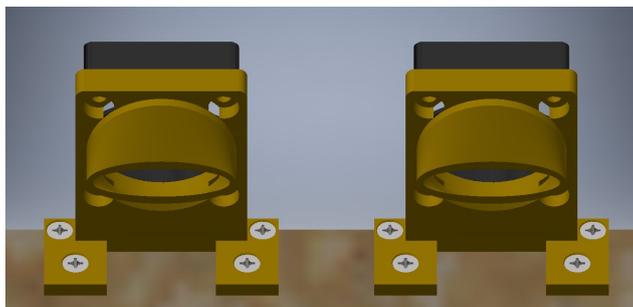


Figura 30. Diseño del Sistema de Ventilación en Inventor 2019

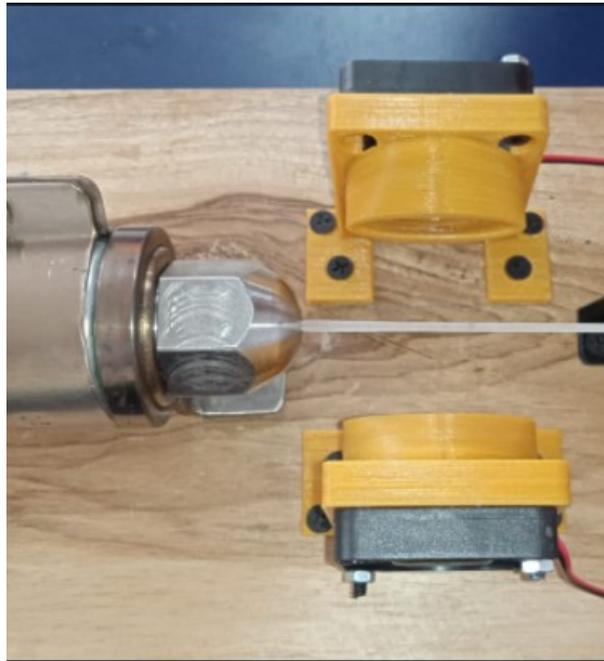


Figura 31. Sistema de Ventilación implementado en maqueta

VII-G. Sistema de Poleas

El diseño contempla un soporte triangular impreso en PLA, que asegura por medio de un perno de 6mm, el cual sujeta una polea que tiene en el centro un rodamiento FBJ con dimensiones de 6x15x5mm. Este sistema servirá para realizar el tensionado inicial del filamento y a su vez cumple la función de guía para el mismo.

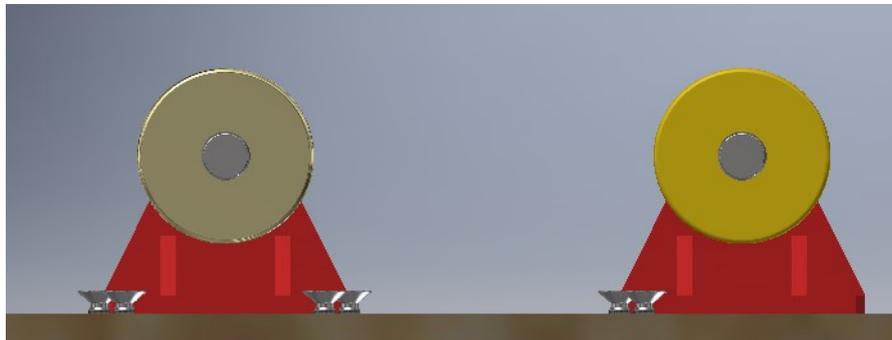


Figura 32. Diseño del Sistema de Poleas en Inventor 2019



Figura 33. Sistema de poleas implementado en maqueta

VII-H. Sistema de Medición

El diseño contempla un soporte para un reloj comparador (indicador digital) con 0.01mm de error. Para ello tenemos el cuerpo principal que, además de sostener al indicador, incluye una pieza adicional que hace de parte móvil estando sujeta al eje cremallera del reloj comparador. Pieza llamada Placa indicadora, dicha placa portará un rodamiento KOYO 604 (4x12x4mm) que, al estar en contacto con otro rodamiento KOYO 604 (4x12x4mm) fijo en el soporte, permitirán el seteo del indicador. Por último, tendremos una pieza de sujeción, que servirá para mantener al reloj comparador ajustado al soporte.

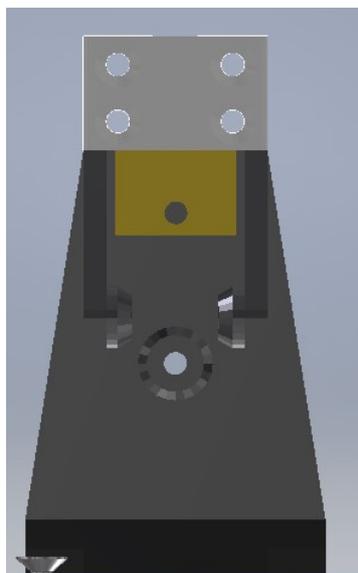


Figura 34. Diseño del Sistema de Medición en Inventor 2019



Figura 35. Sistema de Medición implementado en maqueta

VII-I. Sistema de Tensionado y guía a bobinado

El diseño en el sistema de tensionado contempla un soporte rectangular impreso en PLA, que asegura por medio de un perno de 6mm, el cual sujeta una polea que tiene en el centro un rodamiento CMB R6 2RS el cuál reduce la fricción al rodar.

El diseño de la guía a bobinado consta de una sección eléctrica y una mecánica. En la parte mecánica, se tiene el diseño 3D que incluye: Polea, dos soportes, el porta polea, una varilla roscada de 3/8", un perno de 3/8" de 25mm de largo, (7) roscas de 3/8", un matrimonio.

En la parte eléctrica tenemos dos finales de carrera mecánicos, dos relés NPN a 12V, 2 borneras de 3 conexiones, un motor de 12V y un regulador de voltaje para motores DC.

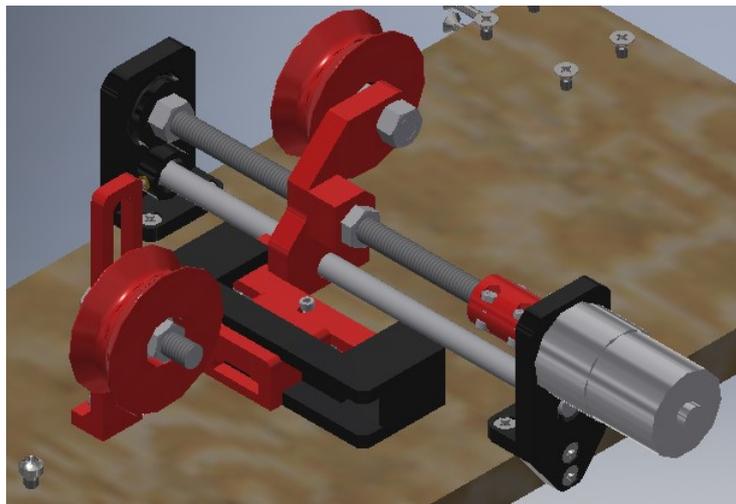


Figura 36. Diseño del Sistema de tensionado y guía a bobinado en Inventor 2019

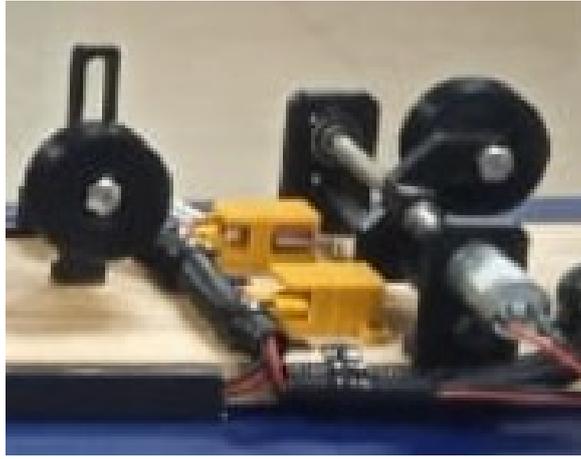


Figura 37. Sistema de tensionado y guía a bobinado implementado en maqueta

VII-J. Sistema de bobinado

El diseño en el sistema de bobinado contempla: dos soportes en L impresos en PLA, (2) piñones con relación 3,08 a 1 impresos en PLA, (2) placas fijadoras en PLA, (2) rodamientos CMB R6 2RS, una banda de transmisión, (10) insertos roscados, 2 mordazas, (6) pernos de 3/8", (15) pernos M3x15 y un motor a 12V - 30 rpm.

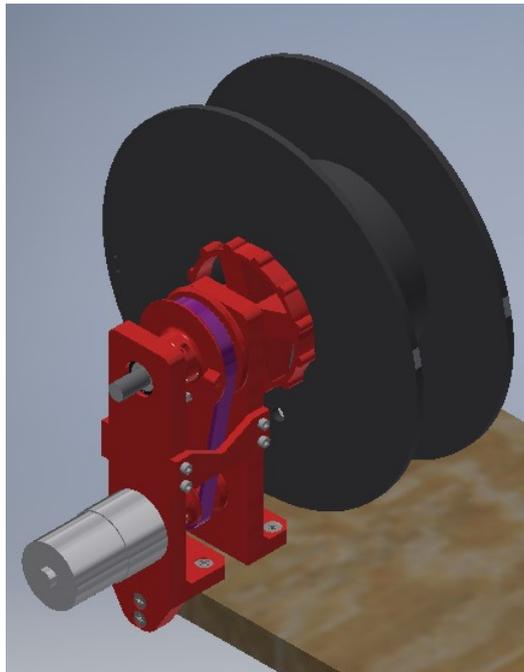


Figura 38. Diseño del Sistema de bobinado en Inventor 2019



Figura 39. Sistema de bobinado implementado en maqueta

VII-K. Monitoreo en LabView

Como parte del monitoreo de la extrusora, se estableció una comunicación desde Python a través de Raspberry, para de esta forma monitorear la temperatura proveniente del cilindro con comunicación al MAX6675 para convertir la señal y así poder ser recibida por raspberry y posteriormente enviada hacia LabView por medio de protocolo IP (véase figura 14).

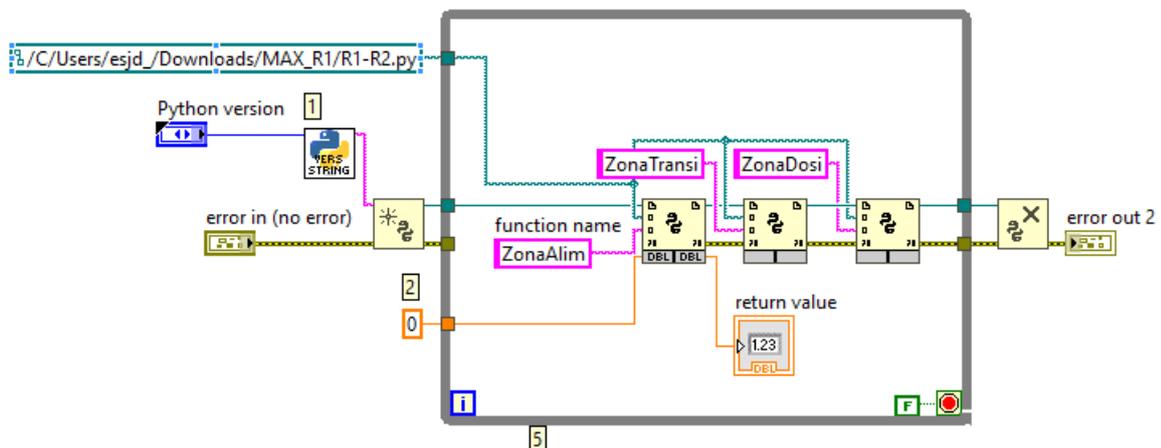


Figura 40. Comunicación con LabVIEW

VII-L. Cámara reguladora de humedad

La cámara reguladora de humedad contempla 3 partes: La estructura, dividida en base y superior, siendo la base de PLA y la superior de acrílico. La zona de calentamiento ubicada en la parte inferior, cuyo elemento calefactor es una resistencia de poliamida. Por último, el regulador de temperatura, el cual permitirá encender la resistencia por un determinado tiempo a una temperatura requerida.

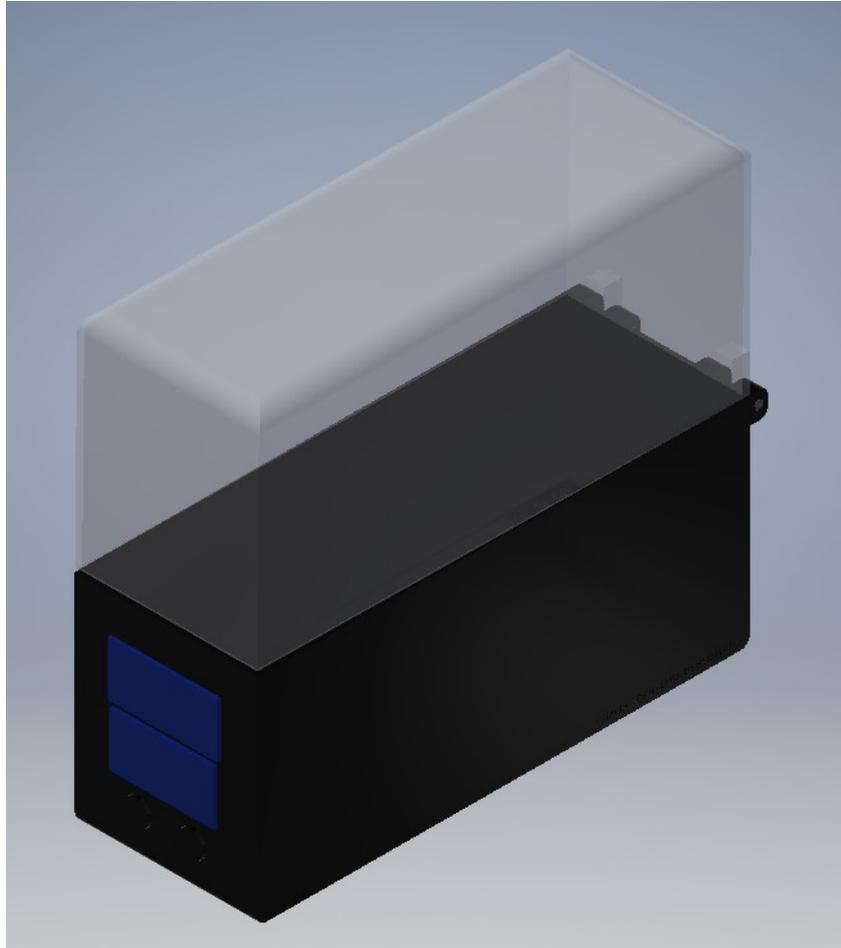


Figura 41. Cámara reguladora de humedad

VIII. RESULTADOS

En esta sección se dividen los resultados por pruebas, las mismas que serán detalladas a continuación.

VIII-A. Prueba 1

Cuadro IV
PARÁMETROS DE PRUEBA 1

Material	PE baja densidad
Porcentaje de material	Virgen (100%)
Temperatura	Zona 1: 70°C
	Zona 2: 130°
	Zona 3: 170°
RPM	25

En la primera prueba se usó material virgen de baja densidad, una temperatura de 70°C en el área de alimentación la cual causó que el material en la tolva empezara a compactarse creando una cama de pellet, lo cual impidió el paso del material a través de la garganta de alimentación (véase figura 42). También se comprobó que, a mayor velocidad de tensión, más delgado es el filamento, alcanzando de esta forma diámetros de hasta 0.86mm (véase figura 43).



Figura 42. PE compacto



Figura 43. PE compacto

Por otro lado, se obtuvo una extrusión homogénea con la velocidad descrita (25rpm) logrando evitar grumos en el filamento. Al finalizar la extrusión se obtuvo por 70g de pellet, 250g de filamento extruido (Véase la figura 44).

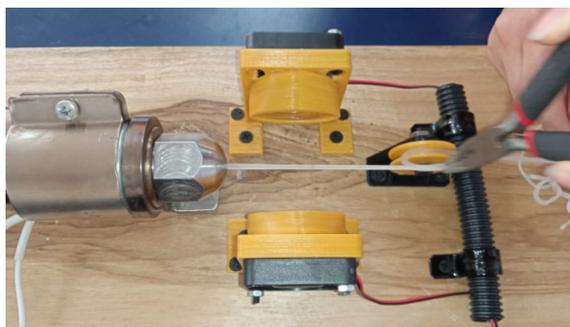


Figura 44. Filamento extruido PE

VIII-B. Prueba 2

Cuadro V
PARÁMETROS DE PRUEBA 2

Material	PE baja densidad (virgen)
	PLA (reciclado)
Porcentaje de material	Virgen (15%) y Reciclado (85%)
Temperatura	Zona 1: 30°C
	Zona 2: 130°C
	Zona 3: 220°C
RPM	25

Para la segunda prueba se usó material virgen de baja densidad mezclado con PLA reciclado (Véase la tabla V, se redujo la temperatura en el área de alimentación a 30°, sin embargo, nuevamente la alta temperatura causó la compactación del material en la tolva, esto impidió el paso del material a través de la garganta de alimentación. Adicionalmente se evidenció que la temperatura en el área de dosificación era muy alta y esto hizo que el material extruido estuviera más viscoso y el sistema de enfriamiento no se abasteció para enfriar el filamento, provocando así que las poleas del sistema se derritieran (poleas de PLA).



Figura 45. Filamento extruido con mezcla de PE y PLA reciclado

Por otro lado, el filamento extruido presentó grumos (Véase la figura 45), esto debido a la presencia de humedad en el PLA reciclado. Al finalizar la extrusión se obtuvo por 30g de materia prima mezclada, 90g de filamento extruido.

VIII-C. Prueba 3

Cuadro VI
PARÁMETROS DE PRUEBA 3

Material	PLA (reciclado)	
Porcentaje de material	Reciclado (100%)	
Temperatura	Seteo	Error de lectura
	Zona 1: 30 °C	Zona 1: 600°C
	Zona 2: 130 °C	Zona 2: 700 °C
	Zona 3: 200 °C	Zona 3: 905 °C
RPM	25	

Para la tercera prueba se presentó un problema de medición de temperatura por causa de falla en la placa de conexiones de los integrados MAX6675, aunque fue sesteado con el valor de las temperaturas de seteo de la tabla VI, los valores alcanzaron hasta los 905° causando elevadas temperaturas y convirtiendo al material totalmente líquido (figura 47. Por otro lado, el cilindro al igual que se tornó de color azul, y las altas temperaturas provocaron un alto grado de presión dentro del cilindro (Véase en la figura 46).



Figura 46. Cilindro de color azul por altas temperaturas

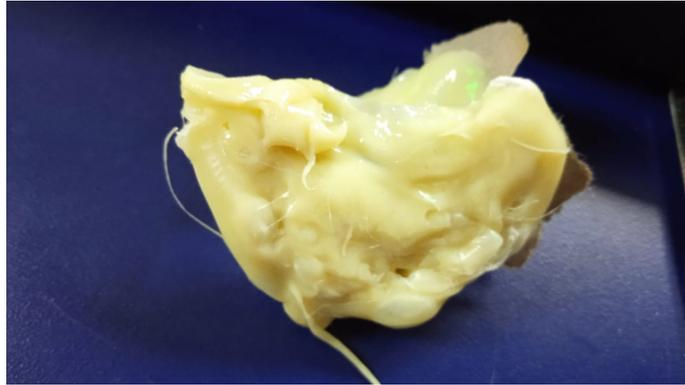


Figura 47. PLA compacto después de extrusión

VIII-D. Scrap

Utilizando los desechos del laboratorio de manufactura aditiva, se generó nueva materia prima para la creación de nuevo filamento, el cual debe ser previamente secado debido a su alta exposición a la humedad, ya que si esto no se realiza el filamento extruido presentará grumos y poca homogeneidad al momento de ser extruido y bobinado.



Figura 48. PLA usado para extrusión

IX. CRONOGRAMA

ACTIVIDADES	MAYO				JUNIO				JULIO				
	SEMANAS												
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5
Elección de proyecto de titulación			■	■									
Creación del Árbol del problema					■								
Investigación de estado de arte					■								
Desarrollo del Planteamiento del Problema						■							
Establecimiento de objetivos						■							
Elaboración de justificación							■						
Escritura de marco teórico								■	■	■	■		
Conexión entre Raspberry y <u>LabView</u>									■	■	■	■	
Conexión entre puertos GPIO y conexión de puertos seriales en <u>LabView</u>													■

Cuadro VII
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE MAYO A JULIO



ACTIVIDADES	AGOSTO					SEPTIEMBRE					OCTUBRE				
	SEMANAS														
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Hipótesis	■														
Presupuesto	■														
Corrección de documento escrito	■	■													
Marco Metodológico	■	■	■												
Análisis de Probetas en ensayos de tracción				■	■										
Recolección de Scrap de laboratorio						■	■	■	■	■					
Trituración de Scrap									■	■					
Adquisición de materiales para elaboración de proyecto											■	■	■	■	■
Realizar diseño de cámara reguladora de humedad									■	■	■				
Desarrollo de programación gráfica en LabView											■	■			
Pruebas de interfaz y conexiones con dispositivos físicos														■	■

Cuadro VIII
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE AGOSTO A OCTUBRE

	NOVIEMBRE					DICIEMBRE					ENERO					FEBRERO				
	SEMANAS																			
ACTIVIDADES	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4		
Implementar diseño de cámara reguladora				■	■	■														
Escaneo y medición de componentes para extrusor	■	■																		
Realizar diseño de CASE para extrusor			■	■																
Implementar diseño de CASE							■	■												
Acoplar extrusor a CASE e implementación de filtro para boquilla									■											
Agregar sistema de refrigeración en la extrusora									■											
Construir sistema de rodillos y medición para filamento										■	■									
Agregar calefactores, sensor de humedad y eje de motor a la cámara reguladora de humedad										■	■									
Implementación de conexiones cableado y conexiones eléctricas de extrusora y cámara										■	■									

Cuadro IX
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE NOVIEMBRE A FEBRERO

X. PRESUPUESTO

Item	Artículo	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio final
1	3D printing filament extruder module	Extruder module, 3 temperature controllers and 3 temperature controllers and thermocouples.	1	\$200,00	\$200,00
2	Raspberry Pi 3 B+	CanaKit Raspberry Pi 3 B+ (B Plus) Kit de arranque (32 GB EVO+ Edition, Premium Black Case)	1	\$95,00	\$95,00
3	Motor Nema 23	Motor paso a paso Nema 23	1	\$90,00	\$90,00
4	Filamento de impresión PLA	Rollo de 1Kg	1	\$25,00	\$25,00
5	TB6600	Driver para motor PaP	1	\$23,00	\$23,00
6	Pantalla -regulador de temperatura	Pantalla de regulación de temperatura con temporizador	1	\$10,25	\$10,25
7	Base y soporte	Soporte de madera (base) y soporte de Motor PaP	1	\$55,00	\$55,00
8	Regulador De Velocidad Motor	Regulador De Velocidad Motor Dc PWM 5-24V -3A	2	\$15,00	\$30,00
9	Conjunto de Tornillos varios	Tornillos para madera, allen y hexagonales	2	\$4,00	\$8,00
10	Malla metálica	Filtro de boquilla	1	\$1,00	\$1,00
11	Elemento calefactable de poliamida	Adhesivo, cuadrado 220x200, 12 V, 7 W	1	\$2,00	\$2,00
12	Perforación y acople de	Taladrado para tornillos	1	\$ 10,00	\$ 10,00

	componente de extrusión				
13	Cableado y conexiones	Componentes eléctricos para tablero de control	1	\$ 50,00	\$50,00
14	Instalación de sistema de refrigeración	Conexión de ventiladores en área de enfriamiento	1	\$ 5,00	\$ 5,00
15	Impresión de base para cámara reguladora de humedad	Base de impresión de PLA	1	\$ 30,00	\$30,00
16	Generador AC/DC	Fuente de 110 a 12-24V	1	\$60,00	\$60,00
17	Tapa de cámara reguladora de humedad	Tapa de acrílico	1	\$ 30,00	\$30,00
18	Instalación de sistema de poleas	Base de PLA, tornillo, tuerca y motor.	1	\$ 5,00	\$5,05
19	Reloj comparador digital	Indicador de diámetro	1	\$ 40,00	\$40,00
TOTAL					\$ 769,3

Cuadro X
PRESUPUESTO DE TESIS DE GRADO

XI. CONCLUSIONES

Se obtuvo el modelo de un extrusor de plástico, el cual permite generar filamento a partir del scrap de los laboratorios de manufactura aditiva de la Universidad Politécnica Salesiana. Dicho extrusor contempla las distintas fases del proceso de extrusión como son la plastificación y dosificación. Para el diseño se tomaron en cuenta los valores teóricos calculados, sin embargo, se toma a consideración el error de mecanizado en distintas piezas.

Se logró extruir filamento, que posteriormente es almacenado en una cámara reguladora de humedad para evitar moléculas de agua en la composición del mismo.

Como parte del proceso de reutilización de material, se recolectaron desechos de los laboratorios de manufactura aditiva de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Campus centenario, los cuales fueron secados antes de ser extruidos.

XII. RECOMENDACIONES

Se recomienda no sobrellenar la tolva con material para extruir, ya que al ser material reciclado este puede quedar atorado y no avanzar más allá de la garganta de alimentación.

En caso de seguir los mismos lineamientos para el diseño y construcción del husillo y cilindro, se recomienda que las piezas trituradas que sirvan de suministro para el proceso sean menores o iguales a 5 mm de diámetro, ancho y/o largo.

Se recomienda presecar el material a extruir al menos a 55 *°C* durante 3 horas, así se evitan problemas de corrosión de forma interna al husillo y cilindro.

Se recomienda usar un recubrimiento que soporte altas temperaturas para termocuplas y conexiones de las resistencias, para evitar que los cables queden expuestos.

La conexión del MAX 6675 es extremadamente sensible, por lo cual se recomienda realizar una placa PCB en donde se pueda ubicar de forma estable al módulo y que así no afecte a la lectura de la temperatura.

Al trabajar con material recién extruido es necesario utilizar pinzas para no manipular directamente el filamento, debido a que las altas temperaturas pueden ocasionar quemaduras.

Se recomienda alta precaución al manipular cualquier objeto o pieza del área de extrusión

REFERENCIAS

- [1] 3D Printing Industry, *Extrusora 3dvo*, 2016. dirección: <https://3dprintingindustry.com/news/3devo-launches-devoclean-midtemp-ez-purging-material-for-filament-making-machines-181306/>.
- [2] R. Beltrán y G. Marcilla, *Tecnología de polímeros*. España: Universidad de Alicante, 2016.
- [3] L. Borzemeski, J. Swiatek y Z. Wilimowska, *Information Systems Architecture and Technology: Proceedings of 39th International Conference on Information Systems Architecture and Technology - ISAT 2018. PARTE I*. Cham, Suiza: Springer, 2019.
- [4] F. J. Casas Marín, *DESARROLLO DE UN SOFTWARE DE CONTROL BASADO EN RASPBERRY PI II PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS DE CONTROL EN UNA PLATAFORMA 3D (CON 3 GRADOS DE LIBERTAD)*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2016.
- [5] U. Chandrasekhar, S. Gowthaman y L.-J. Yang, *Innovative Desing, Analysis and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering (I-DAD 2018). VOL. 1*. Singapur: Springer, 2019.
- [6] J. Chávez, *DISEÑO DE EXTRUSORA DE FILAMENTO PARA LA IMPRESORA 3D FABRICADO A PARTIR DE POLIPROPILENO RECICLADO*. Oaxaca: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA, 2018.
- [7] A. J. Constaín, *Metodología básica de instrumentación industrial y electrónica*. Bogotá, Colombia: Universidad de La Salle, 2016.
- [8] epo3d, *Extrusora Exo Extruder*, 2018. dirección: <https://epo3d.com/>.
- [9] P. Espinoza Martínez, *Estudio del efecto del procesamiento y la extensión de cadena sobre las propiedades reológicas y mecánicas de PET. Una alternativa al reciclado*. Saltillo, México: Centro de Investigación en química aplicada, 2017.
- [10] L. Flores, *MÁQUINA EXTRUSORA PARA RECICLAJE DE PLÁSTICO*. Ibarra: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, 2016.
- [11] F. Johansson, *Optimizing Fused Filament Fabrication 3D printing for durability Tensile properties layer bonding*. Karlskrona, Sweden: Blekinge Institute of Technology, 2016.
- [12] J. V. Molina, *CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES TERMOPLÁSTICOS DE ABS Y PLA SEMI-RIGIDO IMPRESOS EN 3D CON CINCO MALLADOS INTERNOS DIFERENTES*. Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2016.
- [13] OMEGA, *Elemento calefactable de poliamida*, 2017. dirección: https://es.omega.com/pptst/KHR_KHLV_KH.html.
- [14] C. Ortíz, *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE FILAMENTOS DE 1.75MM Y 3MM PARA IMPRESORAS 3D, A PARTIR DE POLÍMERO RECICLADO*. LATACUNGA: ESPE, 2018.
- [15] V. Pacheco, *Guia para la mejora de calidad de fabricación en impresoras 3D de bajo coste*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2020.
- [16] R. N. Parra Brito, *Diseño de extrusora de filamento para Impresión 3D a partir de plásticos reciclados*. Santiago, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, 2017.
- [17] A. Petsiuk y J. Pearce, *Open Source 3-D Filament Diameter Sensor for Recycling, Winding and Additive Manufacturing Machines*. Michigan: Michigan Technological University, 2016.
- [18] C. E. Piñeros Trujillo y A. G. B. Stiven, *Rediseño de una máquina extrusora para reciclaje de plástico producido en la Facultad Tecnológica de la UD*. Bogotá, D.C: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, 2019.
- [19] M. Sanchez, A. Guzman y L. Águila, «Reciclado de desechos plásticos en Laboratorio de Manufactura,» *Revista de Tecnologías en Procesos Industriales*, págs. 16-23, sep. de 2019.
- [20] SUNLU, *Secadora de filamento PrintDry PRO*, 2019. dirección: <https://www.sunlu.com/collections/christmas-sale/products/sunlu-filament-dryer-s1>.

A. Ficha Técnica Acero 4140

Acero 4140

C 0.38 / 0.43% **Cr** 0.80 / 1.10%
Mn 0.75 / 1.00% **Mo** 0.15 / 0.25%
Si 0.20 / 0.35%

Acero 4140

Acero de aleación que responde muy bien al templeado en aceite. Su contenido de cromo le permite una buena penetración de la dureza y el molibdeno le da homogeneidad en la dureza y resistencia. Con este acero se obtienen propiedades como buena resistencia al desgaste, tenacidad y ductilidad.

Aplicaciones:

Flechas, engranes, válvulas, pernos, coples, ejes, pernos de alta temperatura, rodillos, cuerpos de herramientas de corte, árbol de levas, ejes de trailer, eslabones de cadena, resortes, cigüeñales, espárragos, flechas de mecanismos hidráulicos, etc.

Maquinabilidad: 66% tomando el 1212 como 100%

Soldabilidad: Antes de soldar las piezas deben pre-calentarse y deberán, después del proceso de soldadura, someterse a un tratamiento de revelado de esfuerzos.

Tratamientos Térmicos:

Forja: 1100° – 1200°C, enfriar lento.

Recocido: 800° – 845°C, Enfriar en horno.

Normalizado: 870° – 925°C. enfriar en aire.

Templado: 825° – 880°C, enfriar en aceite agitado.

Revenido: 205 – 700°C, enfriar en aire.

Tu mejor Aleado en Aceros Especiales



www.iirsacero.com.mx

Figura 49. Acero 4140

Acero Inoxidable 304



304

C max	0.08%	Si max	1.00%
Mn max	2.00%	Cr	18.00 / 20.00%
P max	0.04%	Ni	8.00 / 10.50%
S max	0.03%		

304 L

C max	0.03%	Si max	1.00%
Mn max	2.00%	Cr	18.00 / 20.00%
P max	0.04%	Ni	8.00 / 12.00%
S max	0.03%		

Acero Inoxidable 304 y 304L

Acero Inoxidable 304 y 304L austeníticos que combinan una buena resistencia a la corrosión y buenas propiedades mecánicas.

El tipo 304L es una modificación de bajo carbón del tipo 304. La ventaja en el tipo 304L es que se minimiza el problema de la precipitación de carburos durante el proceso de soldadura.

Aplicaciones:

Ampliamente usado en la Industria Química, lechera, de bebidas y otros productos alimenticios.

Resistencia a la Corrosión: En su condición de recocido, estos aceros son altamente resistentes a la corrosión atmosférica, a ácidos como el acético, nítrico, cítrico, etc. A muchos compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, al petróleo curado o refinado. Puede ocurrir corrosión intergranular si es calentado o enfriado lentamente dentro del rango de temperatura de 425° – 900°C.

Temperatura Máxima de Servicio: 880° si es en servicio continuo y 840°C en servicio intermitente.

Maquinabilidad: Tiene una maquinabilidad media debido a su baja dureza.

Soldabilidad: Estos aceros pueden ser soldados satisfactoriamente por cualquier método y sólo la soldadura con oxiacetileno no se recomienda. Para el tipo 304 se recomienda las soldaduras AWS E/E308 o la AWS E/ER312. Para el tipo 304L se debe usar la soldadura AWS E/ER308L o AWS E/ER347.

Formado en Frío: Estos aceros pueden ser fácilmente estirados, doblados o estampados.

Forjado en Caliente: Forjar entre 1150° – 1250°C. No forjar abajo de 930°C. Las forjas deben ser recocidas para recuperar toda su resistencia a la corrosión.

Tratamientos Térmicos:

Recocido: Calentar entre 1010° – 1120°C y enfriar en agua. Se obtiene aproximadamente una dureza 150 Brinell.

Templado: No se puede ser endurecido por tratamiento térmico, sólo por deformación en frío.

Tu mejor Aleado en Aceros Especiales



www.iirsacero.com.mx

Figura 50. Acero 304

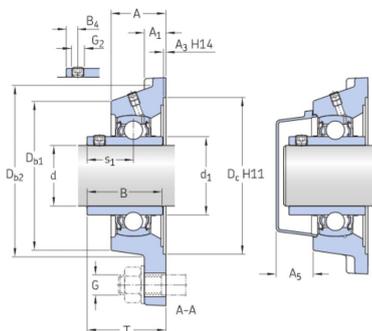


FY 20 TF

Unidades de rodamientos de bolas con pestaña cuadrada

Especificación técnica

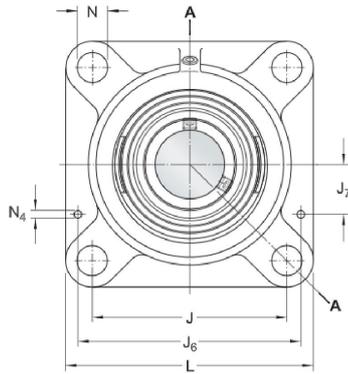
Cumplimiento con el estándar	ISO
Purpose specific	Para aplicaciones de manipulación de materiales
Material del soporte	Fundición
Sealing solution	Standard seals with additional flingers



DIMENSIONES

d	20 mm	Diámetro del agujero
d ₁	≈ 28.2 mm	Diámetro exterior del aro interior
A	29.5 mm	Ancho total
A ₁	11 mm	Ancho de la pestaña
A ₃	3.2 mm	Profundidad del rebaje de centrado
A ₅	20.5 mm	Parte que sobresale de la tapa lateral
B	31 mm	Ancho total del rodamiento
B ₄	4.5 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro de la rosca
D _{b1}	57 mm	Diámetro superior externo
D _{b2}	63 mm	Diámetro externo de la base
D _c	68.3 mm	Diámetro de centrado
J	63.5 mm	Distancia entre los tornillos de fijación

Figura 51. Chumacera SKF



L	86 mm	Longitud total
N	11.5 mm	Diámetro del agujero del tornillo de fijación
s1	18.3 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro del camino de rodadura
T	37.3 mm	Ancho total de la unidad

PASADORES

J _ε	74 mm	Distancia de los pasadores
J _γ	16 mm	Desplazamiento axial de los pasadores
N	4 mm	Diámetro recomendado para los pasadores

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	12.7 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	6.55 kN
Carga límite de fatiga	P _u	0.28 kN
Velocidad límite		8 500 r/min
con tolerancia de eje h6		

MASA

Mass bearing unit		0.54 kg
-------------------	--	---------

INFORMACIÓN DE MONTAJE

Rosca del prisionero	G ₂	M6x0.75
Tamaño de llave hexagonal para el prisionero		3 mm
Par de apriete recomendado para el prisionero		4 N·m
Diámetro recomendado para los tornillos de fijación, mm	G	10 mm
Diámetro recomendado para los tornillos de fijación, pulgadas	G	0.375 in

Figura 52. Chumacera SKF

19-2235; Rev 1; 3/02



Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

MAX6675

General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

Features

- ◆ Direct Digital Conversion of Type -K Thermocouple Output
- ◆ Cold-Junction Compensation
- ◆ Simple SPI-Compatible Serial Interface
- ◆ 12-Bit, 0.25°C Resolution
- ◆ Open Thermocouple Detection

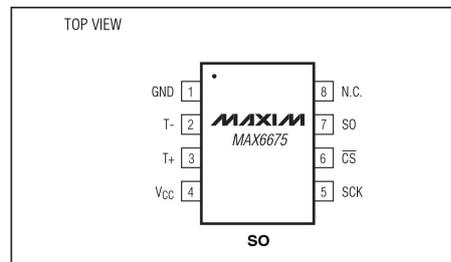
Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

Applications

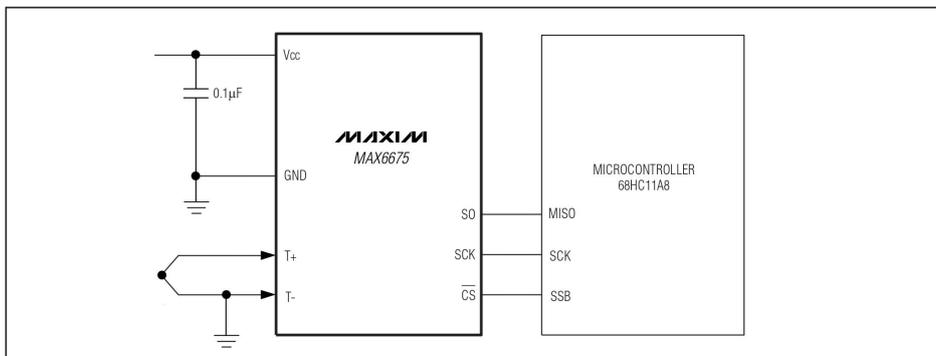
Industrial
Appliances
HVAC
Automotive

Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit



Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

Figura 53. MAX 6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V _{CC} to GND)	-0.3V to +6V	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
SO, SCK, CS, T-, T+ to GND	-0.3V to V _{CC} + 0.3V	Junction Temperature	+150°C
SO Current	50mA	SO Package	
ESD Protection (Human Body Model)	±2000V	Vapor Phase (60s)	+215°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)		Infrared (15s)	+220°C
8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C)	471mW	Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Operating Temperature Range	-20°C to +85°C		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = +3.0V to +5.5V, T_A = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Error		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-5	+5	LSB
			V _{CC} = +5V	-6	+6	
		T _{THERMOCOUPLE} = 0°C to +700°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-8	+8	
			V _{CC} = +5V	-9	+9	
T _{THERMOCOUPLE} = +700°C to +1000°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-17	+17			
	V _{CC} = +5V	-19	+19			
Thermocouple Conversion Constant				10.25		μV/LSB
Cold-Junction Compensation Error		T _A = -20°C to +85°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-3.0	+3.0	°C
			V _{CC} = +5V	-3.0	+3.0	
Resolution				0.25		°C
Thermocouple Input Impedance				60		kΩ
Supply Voltage	V _{CC}		3.0		5.5	V
Supply Current	I _{CC}			0.7	1.5	mA
Power-On Reset Threshold		V _{CC} rising	1	2	2.5	V
Power-On Reset Hysteresis				50		mV
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22	s
SERIAL INTERFACE						
Input Low Voltage	V _{IL}				0.3 x V _{CC}	V
Input High Voltage	V _{IH}			0.7 x V _{CC}		V
Input Leakage Current	I _{LEAK}	V _{IN} = GND or V _{CC}			±5	μA
Input Capacitance	C _{IN}			5		pF

Figura 54. MAX 6675

Solid State Relay **G3MB**

Low cost Subminiature PCB mounting 2 amp Single in-line package (SIP) SSR

- Bottom is approximately 3 times smaller than G3M.
- Low cost "SIP" package switches up to 2A loads.
- Built in Snubber circuit and input resistor as option.
- Two footprints available for design flexibility.
- The G3MB-202PEG-4-DC20MA crosses directly to the Motorola MOC2A-60 series power triac.



Ordering Information

To Order: Specify input voltage at end of part number. Example: G3MB-202P-DC24

Isolation	Output terminal pitch	Zero cross	Input resistor	Built-in snubber circuit	Rated output load	Rated input voltage	Model
Phototriac	7.62 mm	Yes	Yes	Yes	2 A at 100 to 240 VAC	5 VDC	G3MB-202P
						12 VDC	
		24 VDC					
		24 VDC					
	5.08 mm	No			2 A at 100 to 240 VAC	5 VDC	G3MB-202PL
						12 VDC	
		24 VDC					
		24 VDC					
5.08 mm	Yes	2 A at 100 to 240 VAC	5 VDC	G3MB-202P-4			
			12 VDC				
	24 VDC						
	24 VDC						
5.08 mm	No	2 A at 100 to 240 VAC	5 VDC	G3MB-202PL-4			
			12 VDC				
	24 VDC						
	24 VDC						
	Yes	No	No	2 A at 100 to 240 VAC	N/A *(See Note)		G3MB-202PEG-4-DC20MA
	No	No	No	2 A at 100 to 240 VAC	N/A *(See Note)		G3MB-202PLEG-4-DC20MA

Note: 1. For versions without input voltage specified, a current limiting resistor must be placed in series with the input. See LED drive specifications and recommendations below.

2. TUV versions available. Contact your local Omron representative.

Specifications

■ Input Rating

Models with Input Resistor

Rated voltage	Operating range	Input impedance
5 VDC	4 to 6 VDC	440 Ω \pm 20%
12 VDC	9.60 to 14.40 VDC	1k Ω \pm 20%
24 VDC	19.20 to 28.80 VDC	2.20k Ω \pm 20%

■ Output Rating

Model	Rated load voltage	Load voltage range	Load current	Surge current
G3MB-202	100 to 240 VAC	75 to 264 VAC	0.10 to 2 A	30 A (60 Hz, 1 cycle)

■ LED Drive Data

Models without Input Resistor

LED forward current	50 mA max.
Repetitive peak LED forward current	1 A max.
LED reverse voltage	5 V max.

■ Recommended LED Operating Conditions

Models without Input Resistor

	Min.	Standard	Max.
LED forward current	5 mA	10 mA	20 mA
Must drop voltage	0	—	1 V

■ Characteristics

Type	G3MB-202P G3MB-202PEG	G3MB-202PL G3MB-202PLEG
Operate time	1/2 of load power source cycle + 1 ms max.	1 ms max.
Release time	1/2 of load power source cycle + 1 ms max.	
Output ON voltage drop	1.60 V (RMS) max.	
Leakage current	1 mA max. at 100 VAC, 1.50 mA at 200 VAC	
Non-repetitive peak surge	30 A	
Output	PIV (V _{ORM})	600 V
	di/dt	40 A/ μ s
	dv/dt	100 V/ μ s
	i ² t	4 A ² s
Junction temperature (T _J)	125°C (257°F) max.	
Insulation resistance	1,000 M Ω min. at 500 VDC	
Dielectric strength	2500 VAC, 50/60 Hz for 1 minute; 3750 VAC max., 1 second	
Vibration	Malfunction	10 to 55 Hz, 0.75 mm (0.03 in) double amplitude, approx. 5 G
Shock	Malfunction	Approx. 100 G
Ambient temperature	Operating	-30° to 80°C (-22° to 176°F) with no icing
	Storage	-30° to 100°C (-22° to 212°F) with no icing
Humidity	Operating	45% to 85% RH
Weight	Approx. 5 g (0.18 oz)	

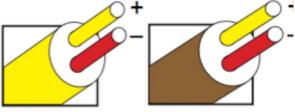
Note: Data shown are of initial value.

Tei
Ingeniería • Soluciones • Tecnología

Contáctanos
+52 (55) 5305-3731
info@teii.com.mx



Tipo K Especificación Técnica
Tablas de Referencia N.I.S.T.



Cable para termopar tipo K, especificaciones técnicas

El **cable para termopar tipo K** es recomendado para el uso continuo en ambientes oxidantes o atmósferas inertes de hasta 1200°C, especialmente sobre 500°C. Ciclos repetitivos sobre y bajo 1000°C no son recomendados por alteración de la Fuerza electromotriz por efectos de histéresis. No debe ser utilizado con sulfuros, atmósferas conmutantes reductoras-oxidantes o menos que se utilicen tubos de protección. Termopar confiable y preciso en altas temperaturas.

Máximo rango de temperatura¹

Grado Termopar: -200 a 1250°C

Grado extensión: 0 a 200°C

Límite de error

Estándar: 2.2°C o 0.75°C en 0°C

2.2°C o 2.0% bajo 0°C

Especial: 1.1°C o 0.4%

Características ambientales de operación

Ambiente oxidante e inerte, uso limitado en vacío o ambiente reductor, amplio rango de temperatura, calibración de uso más frecuente en la industria.

Compensación de punta fría a 0°C

Material

Composición Níquel-Cromo · Níquel-Aluminio

Elemento positivo: Níquel-Cromo (Cromel)

Elemento negativo: Níquel-Aluminio (Alumel)

Magnéticamente sensible: Níquel-Cromo (Alumel)

Designación de colores

Elemento positivo: Amarillo

Elemento negativo: Rojo

Tabla de correlación Temperatura Vs. mV

Referencia: N.I.S.T.

Figura 57. Termopar tipo K

G. Especificaciones de motor DC a 12V - 250rpm y 30rpm

Tensión de funcionamiento	Entre 6V y 18V (Pico).
Tensión nominal	12 V.
Velocidad sin carga a 12V	250 RPM
Corriente de funcionamiento a 12V	Sin carga 50mA, con media carga 240mA. Pico 1.2A
Torque	0.95 kg-cm
Relación de engranaje	35:1
Peso	85 g

Cuadro XI

ESPECIFICACIONES DE MOTOR 12V-250RPM

Tensión de funcionamiento	Entre 6V y 18V (Pico).
Tensión nominal	12 V.
Velocidad sin carga a 12V	30 RPM
Corriente de funcionamiento a 12V	Sin carga 50mA, con media carga 240mA. Pico 1.2A
Torque	6.5 kg-cm
Relación de engranaje	230:1
Peso	90 g

Cuadro XII

ESPECIFICACIONES DE MOTOR 12V-30RPM

Nema 23 Planetary Geared Stepper Motor

Rev: A

Date:

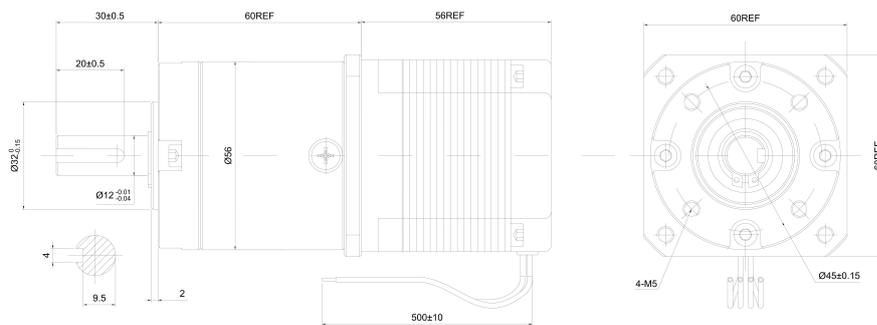
COMMON RATINGS

Step angle :	1.8°	Dielectric strength :	500VAC
Positional accuracy :	±5%	Insulation resistance :	100Mohm(500VDC)
Number of Phase :	2	Ambient Temperature :	-10°C~50°C
Temperature rise :	80°C MAX	Insulation class :	B
Rotor Inertia :	440gcm ²	Weight :	1.4Kg

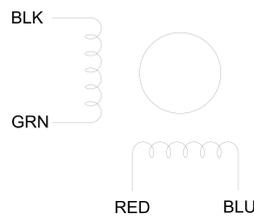
SPECIFICATIONS

Holding Torque Before Gearbox (N.m)	Rated Current/Phase (Amps DC)	Phase Resistance (ohms) ±10%	Voltage Current/Phase (V DC)	Phase Inductance (mH) ±20%(1KHz) Typical	Gear Ratio
1.25	2.8	0.9	2.6	2.5	15.3

DIMENSIONS unit=mm



CONNECTIONS



GEARBOX

Gear Ratio	15 ³ / ₁₀
Efficiency	81%
Backlash at No-load	<= 1.5°
Max. Permissible Torque(Nm)	30.0
Moment Permissible Torque(Nm)	50.0
Shaft Maximum Axial Load(N)	100.0
Shaft Maximum Radial Load(N)	200.0

						23HS22-2804S-PG15			技术规格书			
标记	处数	分区	更改文件号	签名	日期	阶段	标记	重量	比例			
设计			标准化									
审核										www.OMC-StepperOnline.com		
工艺			批准			共	张	第	张			

Figura 58. Motor paso a paso con caja reductora de 15,3:1

TB6600
Stepper Motor Driver

**Analog Driver
Model TB6600**

Analog Technology, max. 40 VDC / 4.0 A (PEAK)

Product Description:
The TB6600 single axis drive is a low cost microstepping drive. It is suitable for driving 2-phase and 4-phase hybrid stepper motors. Not for professional applications.

Features:

- Cost-effective
- Supply voltage up to +40 VDC, Output current up to 4.0 A (PEAK)
- Output current selectable in 8 steps via DIP-switch
- Automatic idle-current reduction (in standstill mode) to reduce motor heating
- Pulse input frequency up to 20 kHz
- Input suitable for 5 V signals
- Inputs are optically isolated
- 6 selectable microstep resolutions, up to 6400 steps/rev with standard 1.8° motors
- Suitable for 2-phase and 4-phase motors
- Supports PUL/DIR mode
- Over current and overheat protection

Electrical Specifications:

Parameters	Min	Typ.	Max	Unit
Output current	0.7	-	4.0 (3.5 RMS)	A
Supply voltage	+9	+36	+40	VDC
Logic signal current	8	10	15	mA
Puls input frequency	0	-	20 when duty cycle is 25 high / 75 low 13 when duty cycle is 50 / 50	kHz
Insulation resistance	500			MΩ

Further Specifications:

Microsteps / 1,8 °	200		6400
PUL / DIR		yes	
NEMA sizes	17		24
Motor type Mecheltron	42BYGH-XXXX		60BYGH-XXX



22.01.18

Right of techn. modifications is reserved www.sorotec.de Technische Änderungen vorbehalten

Figura 59. Drive de motores paso a paso TB6600

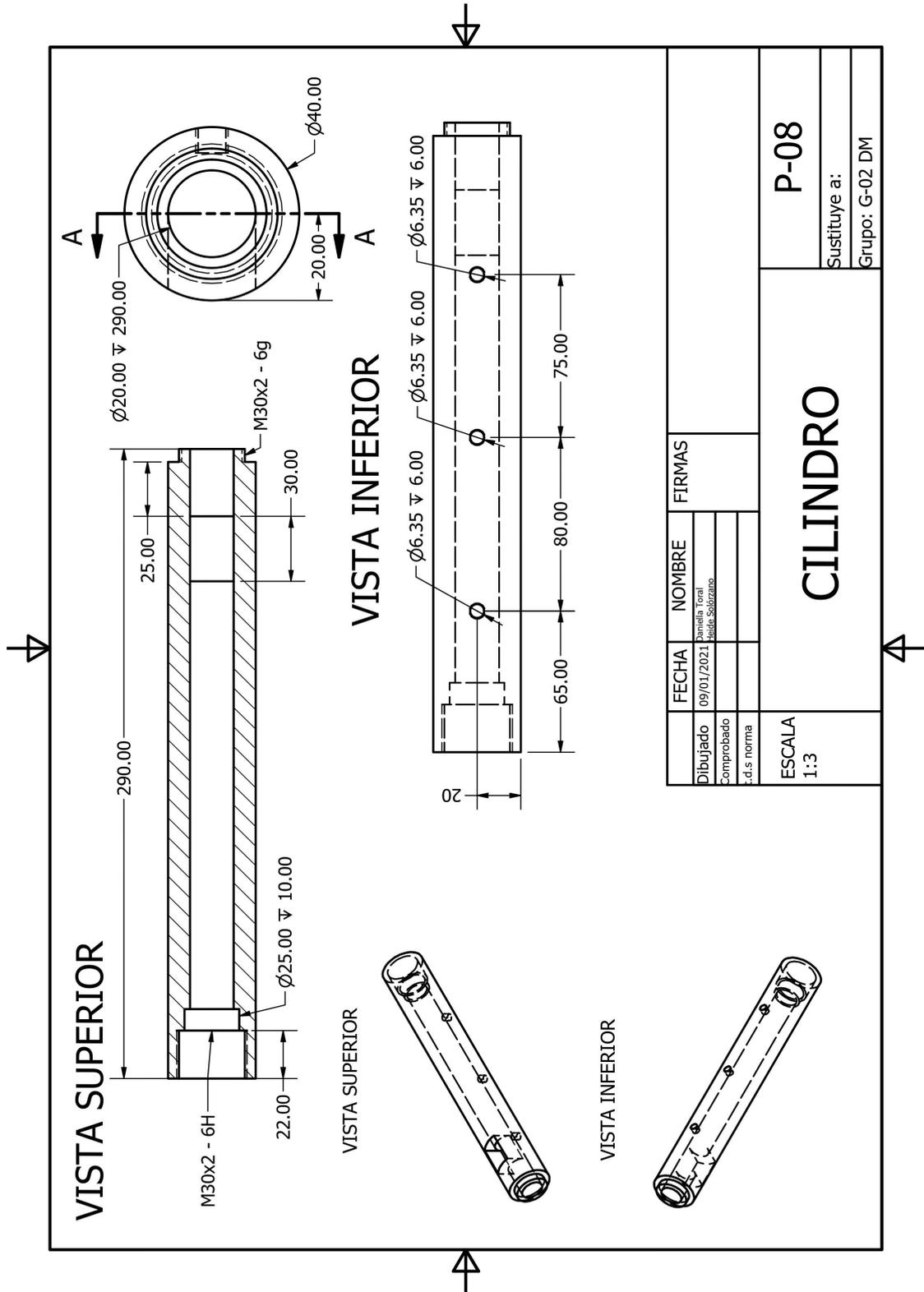


Figura 60. Plano del cilindro realizado en Inventor 2019

K. Plano de final de carrera

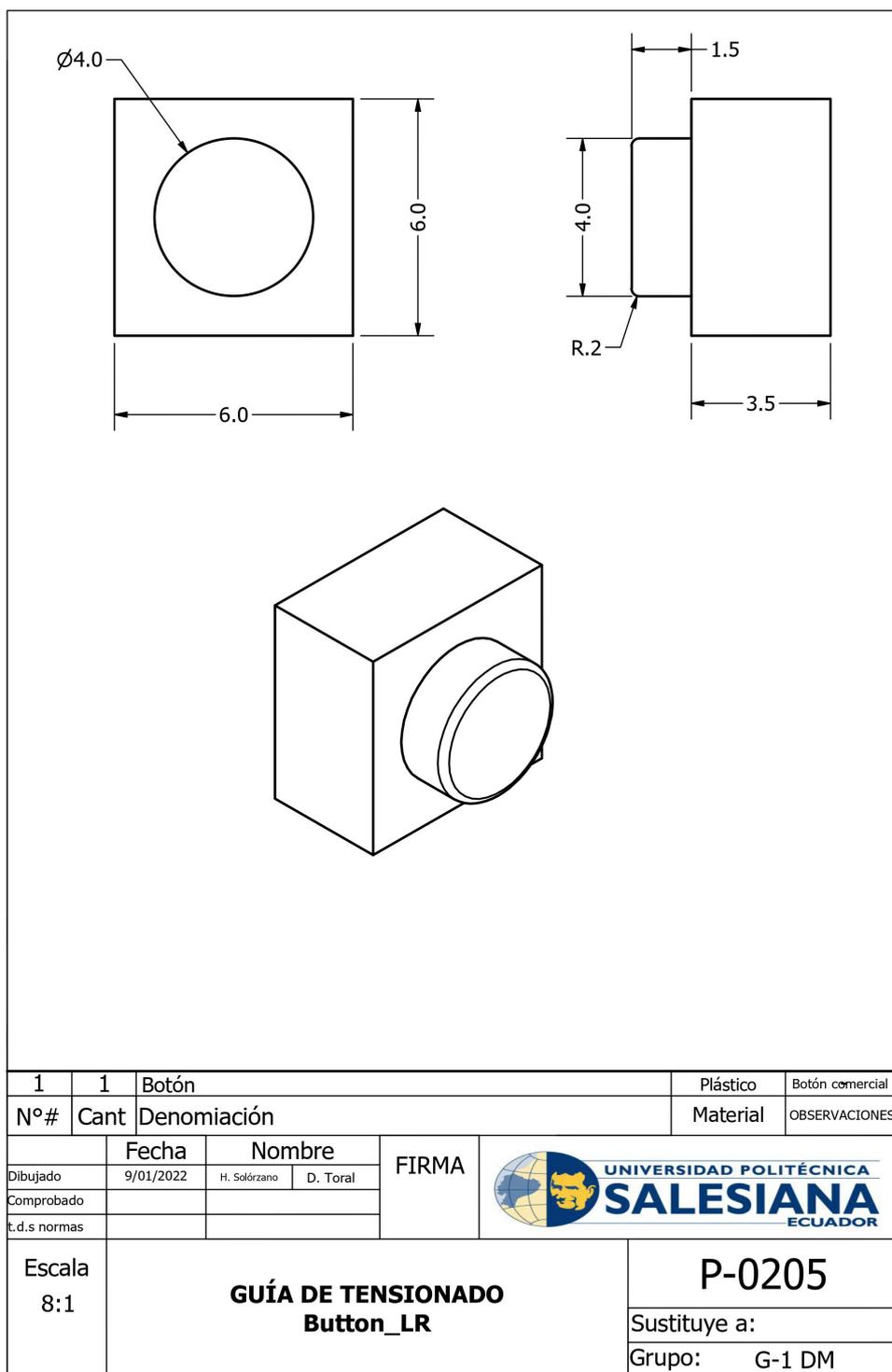


Figura 61. Plano del final de carrera realizado en Inventor 2019

L. Plano de Guía de tensiónado / Cart

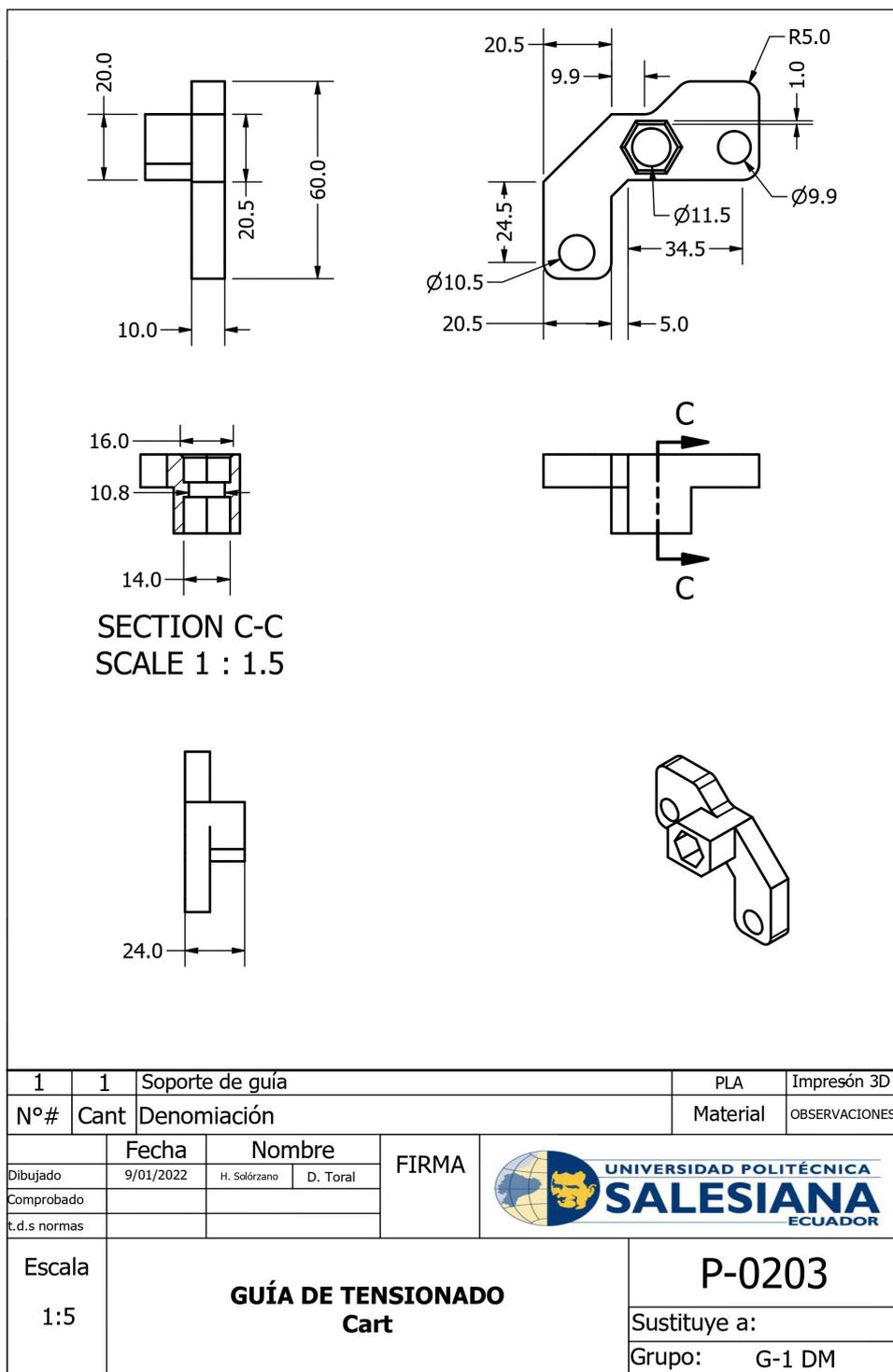


Figura 62. Plano de Guía de tensiónado / Cart realizado en Inventor 2019

M. Plano de boquilla de extrusión

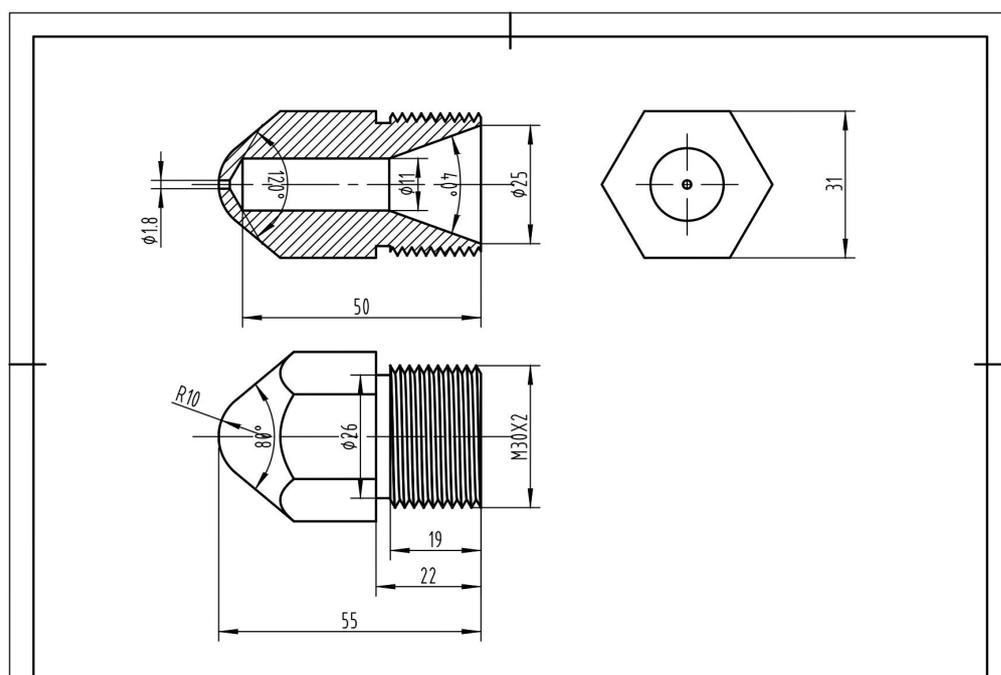


Figura 63. Plano de boquilla de extrusión realizado en Inventor 2019

N. Plano del Husillo

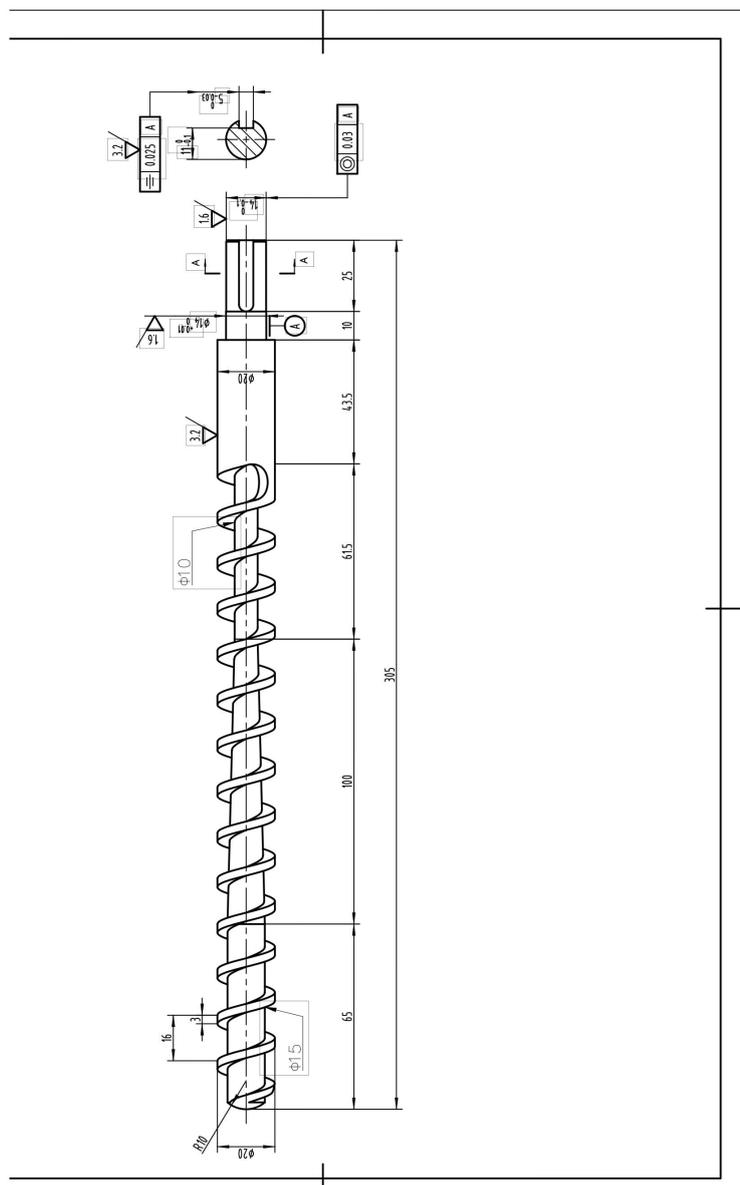


Figura 64. Plano del Husillo realizado en Inventor 2019

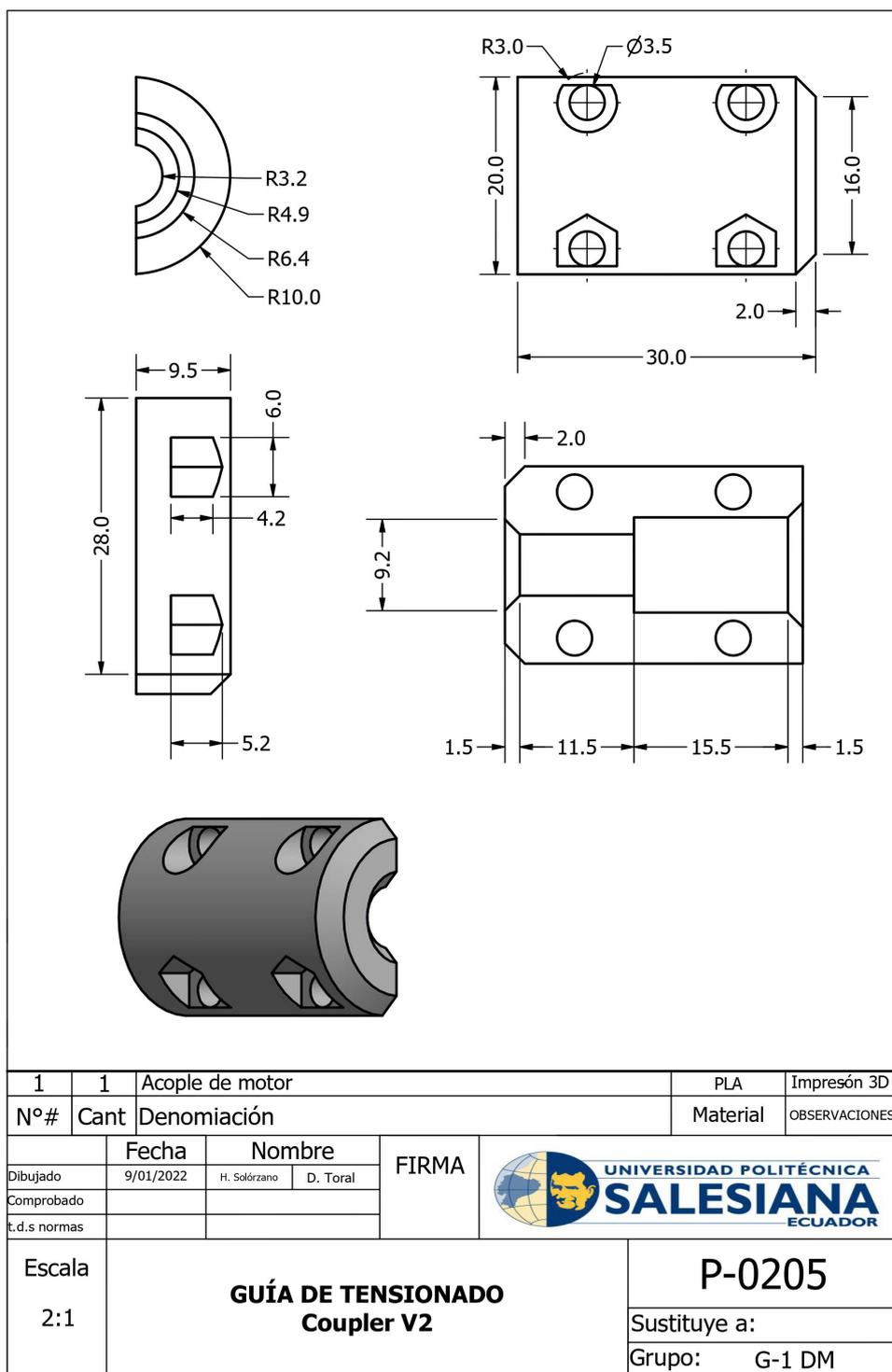


Figura 65. Plano de Guía de tensiónado / CouplerV2 realizado en Inventor 2019



D/W R6

Rodamientos rígidos de bolas

Datos de los rodamientos

Tolerancias,

Normales (métricas), P6, P5, Normales (en pulgadas).

Juego radial interno,

Pares de rodamientos apareados, Acero inoxidable $d < 10$ mm, Otros rodamientos

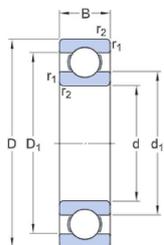
Interfaces del rodamiento

Tolerancias de los asientos

para condiciones estándares,

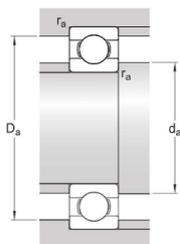
Tolerancias y ajustes resultantes

Especificación técnica



DIMENSIONES

d	9.525 mm	Diámetro del agujero
D	22.225 mm	Diámetro exterior
B	5.558 mm	Ancho
d1	≈12.8 mm	Diámetro del resalte del aro interior
D1	≈18.7 mm	Diámetro del resalte del aro exterior/diámetro interior de la arandela del soporte
r1,2	min.0.4 mm	Dimensión del chaflán del aro exterior



DIMENSIONES DE LOS RESALTES

da	min.12.1 mm	Diámetro del resalte del eje
Da	max.19.7 mm	Diámetro del resalte del soporte
ra	max.0.4 mm	Radio de acuerdo

Figura 66. Ficha Técnica del Rodamiento D/W R6

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	2.47 kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	1.12 kN
Carga límite de fatiga	P_u	0.048 kN
Velocidad de referencia		70 000 r/min
Velocidad límite		45 000 r/min
Factor de cálculo	k_r	0.025
Factor de cálculo	f_0	10.2

MASA

Rodamiento de masa	0.009 kg
--------------------	----------

TOLERANCE CLASS

Dimensional tolerances	Normal
Radial run-out	Normal

Figura 67. Ficha Técnica del Rodamiento D/W R6

P. Plano del Sistema de Embobinado / DC Small Belt Pulley

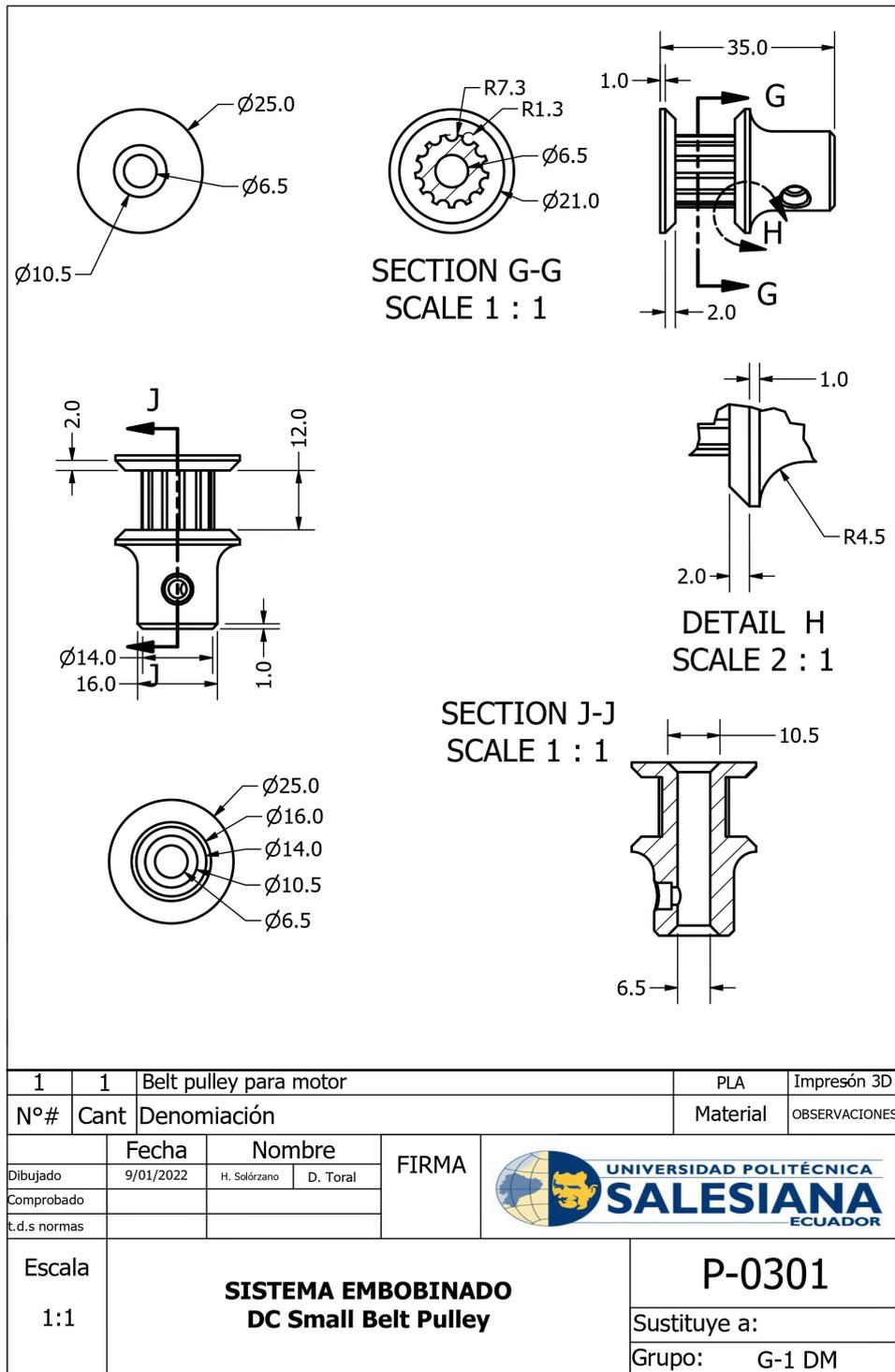


Figura 68. Plano del Sistema de Embobinado / DC Small Belt Pulley realizado en Inventor 2019

Q. Plano de Guía de tensionado / Filament Roller Half 1

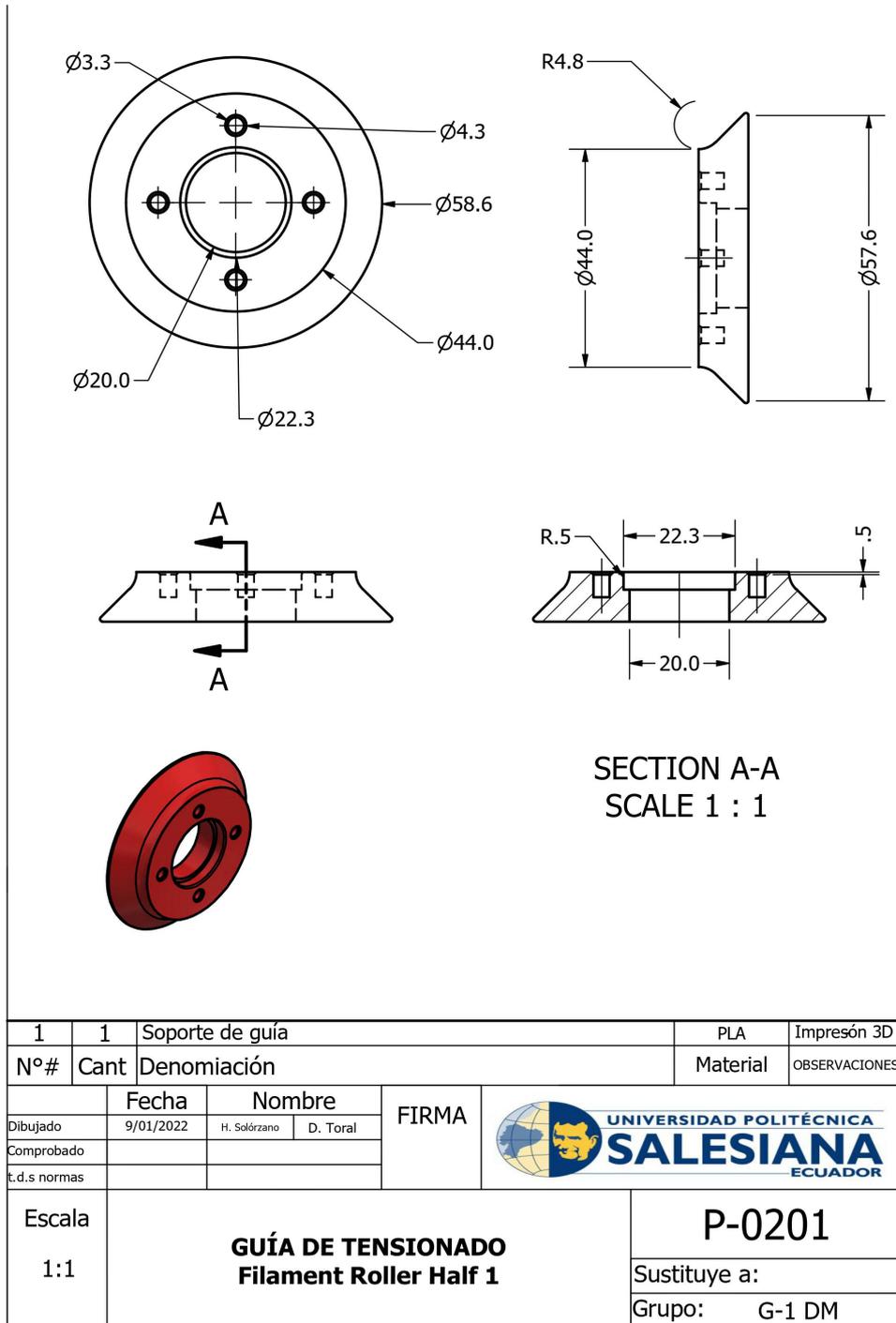


Figura 69. Plano de Guía de tensionado / Filament Roller Half 1 realizado en Inventor 2019

R. Plano de Guía de tensionado / Filament Roller Half 2

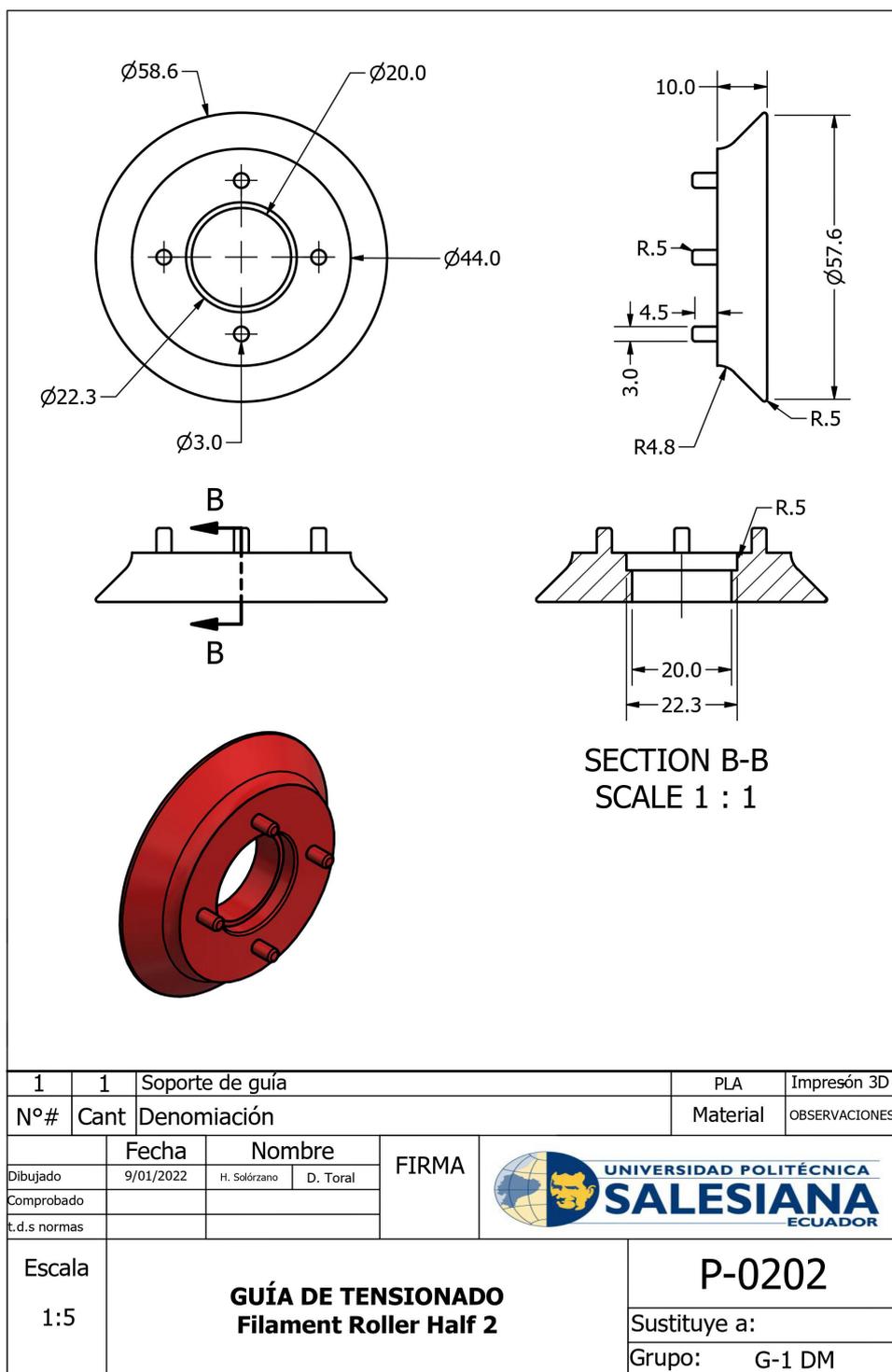


Figura 70. Plano de Guía de tensionado / Filament Roller Half 2 realizado en Inventor 2019

S. Plano del Sistema de Embobinado / Front Bearing Tower

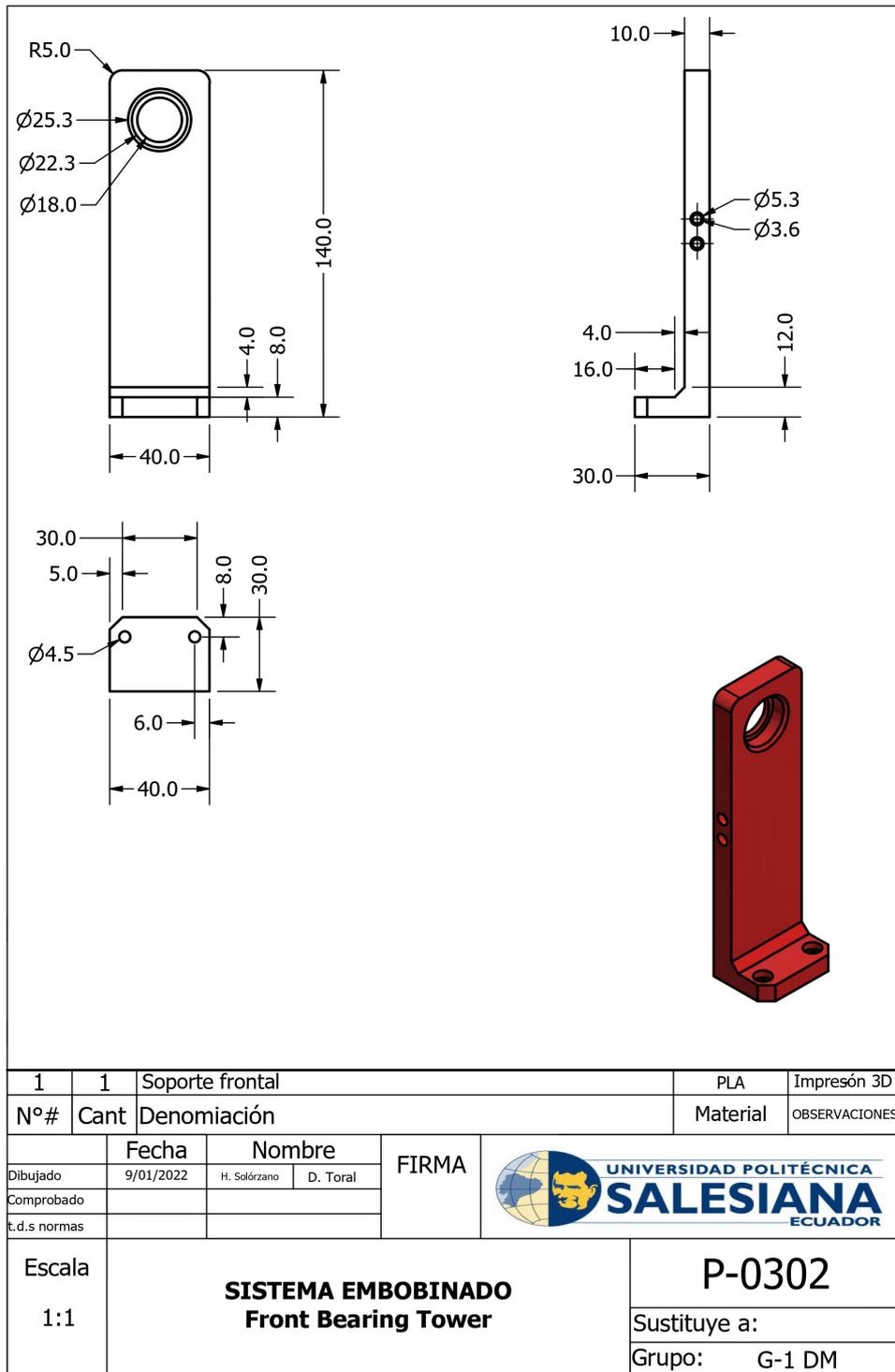


Figura 71. Plano del Sistema de Embobinado / Front Bearing Tower realizado en Inventor 2019

T. Plano de Guía de tensionado / Guide Blocks

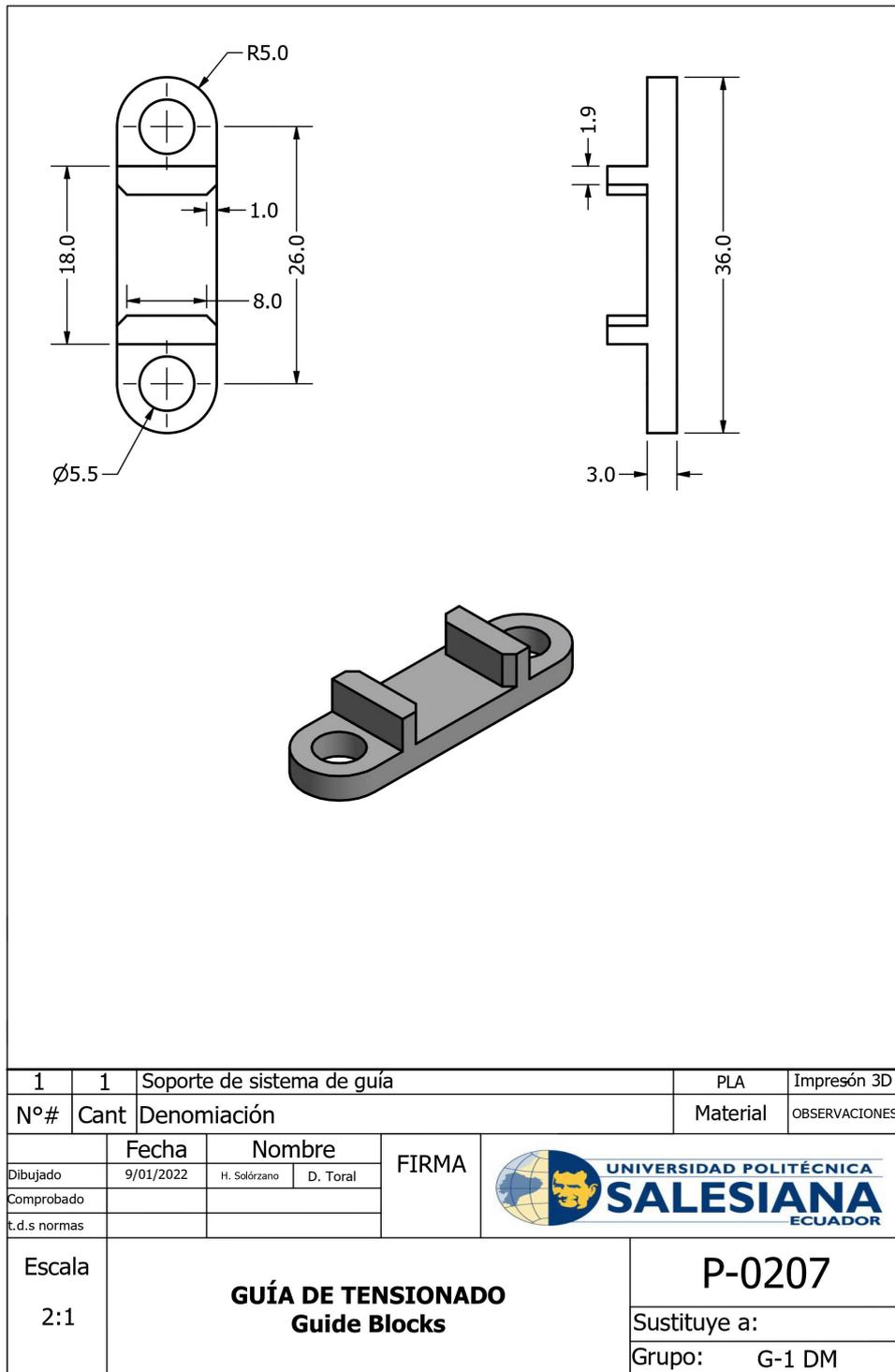


Figura 72. Plano de Guía de tensionado / Guide Blocks realizado en Inventor 2019

U. Plano de Guide Wood Mount

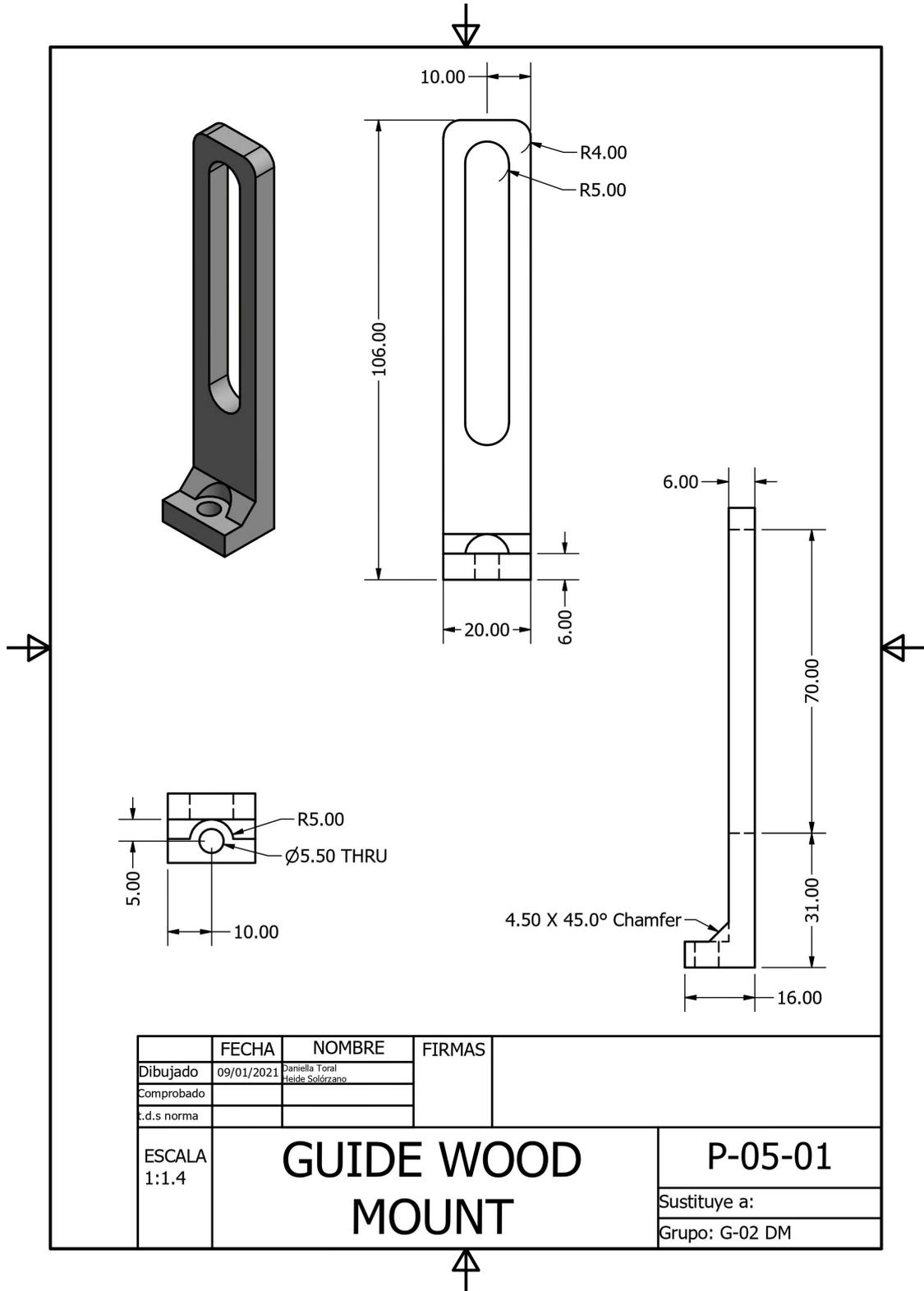


Figura 73. Plano de Guide Wood Mount realizado en Inventor 2019

V. Plano del Sistema de Embobinado / Large Belt Pulley

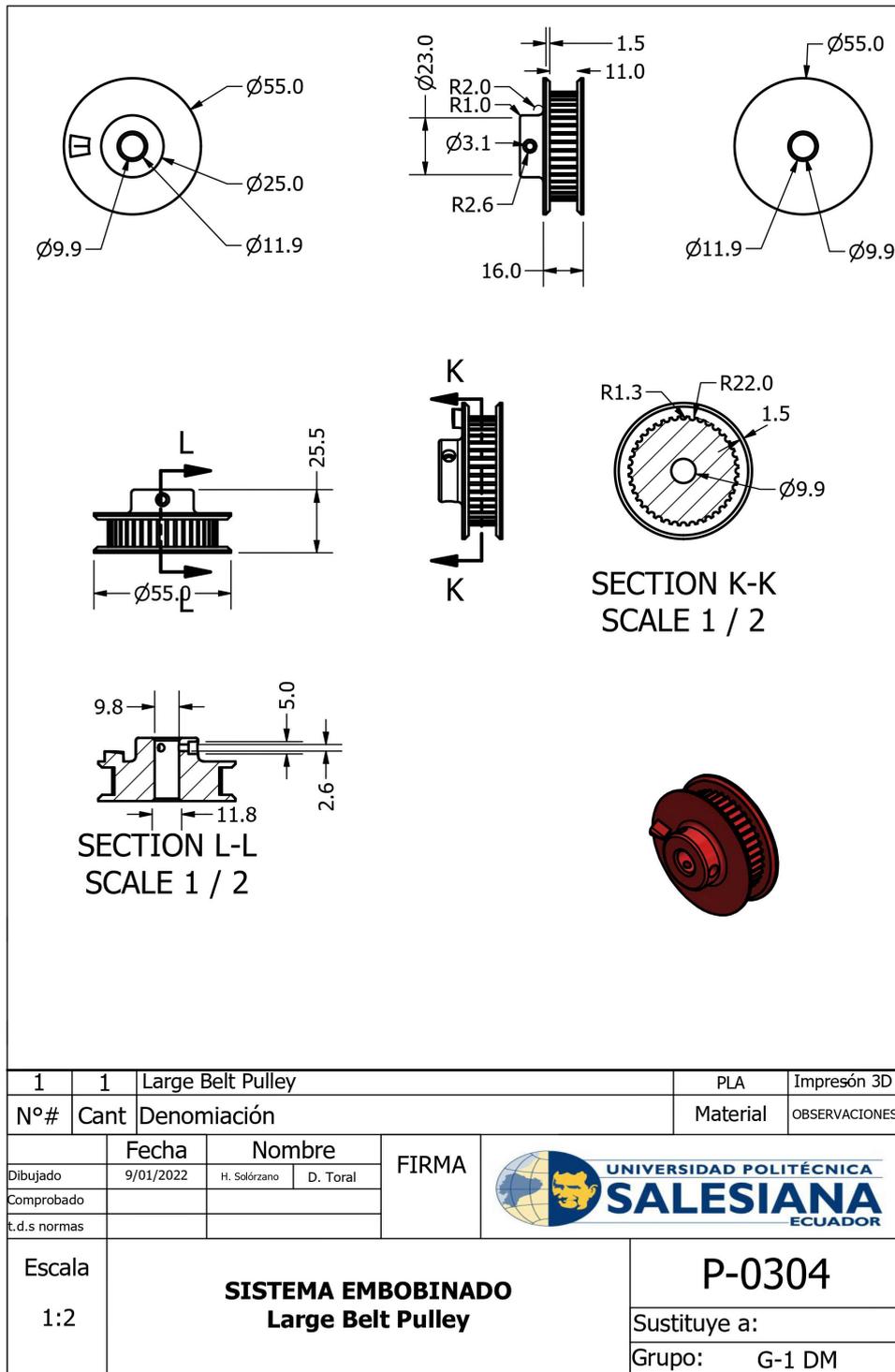


Figura 74. Plano del Sistema de Embobinado / Large Belt Pulley realizado en Inventor 2019

W. Plano del Plato de Soporte

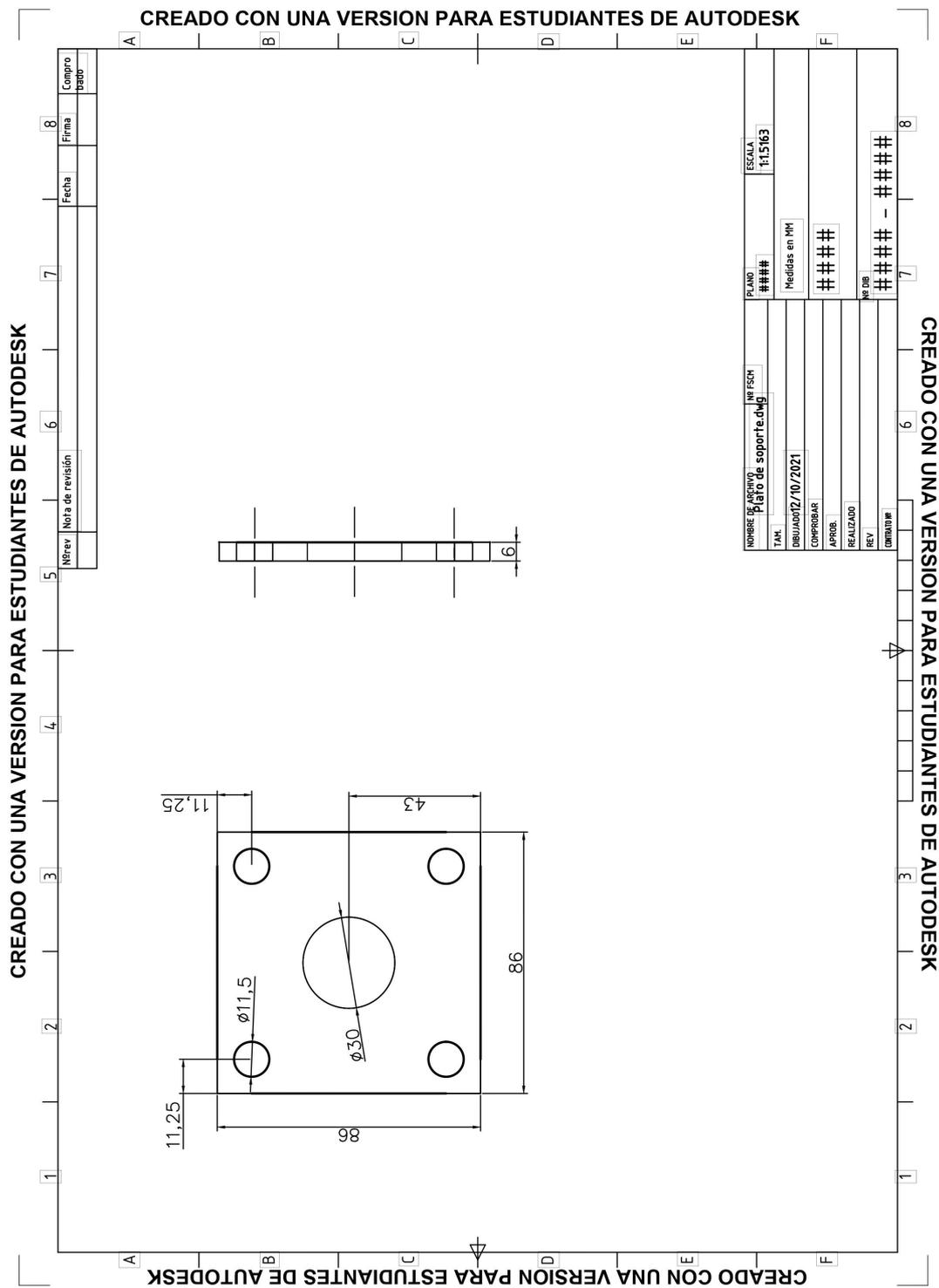
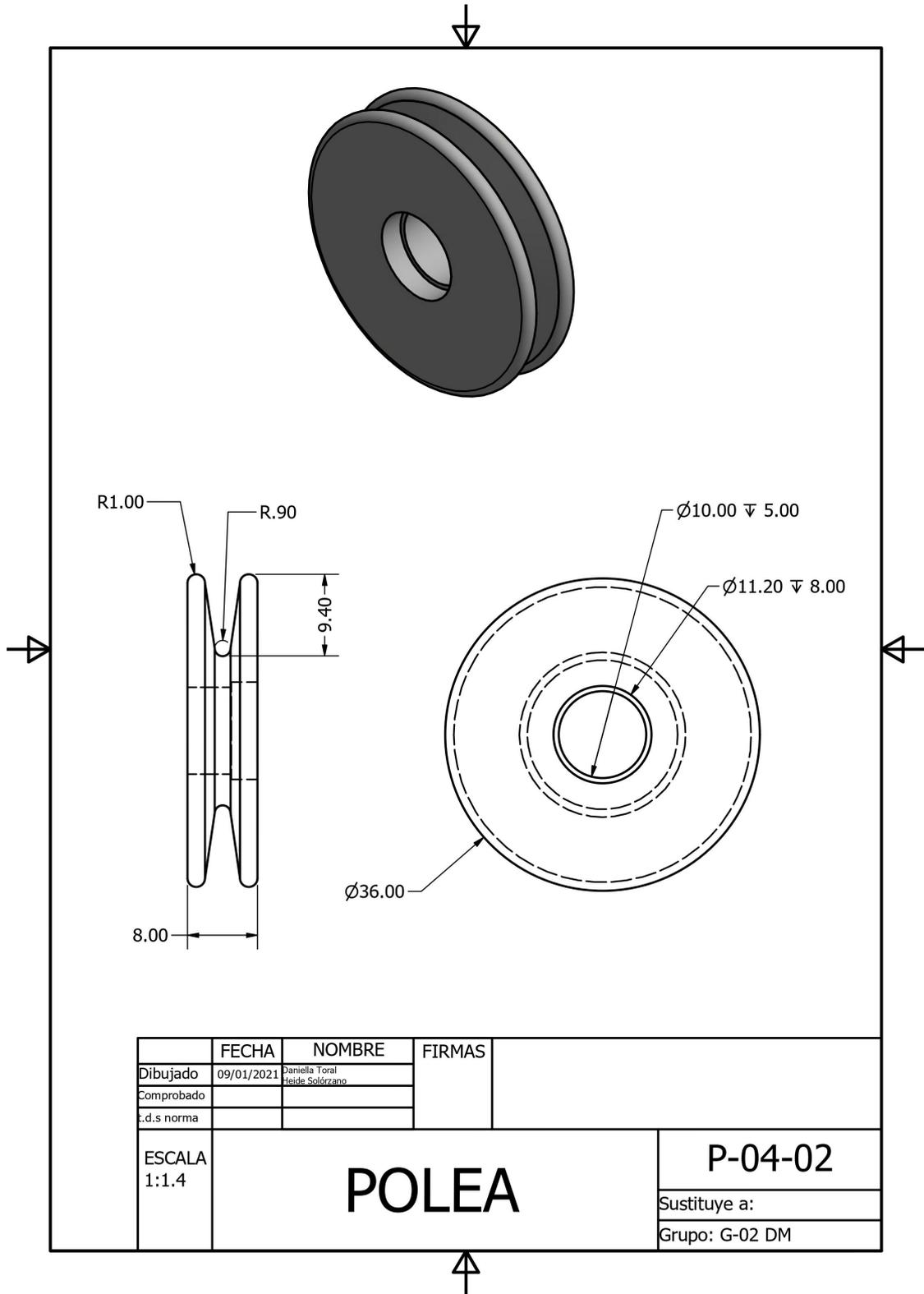


Figura 75. Plano del Plato de Soporte realizado en la versión para estudiantes de Autodesk

Y. Plano de la polea



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	
Dibujado	09/01/2021	Daniella Toral Heide Solórzano		
Comprobado				
E.d.s norma				
ESCALA 1:1.4	POLEA			P-04-02
				Sustituye a:
				Grupo: G-02 DM

Figura 77. Plano de polea realizado en Inventor 2019

Z. Plano de la Guía de Tensionado / Base de Guía

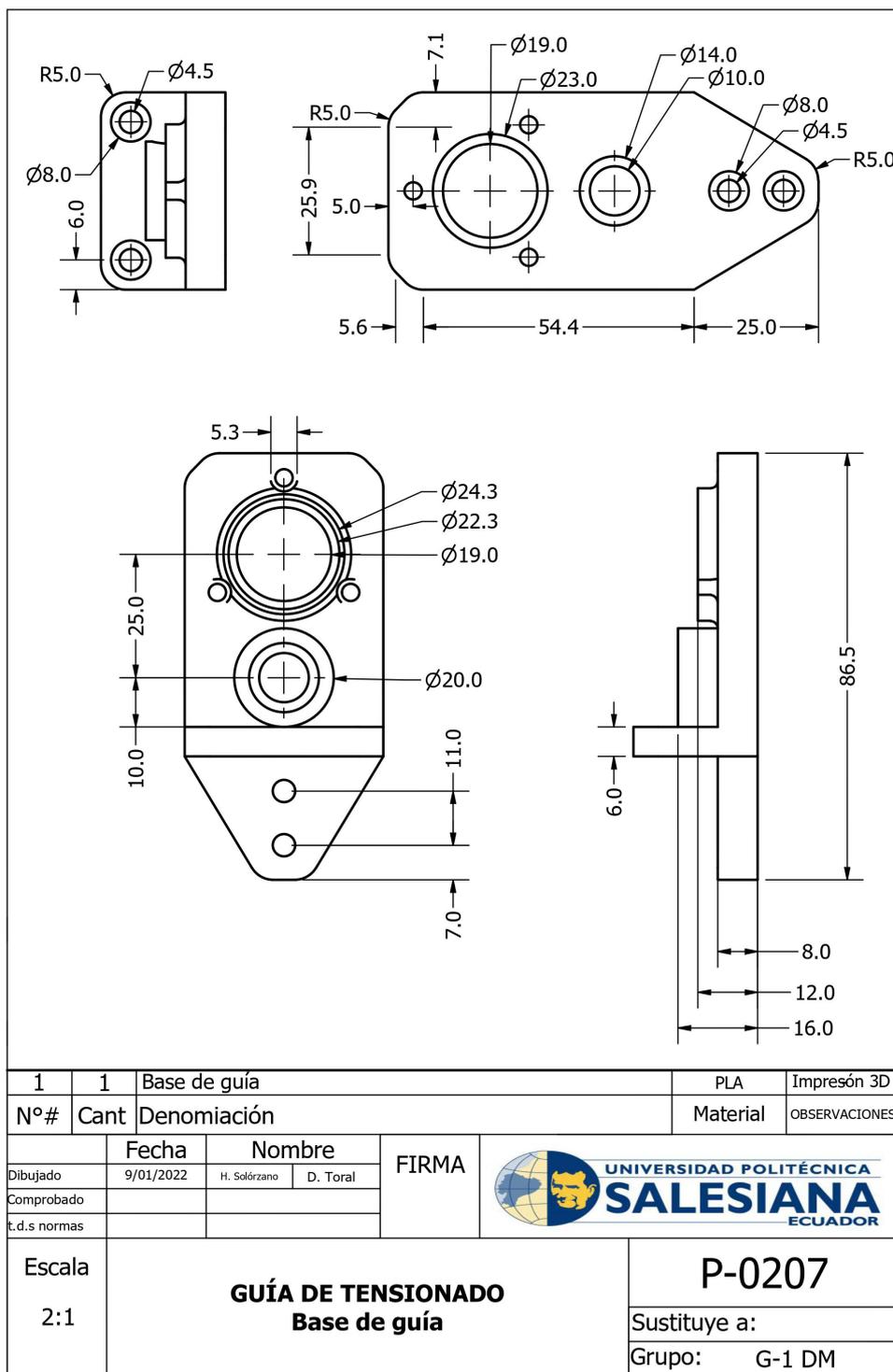


Figura 78. Plano de la Guía de Tensionado / Base de Guía realizado en Inventor 2019

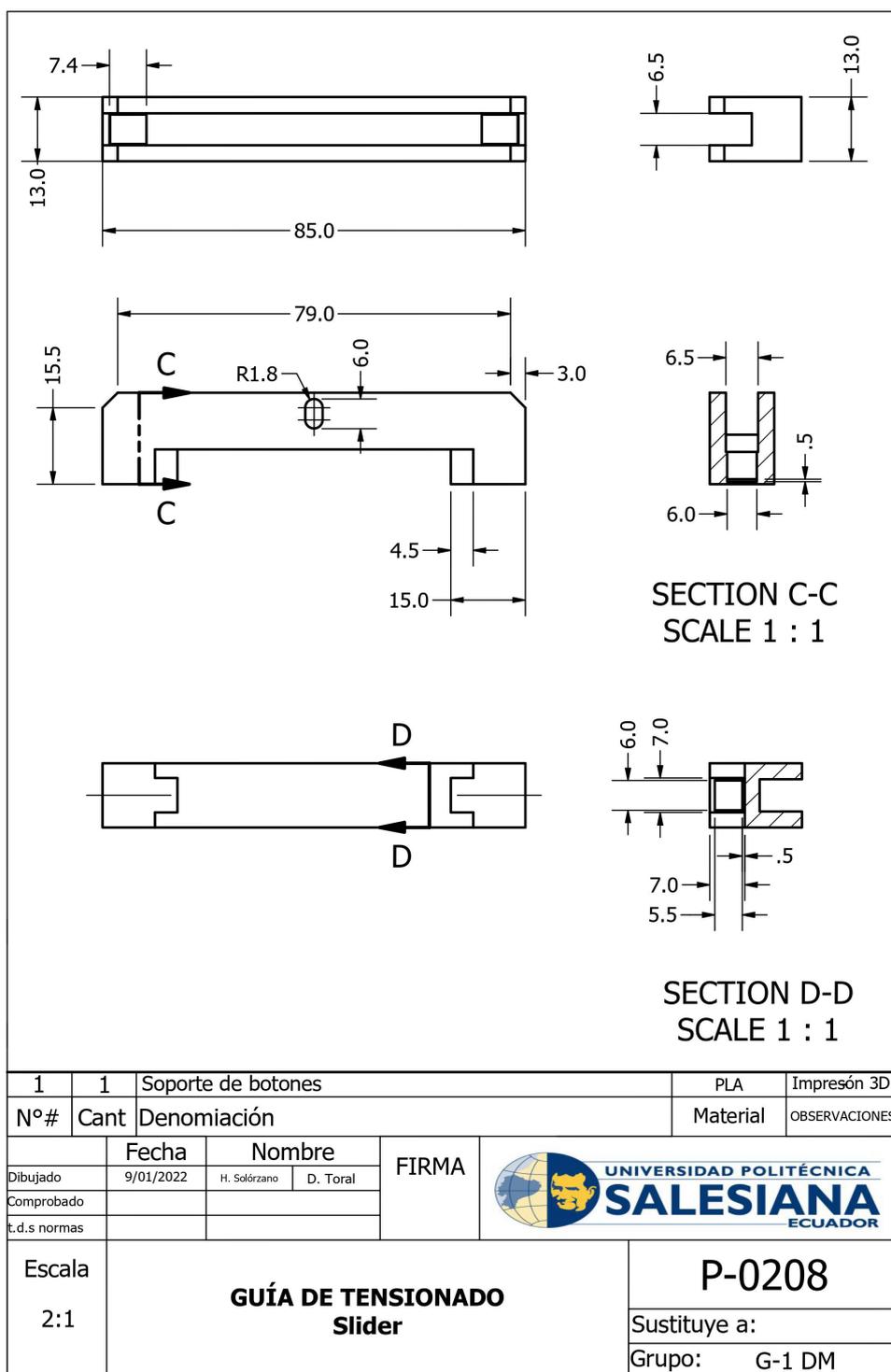


Figura 79. Plano de la Guía de Tensionado / Slider realizado en Inventor 2019

Plano del Soporte de Polea

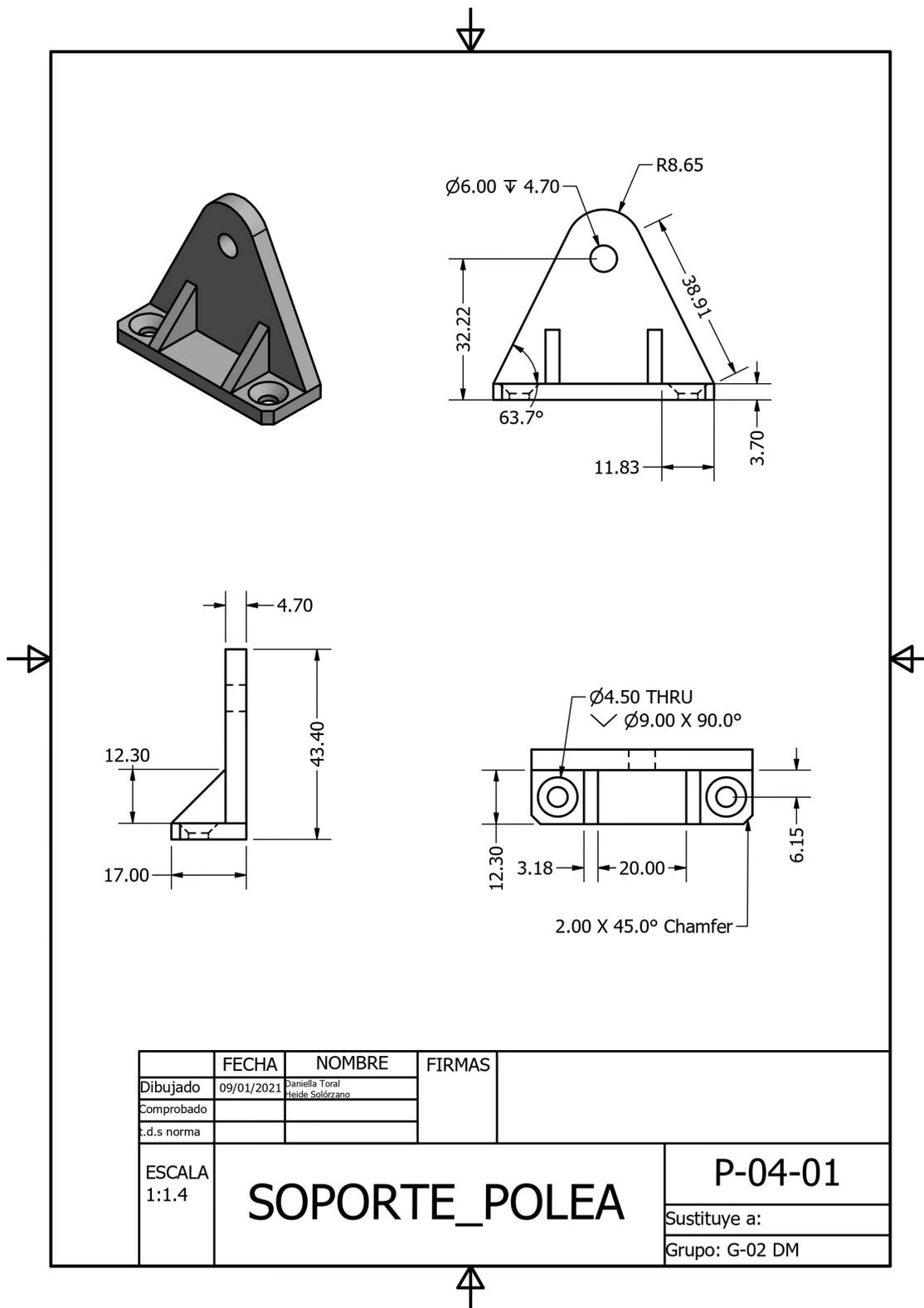


Figura 80. Plano del Soporte de Polea realizado en Inventor 2019

. Plano de los Spooler Hubs

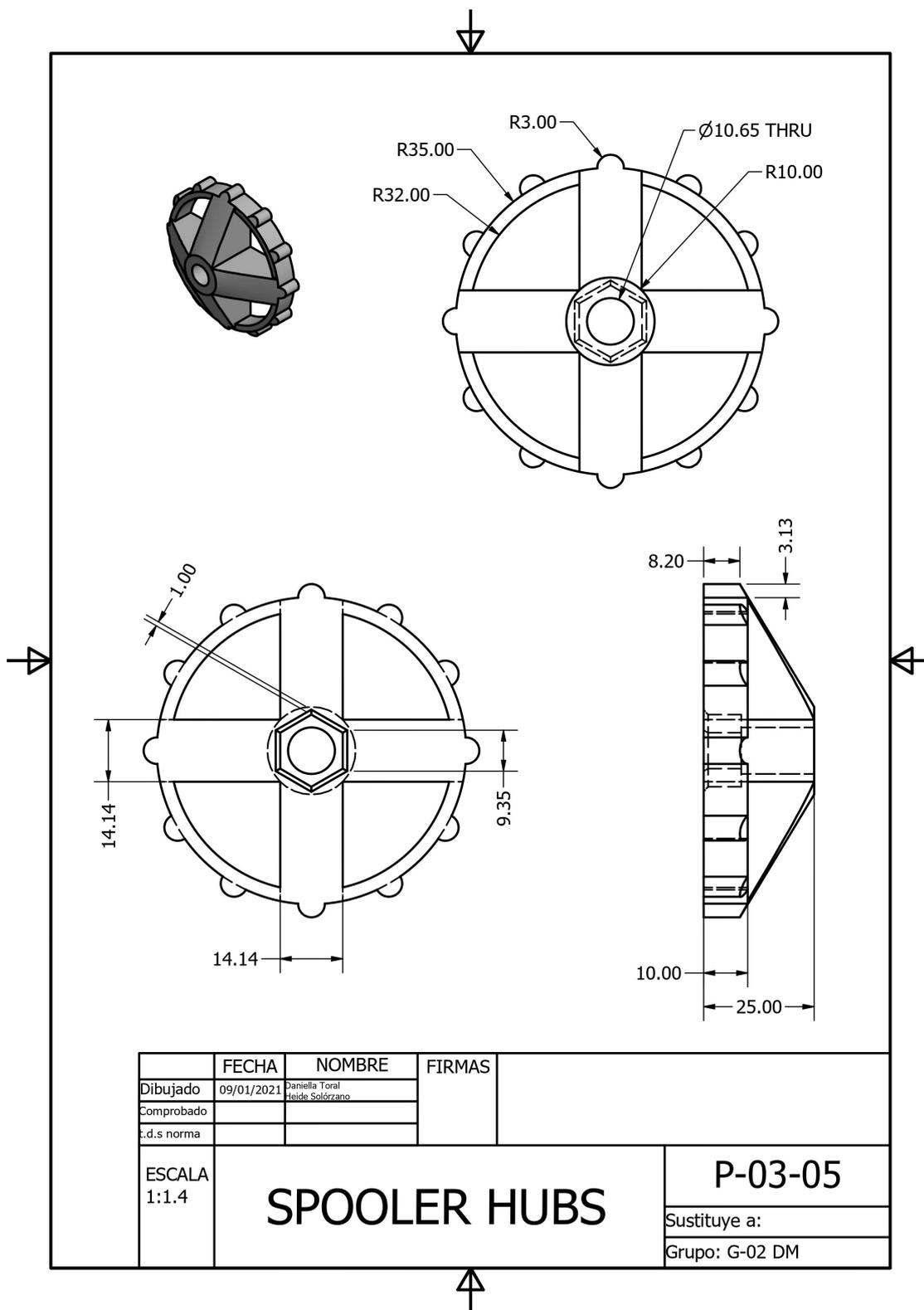


Figura 81. Plano de los Spooler Hubs realizado en Inventor 2019

. Plano de la Tolva

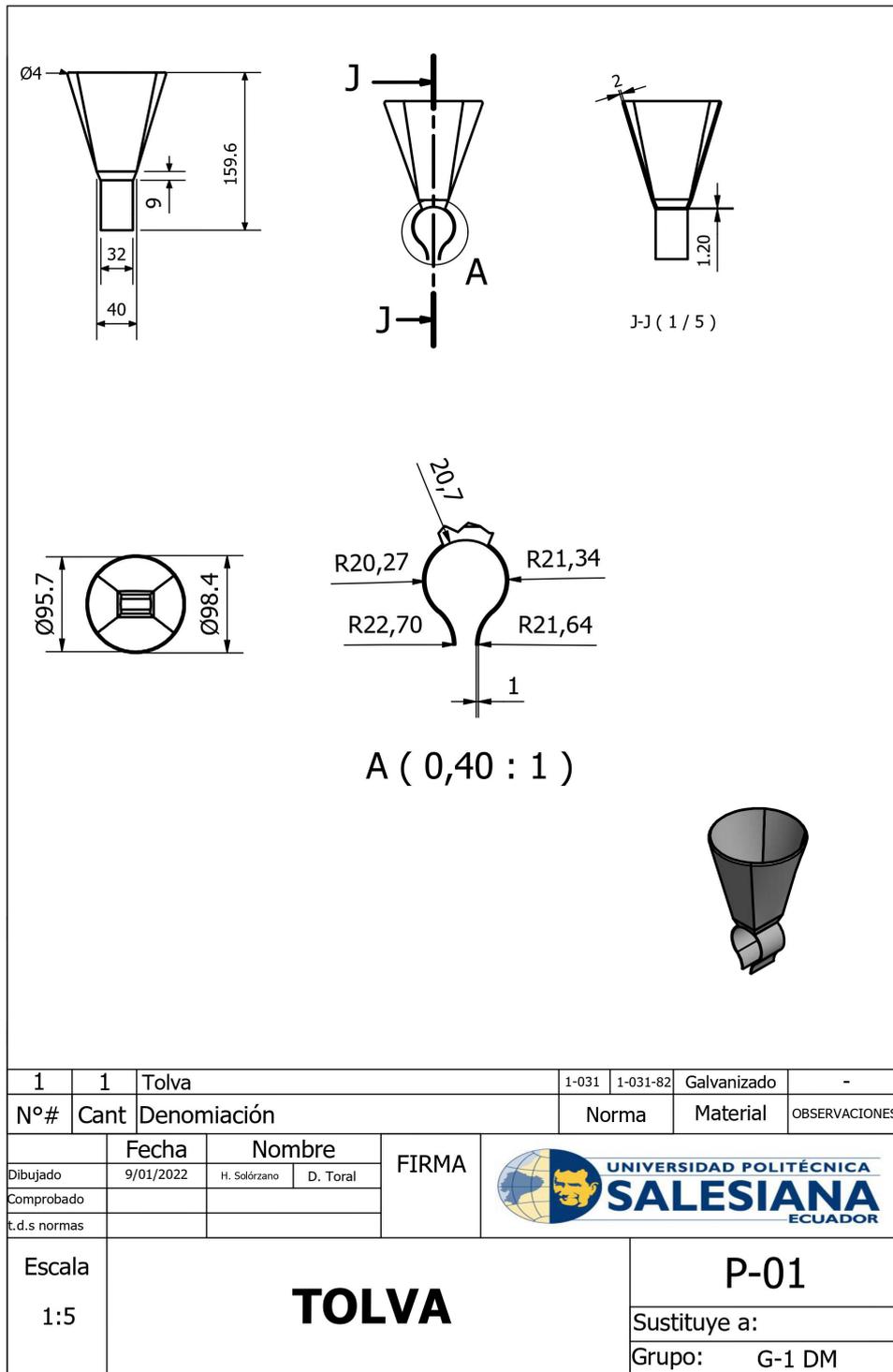


Figura 82. Plano de la Tolva realizado en Inventor 2019

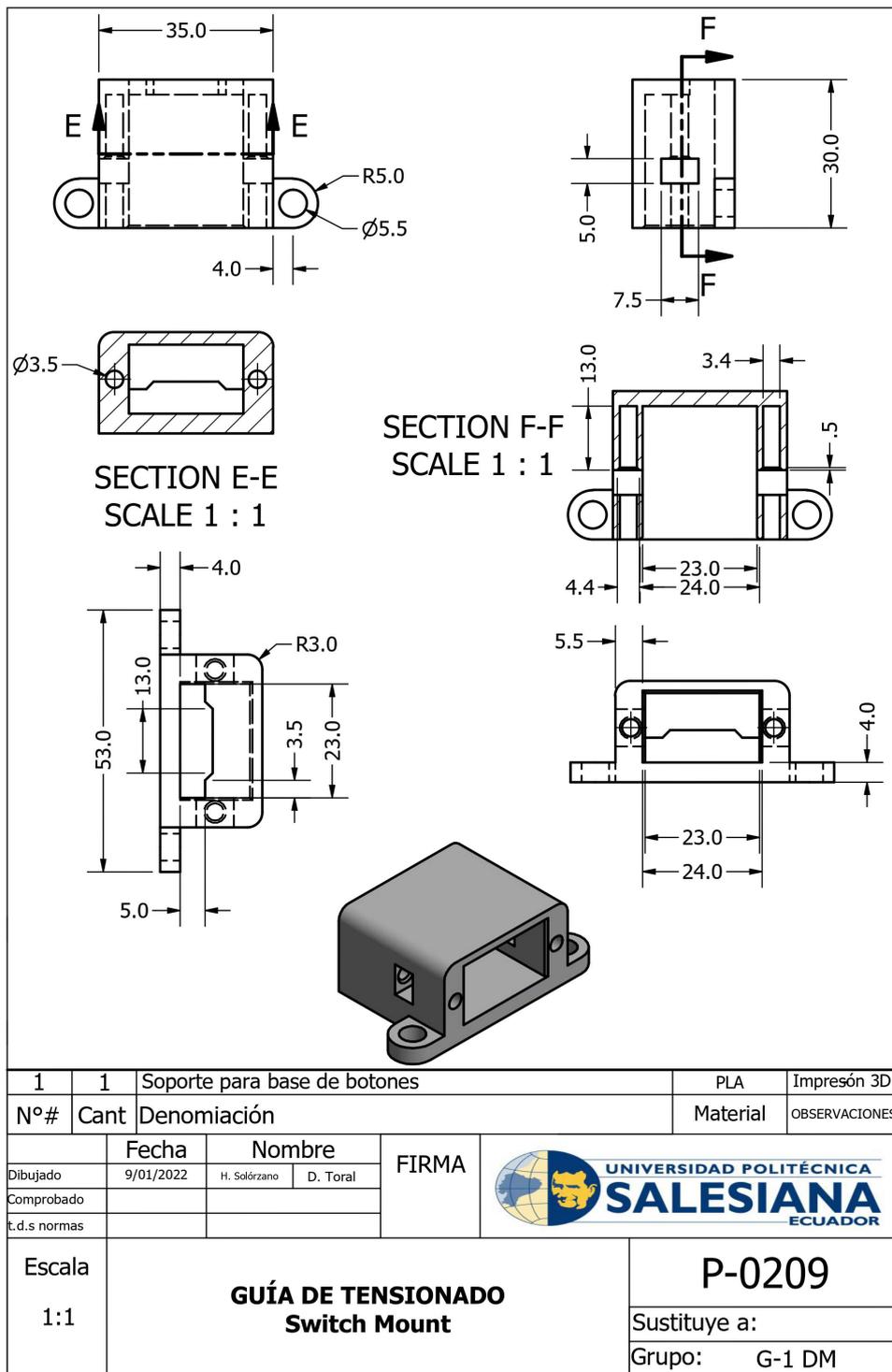


Figura 83. Plano de la Guía de Tensionado / Slider realizado en Inventor 2019

. Plano del Sistema de Embobinado / Winder DC Bearing Tower

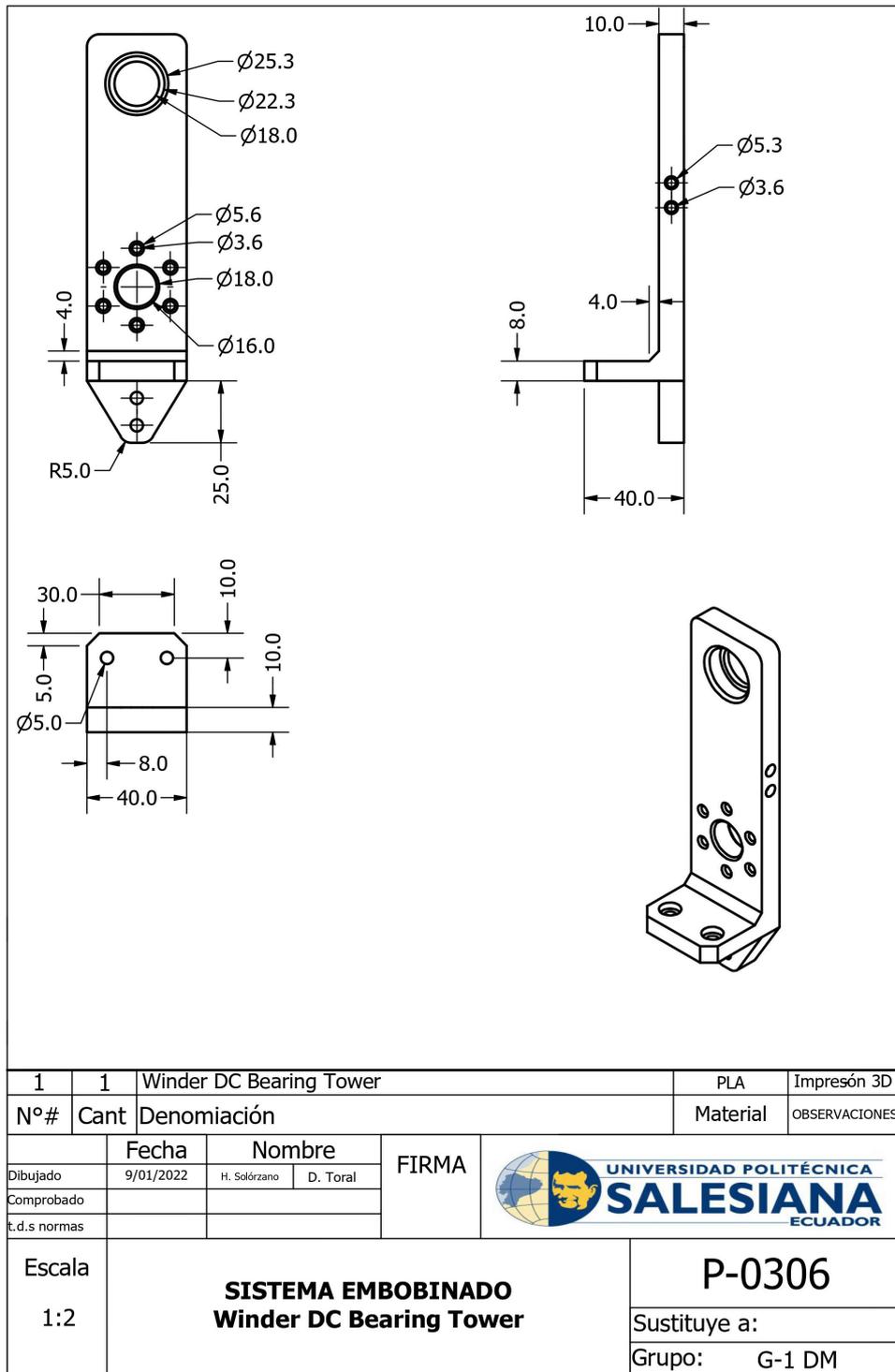


Figura 84. Plano del Sistema de Embobinado / Winder DC Bearing Tower realizado en Inventor 2019

. Plano de la Base de la Cámara de Humedad

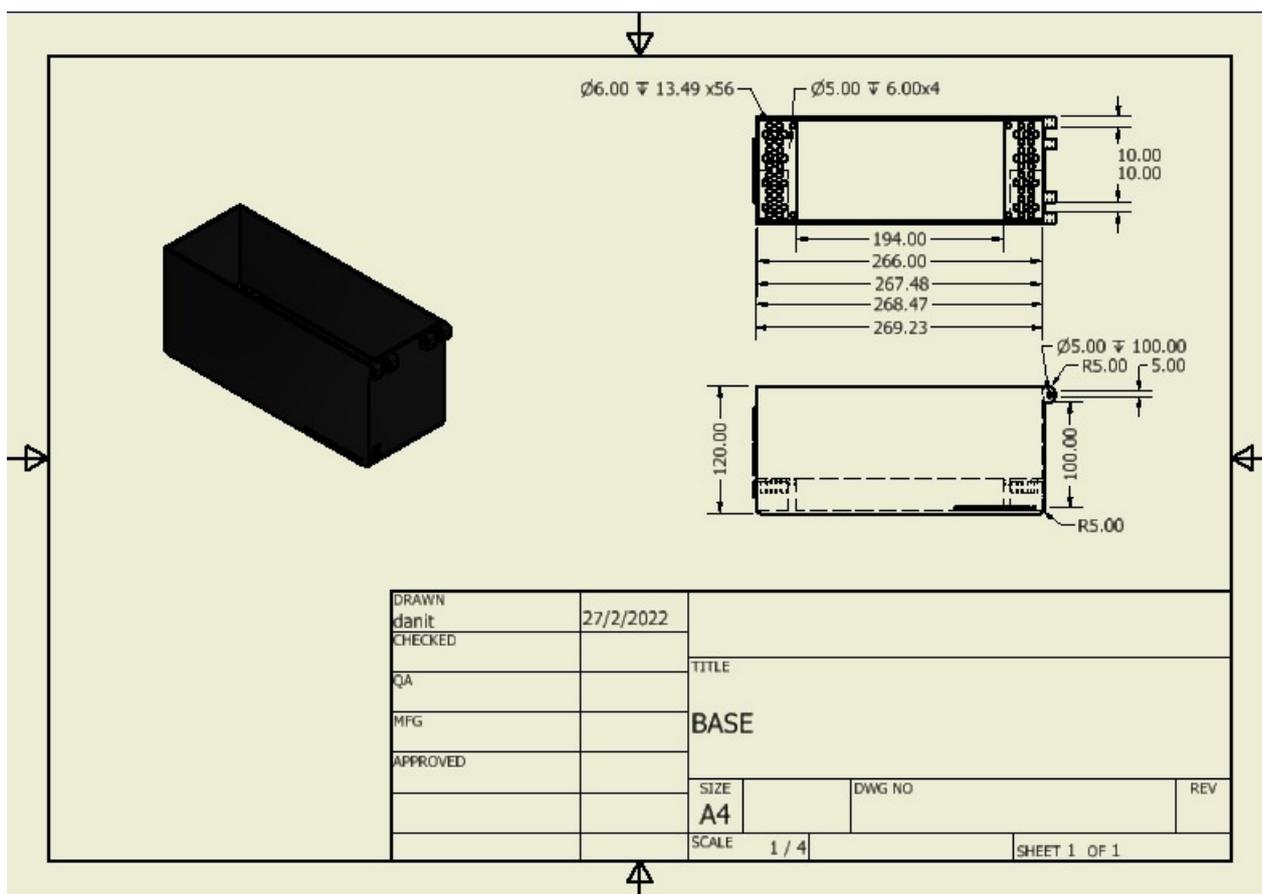


Figura 85. Plano de la Base de la Cámara de Humedad realizado en Inventor 2019

. Plano de la Tapa de la Cámara de Humedad

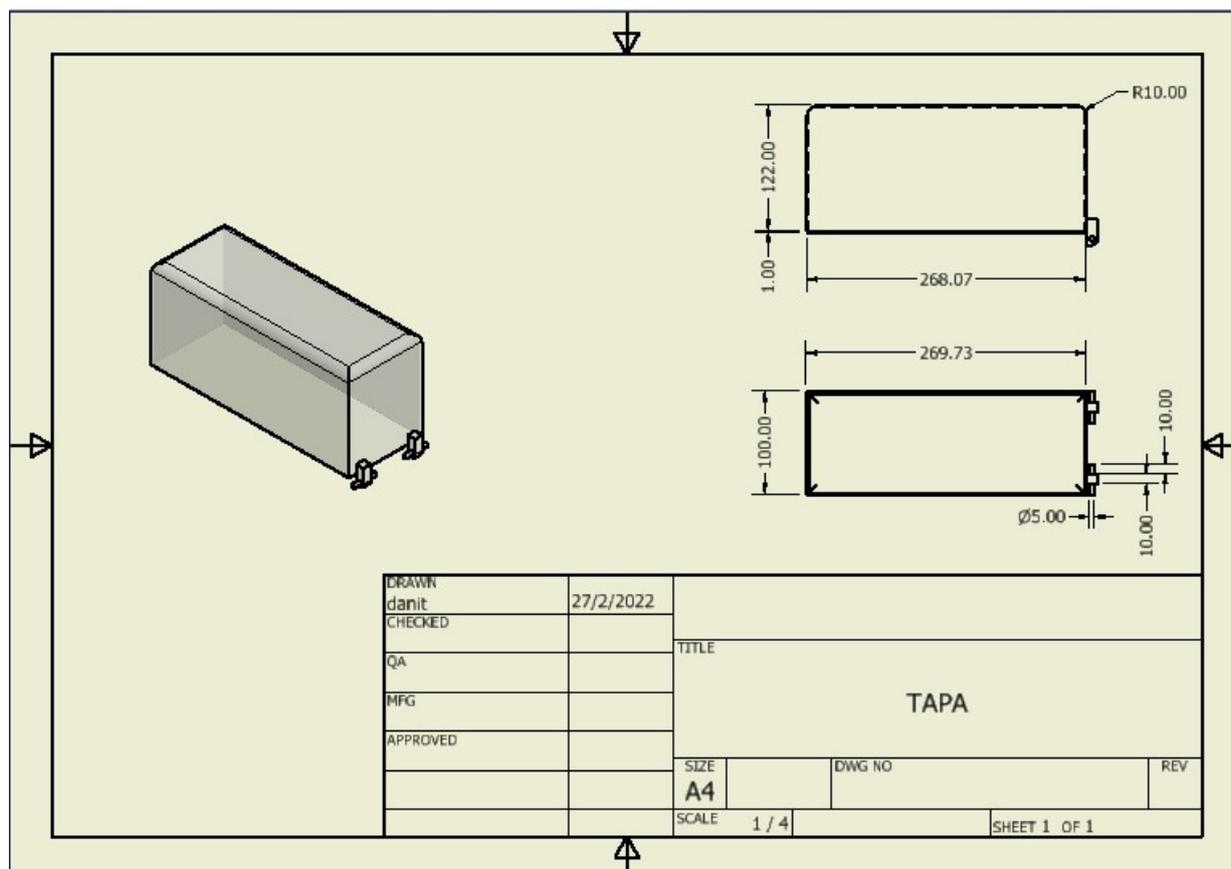


Figura 86. Plano de la Tapa de la Cámara de Humedad realizado en Inventor 2019