

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**DISEÑO DE UNA MÁQUINA ORIENTADA A LA PRODUCCIÓN  
DE PELLETS DE PET RECICLADO**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico**

**AUTOR:**

Brandon Giovanni Vega Soria

**ASESOR:**

Víctor Sergio Girón Medina

Lima, octubre, 2023


## Informe de Similitud

Yo, Victor Girón Medina, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada DISEÑO DE UNA MÁQUINA ORIENTADA A LA PRODUCCIÓN DE PELLETS DE PET RECICLADO, del autor Brandon Giovanni Vega Soria, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 18%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 14/03/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima 14 de marzo del 2023

Apellidos y nombres del asesor: <u>Girón Medina, Victor Sergio</u>	
DNI: 09072636	Firma 
ORCID: 0000-0003-1045-8106	

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación es planteado con el objetivo de diseñar una máquina recicladora de plástico PET, proveniente en su mayoría de botellas hechas de este material, los cuales son uno de los desechos más abundantes en océanos y playas. Se determinó que el sistema mecatrónico diseñado tendrá como materia prima escamas de PET previamente lavadas y secas, las cuales serán calentadas, extruidas y cortadas para formar los pellets.

Este diseño permite que la máquina pueda producir como máximo 80 kg de pellets por hora, a partir de 78 kg de escamas y 2 kg de masterbatch. Estos pellets, con  $\sigma_{\text{tracción}} = 32.5 \text{ MPa}$  y  $\sigma_{\text{flexión}} = 63 \text{ Mpa}$  (Sara Madadi, 2014), podrán ser utilizados para la producción de otros materiales, como, filamentos de impresión 3D, hilos de poliéster, etc.

Con este fin, se elabora una matriz morfológica para la obtención de diferentes conceptos de solución, a los cuales se les realiza un análisis técnico y económico para determinar el concepto de solución óptimo. Luego, una vez obtenido el concepto de solución óptimo, se realizan cálculos para el diseño de los diferentes elementos que componen el sistema mecatrónico, así como para la selección de materiales, sensores y actuadores.

Asimismo, el sistema diseñado tiene la posibilidad de ser utilizado para el reciclado de otros tipos de plástico que tengan propiedades mecánicas y físicas similares al PET, pero siempre realizando una limpieza previa de la máquina, evitando de esta forma residuos de material no deseado en el producto final.

## AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por su cariño y apoyo en todo a lo largo de mi formación personal y profesional, y por ser ejemplo de valentía y perseverancia para afrontar las adversidades de la vida.

A mi padre, que en paz descansa, por sus enseñanzas, sus consejos, sus valores, y por su apoyo incondicional en todo momento mientras estuvo a mi lado.

A mis primos y tíos, por siempre haberme acompañado y apoyado durante mi estadía en la ciudad de Lima.

A mi novia, por siempre haber estado a mi lado, y por haber sido el pilar para nunca rendirme a lo largo de mi formación profesional.

A mi asesor, el Mg. Victor Girón, por su tiempo, apoyo, paciencia y sabiduría durante el desarrollo de este proyecto de tesis.

A mis amigos y compañeros, por los buenos momentos y conocimientos compartidos durante mi vida universitaria.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES.....	5
1.1 Reciclaje de plásticos.....	5
1.1.1 Reciclaje primario.....	5
1.1.2 Reciclaje secundario.....	5
1.1.3 Reciclaje terciario.....	6
1.1.4 Reciclaje cuaternario.....	6
1.2 Elementos fabricados a partir de pellets de PET reciclado.....	6
1.2.1 Filamentos para la impresión 3D.....	6
1.2.2 Fibras utilizadas en la industria textil.....	8
CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE.....	9
2.1 Máquinas extrusoras – peletizadoras de plástico.....	9
2.1.1 Sistema extrusor.....	9
2.1.1.1 Husillo simple.....	9
2.1.1.2 Husillo doble.....	10
2.1.2 Sistema de corte.....	11
2.1.2.1 Cuchilla tipo fresa cilíndrica.....	11
2.1.2.2 Cuchilla tipo estrella.....	11
2.2 Máquinas extrusoras – peletizadoras comerciales.....	12
2.2.1 Máquina extrusora – peletizadora bajo el agua marca HS.....	12
2.2.2 Máquina extrusora – peletizadora marca Fosita.....	12
2.2.3 Máquina extrusora – peletizadora bajo el agua marca Wanrooetech.....	13
2.3 Patentes.....	15
2.3.1 Underwater pelletizer.....	15
2.3.2 Plastic pelletizer.....	17
2.3.3 Underwater pelletizer and heat exchanger die plate.....	19
2.4 Investigaciones de máquinas recicladoras de plástico.....	21
2.4.1 Diseño y construcción del transportador de tornillo sin fin para materiales al granel.....	21
2.4.2 Diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamentos de plástico ABS para la impresión 3D en la PUCP.....	21
2.4.3 Diseño de un sistema de extrusión – peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la Empresa Municipal de la ciudad de Cuenca EMAC.....	22
CAPÍTULO 3 DISEÑO CONCEPTUAL.....	23
3.1 Requerimientos del sistema.....	23
3.1.1 Función principal.....	23
3.1.2 Materia prima.....	23

3.1.3 Geometría.....	23
3.1.4 Cinemática.....	24
3.1.5 Fuerza.....	24
3.1.6 Energía.....	24
3.1.7 Materiales.....	24
3.1.8 Señales.....	24
3.1.9 Control.....	24
3.1.10 Software.....	25
3.1.11 Comunicación.....	25
3.1.12 Seguridad.....	25
3.1.13 Ergonomía.....	25
3.1.14 Fabricación.....	25
3.1.15 Montaje.....	25
3.1.16 Uso.....	26
3.1.17 Mantenimiento.....	26
3.1.18 Transporte.....	26
3.2 Estructura de funciones.....	27
3.2.1 Caja negra.....	27
3.2.2 Función principal.....	28
3.2.3 Secuencia de operaciones.....	28
3.2.3.1 Preparación.....	29
3.2.3.2 Ejecución.....	29
3.2.3.3 Control.....	29
3.2.3.4 Fase final.....	29
3.2.4 Dominio mecánico.....	29
3.2.5 Dominio eléctrico – electrónico.....	30
3.2.6 Dominio de control.....	31
3.2.7 Estructura de funciones global de la máquina.....	32
3.3 Matriz morfológica.....	34
3.3.1 Dominio mecánico.....	34
3.3.2 Dominio eléctrico – electrónico.....	35
3.3.3 Dominio de control.....	36
3.3.4 Conceptos de solución.....	37
3.3.5 Concepto de solución óptimo.....	38
<b>CAPÍTULO 4 INGENIERÍA DE DETALLE DEL SISTEMA MECÁNICO.....</b>	<b>40</b>
4.1 Sistema de suministro de escamas de PET.....	40
4.1.1 Tolva de alimentación.....	41
4.1.2 Cilindro escamas.....	41
4.1.3 Tornillo transportador.....	42
4.1.4 Motor DC.....	43
4.2 Sistema de suministro de masterbatch.....	43
4.2.1 Tolva de alimentación.....	44
4.2.2 Cilindro.....	45
4.2.3 Tornillo transportador.....	46
4.2.4 Motor DC.....	47
4.3 Sistema de extrusión.....	48
4.3.1 Tolva de alimentación.....	49
4.3.2 Matriz de extrusión.....	50
4.3.3 Husillo extrusor.....	51

4.3.4	Cámara de fundición.....	53
4.3.5	Motor AC.....	54
4.3.6	Resistencia calentadora.....	55
4.4	Sistema de corte.....	56
4.4.1	Eje de la porta cuchillas.....	56
4.4.2	Cuchilla.....	57
4.4.3	Motor AC.....	58
4.5	Panel de control.....	59
CAPÍTULO 5 INGENIERÍA DE DETALLE DEL SISTEMA DE CONTROL.....		60
5.1	Diagrama de operaciones.....	60
5.2	Lógica de control.....	61
5.2.1	Lazo principal.....	61
5.2.2	Subprograma Configuración inicial.....	63
5.2.3	Subprograma Iniciar sistema.....	63
5.2.4	Subprograma Calentar sistema de extrusión.....	64
5.2.5	Subprograma Controlar temperatura del sistema de extrusión.....	65
5.2.6	Subprograma Controlar suministro de escamas.....	66
5.2.7	Subprograma Controlar suministro de masterbatch.....	67
5.2.8	Subprograma Controlar velocidad de extrusión.....	67
5.2.9	Subprograma Controlar velocidad de corte.....	68
5.3	Arquitectura del hardware eléctrico – electrónico.....	68
5.4	Dispositivos eléctricos y electrónicos para el sistema.....	69
5.4.1	Interruptor giratorio.....	69
5.4.2	Pulsadores.....	70
5.4.3	Luces piloto LED.....	72
5.4.4	Termocupla.....	73
5.4.5	Controlador de temperatura.....	74
5.4.6	Encoder óptico.....	75
5.4.7	Variador de frecuencia (Motor de extrusión).....	76
5.4.8	Motor AC (Sistema de extrusión).....	77
5.4.9	Variador de frecuencia (Motor de corte).....	78
5.4.10	Motor AC (Sistema de corte).....	79
5.4.11	Driver motor DC (Motor de suministro de escamas).....	80
5.4.12	Motor DC (Sistema de suministro de escamas).....	81
5.4.13	Driver motor DC (Motor de suministro de masterbatch).....	83
5.4.14	Motor DC (Sistema de suministro de masterbatch).....	84
5.4.15	Transformador trifásico 380 VAC – 220 VAC.....	85
5.4.16	Fuente conmutada.....	86
5.4.17	Interruptor termomagnético.....	87
CAPÍTULO 6 ESTIMACIÓN DE COSTOS.....		89
CONCLUSIONES.....		93
RECOMENDACIONES.....		94
BIBLIOGRAFÍA.....		95
ANEXOS.....		99

## ÍNDICE DE TABLAS

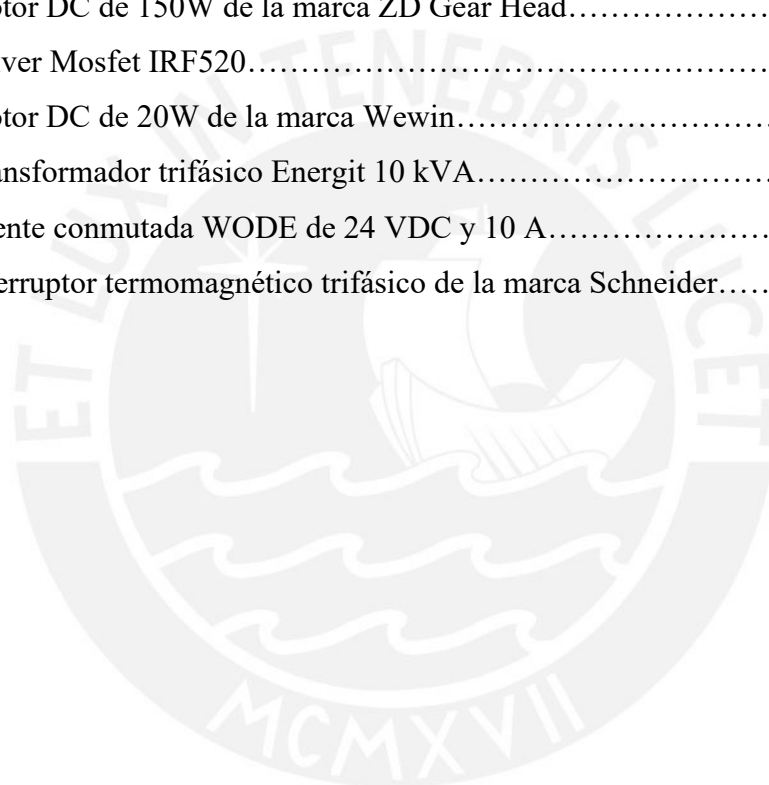
Tabla 1	Tabla comparativa de plásticos utilizados en la impresión 3D.....	7
Tabla 2	Tabla comparativa de fibras utilizadas en la industria textil.....	8
Tabla 3	Tabla comparativa de máquinas extrusoras – peletizadoras comerciales.....	14
Tabla 4	Resumen de los requerimientos de la máquina.....	26
Tabla 5	Matriz morfológica del dominio mecánico.....	34
Tabla 6	Matriz morfológica del dominio eléctrico – electrónico.....	35
Tabla 7	Matriz morfológica del dominio de control.....	36
Tabla 8	Valores de los parámetros del husillo de extrusión.....	52
Tabla 9	Tabla comparativa de interruptores giratorios.....	70
Tabla 10	Tabla comparativa de pulsadores.....	71
Tabla 11	Tabla comparativa de luces piloto LED.....	72
Tabla 12	Tabla comparativa de tipos de termocupla.....	73
Tabla 13	Tabla comparativa de controladores de temperatura.....	74
Tabla 14	Tabla comparativa de encoders de tipo incremental.....	75
Tabla 15	Tabla comparativa de variadores de frecuencia.....	76
Tabla 16	Tabla comparativa de motores de corriente alterna.....	77
Tabla 17	Tabla comparativa de variadores de frecuencia.....	78
Tabla 18	Tabla comparativa de motores de corriente alterna.....	80
Tabla 19	Tabla comparativa de drivers de motores DC.....	81
Tabla 20	Tabla comparativa de motores de corriente continua.....	82
Tabla 21	Tabla comparativa de drivers de motores DC.....	83
Tabla 22	Tabla comparativa de motores de corriente continua.....	84
Tabla 23	Tabla comparativa de transformadores trifásicos.....	85
Tabla 24	Tabla comparativa de fuentes conmutadas.....	86
Tabla 25	Tabla comparativa de interruptores termomagnéticos.....	87
Tabla 26	Costos de adquisición de elementos del sistema mecánico.....	90
Tabla 27	Costos de mecanizado de elementos mecánicos.....	90
Tabla 28	Costos de adquisición de elementos del sistema eléctrico – electrónico.....	91
Tabla 29	Costo total del sistema mecatrónico diseñado.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Isla de basura en el Océano Pacífico.....	2
Figura 2 Objetos de plástico en océanos y playas.....	2
Figura 3 La contaminación del plástico no entiende fronteras.....	3
Figura 4 Máquina extrusora de husillo simple.....	10
Figura 5 Máquina extrusora de doble husillo.....	10
Figura 6 Cuchillas cilíndrica para peletizadora.....	11
Figura 7 Cuchilla estrella para peletizadora.....	12
Figura 8 Máquina extrusora – peletizadora bajo el agua modelo TSE.....	12
Figura 9 Máquina extrusora – peletizadora modelo FST.....	13
Figura 10 Máquina extrusora – peletizadora modelo PNHS.....	13
Figura 11 Sección horizontal que muestra la placa matriz y cámara de agua.....	16
Figura 12 Sección vertical tomada longitudinalmente del extrusor.....	18
Figura 13 Sección transversal de la placa matriz y la estructura de baño de agua.....	20
Figura 14 Tornillo transportador diseñado.....	21
Figura 15 Máquina recicladora de piezas fabricadas con ABS.....	22
Figura 16 Máquina extrusora – peletizadora de plástico PET.....	22
Figura 17 Caja negra del sistema.....	28
Figura 18 Estructura de funciones del dominio mecánico.....	30
Figura 19 Estructura de funciones del dominio eléctrico – electrónico.....	31
Figura 20 Estructura de funciones del dominio de control.....	32
Figura 21 Estructura de funciones global de la máquina.....	33
Figura 22 Concepto de solución óptimo.....	39
Figura 23 Sistema de suministro de escamas diseñado.....	40
Figura 24 Tolva de alimentación – sistema de suministro de escamas.....	41
Figura 25 Cilindro de alimentación – sistema de suministro de escamas.....	42
Figura 26 Tornillo transportador – sistema de suministro de escamas.....	42
Figura 27 Motor DC de 150 W y 110 rpm.....	43
Figura 28 Sistema de suministro de masterbatch diseñado.....	44
Figura 29 Dimensiones de la tolva – sistema de suministro de masterbatch.....	45
Figura 30 Tolva de alimentación – sistema de suministro de masterbatch.....	45

Figura 31 Apoyo y rodamientos del cilindro – sistema de suministro de masterbatch...	46
Figura 32 Cilindro de alimentación – sistema de suministro de masterbatch.....	46
Figura 33 Apoyos y dimensiones del tornillo transportador – sistema de suministro de masterbatch.....	47
Figura 34 Tornillo transportador – sistema de suministro de masterbatch.....	47
Figura 35 Motor DC de 20 W y 15 rpm.....	48
Figura 36 Sistema de extrusión diseñado.....	49
Figura 37 Dimensiones de la tolva – sistema de extrusión.....	50
Figura 38 Tolva de alimentación – sistema de extrusión.....	50
Figura 39 Matriz de extrusión.....	51
Figura 40 Vista general de un husillo de extrusión.....	52
Figura 41 Zonas del husillo y la presión a la cual se encuentra sometido.....	52
Figura 42 Husillo extrusor.....	53
Figura 43 Apoyos y dimensiones de la cámara de fundición.....	54
Figura 44 Cámara de fundición.....	54
Figura 45 Motor AC de 3.7 kW y 30 rpm.....	55
Figura 46 Resistencia de 2kW y largo 160 mm.....	55
Figura 47 Sistema de corte diseñado.....	56
Figura 48 Dimensiones principales del eje de las portacuchillas.....	57
Figura 49 Eje de las portacuchillas.....	57
Figura 50 Dimensiones de la cuchilla diseñada.....	58
Figura 51 Cuchilla de corte.....	58
Figura 52 Motor AC de 1.5 kW y 600 rpm.....	59
Figura 53 Panel de control.....	59
Figura 54 Diagrama de operaciones del sistema mecatrónico.....	60
Figura 55 Lazo principal del sistema.....	62
Figura 56 Subprograma Configuración inicial.....	63
Figura 57 Subprograma Iniciar sistema.....	64
Figura 58 Subprograma Calentar sistema de extrusión.....	65
Figura 59 Subprograma Controlar suministro de escamas.....	66
Figura 60 Subprograma Controlar velocidad de extrusión.....	68
Figura 61 Arquitectura del hardware eléctrico – electrónico.....	69
Figura 62 Interruptor giratorio de 4 posiciones de la marca ONEVAN.....	70
Figura 63 Pulsadores de la marca RUNCCI.....	71

Figura 64 Luces piloto LED de la marca Electro DH.....	73
Figura 65 Termocupla tipo K con perno rotativo de la marca Eurocontrol.....	74
Figura 66 Controlador de temperatura REX C – 100.....	75
Figura 67 Encoder óptico de la marca E – tech Industrial.....	76
Figura 68 Variador de frecuencia de la marca Shihlin.....	77
Figura 69 Motor AC de 3.7kW de la marca LEISON.....	78
Figura 70 Variador de frecuencia de la marca Invt.....	79
Figura 71 Motor AC de 1.5kW de la marca CHBNS.....	80
Figura 72 Driver Mosfet IRF520.....	81
Figura 73 Motor DC de 150W de la marca ZD Gear Head.....	82
Figura 74 Driver Mosfet IRF520.....	84
Figura 75 Motor DC de 20W de la marca Wewin.....	85
Figura 76 Transformador trifásico Energit 10 kVA.....	86
Figura 77 Fuente conmutada WODE de 24 VDC y 10 A.....	87
Figura 78 Interruptor termomagnético trifásico de la marca Schneider.....	88



# INTRODUCCIÓN

## **Problemática**

En la actualidad, el plástico se ha convertido en el material preferido de la industria, debido a que es flexible, y relativamente más económico que el metal; esto generó que se produzca en gran escala y termine inundando de plástico el planeta. Según cifras del Ministerio del Ambiente (MINAM, s.f.), el uso promedio de plásticos en el Perú es de 30 kg (75 000 cm<sup>3</sup>) por persona al año, y, además, solo en Lima Metropolitana y el Callao se generan cerca de 886 toneladas de residuos plásticos al día, los cuales representan el 46% de dichos residuos a nivel nacional. Por lo tanto, la producción de plástico está generando un problema creciente que amenaza el ecosistema.

## **Contaminación de la tierra**

La degradación del plástico tarda cientos de años en el medio ambiente, hasta 1000 años según el tipo de plástico (Elías, 2019). A pesar de que estos puedan ser canalizados y depositados en vertederos, terminan convirtiéndose en una fuente de toxinas y lixiviados, ya que dichos vertederos no cuentan con la capacidad para generar un aislamiento completo; por lo tanto, el plástico durante su tiempo de degradación causa múltiples daños en los ecosistemas.

## **Contaminación del mar**

Según una investigación publicada en la Revista Nature (Lebreton, 2018), la gigantesca isla de basura que se encuentra en el Océano Pacífico está creciendo a gran velocidad; esta isla tiene por lo menos 79 mil toneladas de plástico dentro de un área de 1.6 millones de kilómetros cuadrados. Además, debido a la descomposición de los desechos plásticos en fragmentos pequeños llamados microplásticos, seres microscópicos como el plancton las ingieren, contaminando la cadena alimentaria de la que dependemos. En la Figura 1 se muestra la isla de basura que se encuentra en el océano pacífico, la cual está creciendo a gran velocidad.



Figura 1. Isla de basura en el Océano Pacífico (BBC News Mundo, 2019)

En la Figura 2 se puede observar un gráfico de barras que indica el porcentaje de objetos de plástico en océanos y playas de Estados Unidos.

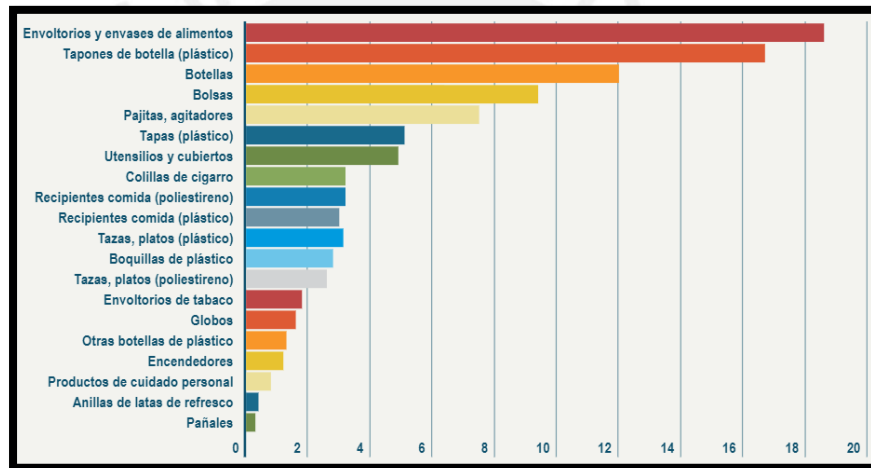


Figura 2. Objetos de plástico en océanos y playas (Rafael, 2018)

Como se puede observar en la figura, las botellas de plástico son el tercer residuo que se encuentran en mayor cantidad en los océanos y playas de Estados Unidos, sin embargo, esto debe ser similar en cualquier parte del mundo, ya que la mayoría de botellas son objetos desechables de un solo uso. Además, según los estudios realizados por la UB (Universidad de Barcelona, 2019), en todas las zonas que estudiaron, el residuo plástico más abundante fue el polietileno (54.5%), seguido del polipropileno (16.5%) y poliestireno (9.7%).

### Contaminación del aire

El plástico es uno de los principales factores de contaminación del medio ambiente; esto no es sólo por la cantidad de gases que se libera durante su fabricación, sino porque también una gran cantidad a nivel mundial termina siendo quemada o incinerada, lo cual genera una enorme

contaminación del aire por la liberación de componentes tóxicos, como metales pesados, dioxinas, furanos, gases ácidos, partículas y dióxido de carbono (Garelli, 2020).

Por lo tanto, si no se busca una solución y se continúa utilizando un material tan duradero para objetos desechables, se producirá consecuencias catastróficas a nivel global.



Figura 3. La contaminación del plástico no entiende de fronteras (Ricardo, 2013)

### **Propuesta de solución**

Como una solución, para reducir la contaminación ambiental que genera el plástico, se propone diseñar una máquina orientada a la producción de pellets de PET <sup>1</sup> reciclado a partir de escamas de plástico previamente lavadas. El proceso de esta máquina será calentar las escamas para que se conviertan en un material viscoso y puedan ser extruidas; luego, los filamentos que salen del sistema de extrusión serán cortados para finalmente obtener los pellets. Estos pellets de PET reciclado podrán ser utilizados como materia prima para la producción de diferentes materiales, por ejemplo, para la fabricación de filamentos que se utilizan en las impresoras 3D, para la fabricación de hilos de poliéster, entre otros.

El presente proyecto tiene como finalidad ayudar a disminuir el impacto del plástico en el medio ambiente, ya que permitirá disminuir la cantidad de residuos que se acumulan en los

---

<sup>1</sup> El PET o tereftalato de polietileno es un tipo de plástico utilizado para fabricar diferentes productos, como envases, botellas, fibra textil, entre otros.

rellenos sanitarios o en el mar. Además, generará oportunidades de negocio para personas que quieran incursionar en el rubro de “Empresas B”<sup>2</sup>.

### **Objetivo general**

Diseñar una máquina capaz de producir pellets de PET reciclado mediante los procesos de extrusión de escamas de plástico y el corte uniforme de los filamentos extruidos.

### **Objetivos específicos**

- Realizar una búsqueda de tecnologías actuales, patentes e investigaciones similares a lo propuesto, para definir costos y capacidad de producción.
- Definir los requerimientos del sistema, para establecer los parámetros necesarios para el cálculo y dimensionamiento de los diferentes mecanismos de la máquina recicladora.
- Elaborar la estructura de funciones del sistema, así como la matriz morfológica, para obtener tres conceptos de solución, a los cuales se les realiza un análisis técnico – económico para determinar el concepto de solución óptimo.
- Diseñar mecanismos óptimos para cada subsistema que permitan cumplir con los requerimientos definidos.
- Diseñar un tablero de control que sea fácil de usar y comprender para el operario de la máquina.
- Diseñar un sistema de control simple, pero que permita el correcto funcionamiento de los diferentes procesos de la máquina.
- Realizar la elección y estimación de costos del sistema mecatrónico diseñado.
- Mostrar las conclusiones y plantear las recomendaciones del sistema.

---

<sup>2</sup> Una “Empresa B” es un tipo de empresa que se enfocan en generar valor con un impacto positivo en el ámbito social y ambiental.

# CAPÍTULO 1

## ANTECEDENTES

En el siguiente capítulo se habla sobre el reciclaje de plásticos en general, y algunos de los elementos que tienen como materia prima los pellets de PET reciclado para su fabricación.

### **1.1 Reciclaje de plásticos**

Como se mencionó líneas atrás, los plásticos son una grave amenaza para el medio ambiente por su utilización masiva y su lenta degradación, por lo cual es necesario buscar soluciones para poder reducir su impacto. Una de estas soluciones es el reciclaje, el cual tiene como propósitos principales la reutilización directa, el reaprovechamiento como materia prima para fabricar nuevos productos y su conversión en combustible.

De acuerdo con la norma ASTM D5033 – 00 (American Society for Testing and Materials, 2010), el reciclaje de plásticos se puede clasificar en cuatro tipos: reciclaje primario, secundario, terciario y cuaternario.

#### **1.1.1 Reciclaje primario**

Consiste en la transformación de desechos plásticos que están hechos del mismo material en uno nuevo, este nuevo material debe tener propiedades físicas y químicas similares al original. Este tipo de reciclaje se realiza en los termoplásticos y está conformado por los procesos de separación, limpieza, granulado y peletizado.

#### **1.1.2 Reciclaje secundario**

Este tipo de reciclaje consiste en la producción de plástico con propiedades inferiores al original. Este método está conformado por los procesos de granulado y peletizado que se tiene en el reciclaje primario. Algunos de los plásticos recuperados por este método son los termoestables y los contaminados.

### **1.1.3 Reciclaje terciario**

En este caso, el polímero es sometido a un proceso de degradación para descomponerlo en moléculas pequeñas y lograr separarlo de las impurezas que contiene. Por lo tanto, este tipo de reciclaje involucra no solo un cambio físico del material, sino también uno químico.

### **1.1.4 Reciclaje cuaternario**

Este proceso consiste en el calentamiento de los desechos plásticos para generar energía térmica, esta energía liberada es utilizada para la realización de otros procesos, es decir, el plástico es utilizado como combustible. Este método posee la gran ventaja de reducir el espacio ocupado por los desechos plásticos, sin embargo, contamina el medio ambiente por los gases generados durante su incineración.

## **1.2 Elementos fabricados a partir de pellets de PET reciclado**

Los pellets de PET reciclado pueden ser utilizados para la fabricación de diferentes elementos, estos pueden ser filamentos para impresoras 3D, hilos de poliéster, entre otros. A continuación, se hablará sobre algunos de los materiales que se fabrican a partir de los pellets de PET.

### **1.2.1 Filamentos para la impresión 3D**

Existen diversos tipos de plástico que se utilizan en la impresión 3D, los cuales se eligen de acuerdo al uso que va a tener el elemento que se va a imprimir; entre los materiales más utilizados tenemos al ABS, PLA y PETG. Este último material se obtiene agregando glicol al PET durante la polimerización, con el objetivo de aumentar su resistencia a la cristalización y al impacto.

En la Tabla 1 se hace una comparación de las propiedades físicas y mecánicas de los 3 materiales anteriormente mencionados.

**Tabla 1: Tabla comparativa de plásticos utilizados en la impresión 3D <sup>3</sup>**

		MATERIAL		
		PLA	ABS	PETG
<b>PROPIEDADES</b>	<b>Densidad</b> (g/cm <sup>3</sup> )	1.17	1.12	1.25
	<b>T. Fusión</b> (°C)	200 – 215	220 – 240	230 – 250
	<b>T. Cama Caliente</b> (°C)	0 – 40	90 – 110	60 – 90
	<b>Resistencia Térmica</b> (°C)	30	100	80
	<b>Esfuerzo de Tracción</b> (MPa)	46.6	33.3	31.9
	<b>Esfuerzo de Flexión</b> (MPa)	85.1	72.8	53.7
	<b>Resistencia al Impacto</b> (kJ/m <sup>2</sup> )	2.68	12.6	5.1
	<b>Facilidad de impresión</b>	Muy alta	Muy baja	Alta
	<b>Calidad de impresión</b>	Muy alta	Media	Alta
	<b>Adhesión entre capas</b>	Media	Baja	Alta
	<b>Olor</b>	Nada	Mucho	Poco
	<b>Precio x kg.</b> (S/.)	73 – 110	81 – 110	81 - 110

Nota. Elaboración propia

De la tabla mostrada, se puede observar que el PETG tiene mayor resistencia térmica y resistencia al impacto comparado con el PLA. Por otro lado, si lo comparamos con el ABS, el PETG es mucho mejor en cuanto a facilidad y calidad de impresión, y tiene una mejor adhesión entre capas. En cuanto a nocividad, el ABS es el más peligroso de los 3, ya que cuando es fundido por la impresora 3D emite altos niveles de estireno <sup>4</sup>, el cual se sospecha que es carcinógeno (Sher, 2015).

<sup>3</sup> La información mostrada se obtuvo de la página oficial de la empresa Polymaker y de la ficha técnica de sus productos.

<sup>4</sup> El estireno es un hidrocarburo aromático que aporta resistencia mecánica y rigidez al ABS.

En conclusión, el PETG tiene propiedades intermedias entre los otros 2, por lo que es preferido para diferentes aplicaciones, sobre todo cuando se tratan de resistencia a la corrosión e impermeabilidad.

### 1.2.2. Fibras utilizadas en la industria textil

En la industria textil, existen varios tipos de fibras que se utilizan para la fabricación de prendas de vestir, los cuales se escogen de acuerdo al uso o fin que se quiera dar a la prenda; entre estas fibras se tiene al algodón, poliéster y nylon.

A continuación, en la Tabla 2 se realiza una comparación de las características de estos 3 materiales.

**Tabla 2: Tabla comparativa de fibras utilizadas en la industria textil**

		MATERIAL		
		Polipropileno	Poliéster	Nylon
CARACTERÍSTICAS	Absorción de agua	Nada	Poco	Bastante
	Secado	Rápido	Lento	Rápido
	Temperatura de fusión (°C)	130	260	254
	Resistencia UV	Poca	Mucha	Media
	Resistencia a estirar y encoger	Poca	Media	Mucha
	Resistencia al moho	Si	Si	Si
	Flota	Si	No	No

Nota. (Regalonline, s.f.)

De la tabla anterior se puede observar que el poliéster o PET, tiene gran capacidad de impermeabilidad, buena resistencia térmica y UV, y una resistencia media para estirarse y encogerse; además, el poliéster es conocido por ser un material que mantiene sus propiedades aislantes a bajas temperaturas y en presencia de humedad.

## **CAPÍTULO 2**

### **ESTADO DEL ARTE**

En el siguiente capítulo se presenta resúmenes de máquinas extrusoras – peletizadoras de plástico y se realiza una tabla comparativa entre ellas. Además, se mostrará diferentes tecnologías similares al sistema que se va a diseñar, y que pueden ser de gran ayuda para el diseño de la máquina recicladora.

#### **2.1 Máquinas extrusoras – peletizadoras de plástico**

En el mercado actual se tiene y se vienen desarrollando diferentes tipos de máquinas extrusoras – peletizadoras capaces de producir pellets de sección transversal uniforme con tolerancias muy bajas. Estas máquinas están conformadas por 2 principales sistemas: el sistema de extrusión, encargado del transporte, fundición y extrusión del material; y el sistema de corte, encargado del corte de los filamentos que salen del sistema de extrusión.

A continuación, se dará una descripción breve de las diferencias entre los elementos principales de cada subsistema.

##### **2.1.1 Sistema extrusor**

###### **2.1.1.1 Husillo simple**

El husillo extrusor simple se divide en tres zonas sencillas, la cuales son: zona de alimentación, transición y dosificación. Además, el proceso de transporte de sólidos es un arrastre por fricción, y el transporte de material fundido es por arrastre viscoso. Este elemento, en comparación con el husillo doble, puede llegar a tener capacidades de extrusión más amplias, y es mucho más económico.

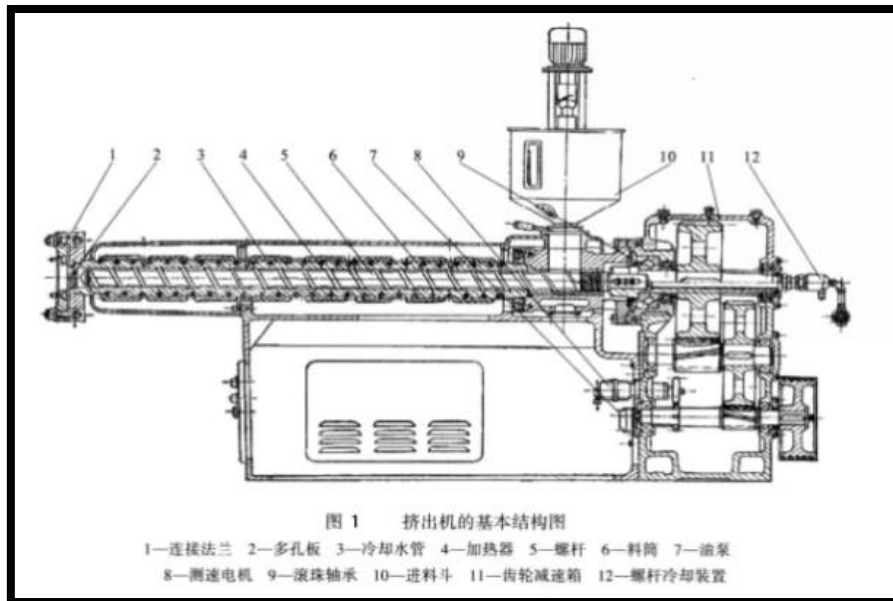


Figura 4. Máquina extrusora de husillo simple (Useon, 2021)

### 2.1.1.2 Husillo doble

El husillo extrusor doble se divide en zonas más complejas que el husillo simple, las cuales por lo general son 4: zona de transporte, fusión, plastificación y descarga. Asimismo, su proceso de transporte es de desplazamiento positivo, es decir, cuando el husillo doble se encuentra girando, el material es empujado hacia adelante por los hilos de engrane. En comparación con el husillo simple, este tiene una capacidad de autolimpieza superior, debido a su alta velocidad de cizallamiento.

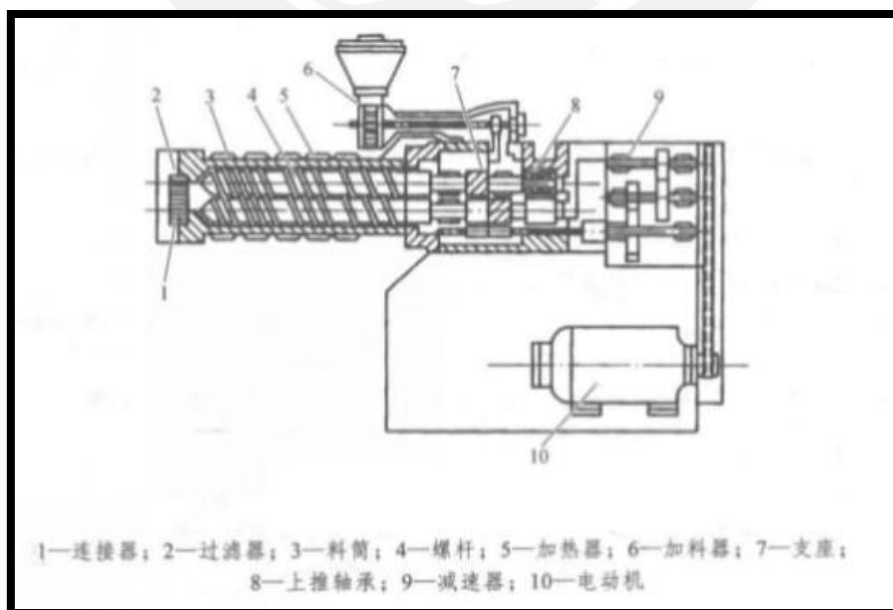


Figura 5. Máquina extrusora de doble husillo (Useon, 2021)

## 2.1.2 Sistema de corte

### 2.1.2.1 Cuchilla tipo fresa cilíndrica

Este tipo de cuchilla es muy útil para un corte de filamentos que están dispuestos de forma lineal. Por lo general, esta cuchilla se utiliza cuando la máquina extrusora – peletizadora tiene un sistema de refrigeración por sumersión en una bandeja con agua, luego del cual los filamentos pasan a ser cortados por la fresa. A continuación, en la Figura 6, se muestra un modelo de fresa cilíndrica para el corte de filamentos de plástico.

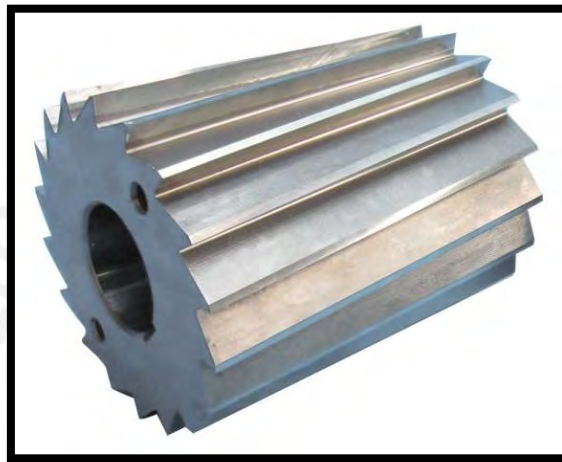


Figura 6. Cuchilla cilíndrica para peletizadora (Cuchillas Castillo, s.f.)

### 2.1.2.2 Cuchilla tipo estrella

Esta cuchilla se utiliza cuando los filamentos salen de un plato extrusor con agujeros dispuestos en forma circular. Es utilizada cuando los filamentos salen sumergidos en un cámara con agua, dentro del cual son cortados por la cuchilla. Cuando se utiliza este tipo de cuchilla, la máquina reduce sus dimensiones, tanto en largo como ancho, ya que no requiere una bandeja larga para la sumersión de los filamentos, ni una salida ancha para aumentar la cantidad de filamentos extruidos. En a Figura 7, se muestra un modelo de cuchilla tipo estrella.



Figura 7. Cuchilla estrella para peletizadora (Cuchillas Castillo, s.f.)

Ahora, se realizará una comparación técnica y económica entre máquinas extrusoras – peletizadoras de plástico comerciales.

## **2.2 Máquinas extrusoras – peletizadoras comerciales**

### **2.2.1 Máquina extrusora – peletizadora bajo el agua marca HS**

Esta máquina puede utilizar como materia prima gránulos de PE, PP, PS, PA, PET, entre otros. Posee un sistema de doble tornillo, el cual gira a una velocidad de 600 rpm. Además, el diámetro de los tornillos de extrusión varía entre 22 y 133 mm. Finalmente, posee un sistema de enfriamiento con agua y tiene un flujo de salida entre 0.5 y 2250 kg/h, de acuerdo al modelo. En la Figura 8 se muestra uno de los modelos de la máquina descrita anteriormente.



Figura 8. Máquina extrusora – peletizadora bajo el agua modelo TSE (Haisi, s.f.)

### **2.2.2 Máquina extrusora – peletizadora marca Fosita**

En la Figura 9 se observa la máquina extrusora – peletizadora de la marca Fosita, la cual usa como materia prima gránulos de PP, PE y HDPE. Tiene una capacidad de producción entre 150 y 500 kg/h. También, cuenta con un mecanismo de tornillo simple, el cual puede girar entre

200 a 350 rpm, y puede tener un diámetro de 55 o 145 mm. Finalmente, posee un recipiente de enfriamiento por agua, luego del cual pasa al sistema de corte para la obtención de pellets. En la Figura 9 se puede observar uno de los modelos de la máquina detallada anteriormente.



Figura 9. Máquina extrusora – peletizadora modelo FST (Fosita, s.f.)

### 2.2.3 Máquina extrusora – peletizadora bajo el agua marca Wanrooetech

Esta máquina utiliza como materia prima gránulos de diferentes tipos de plástico, estos pueden ser ABS, PP, PE, etc. Cuenta con un mecanismo de tornillo único, el cual puede tener diámetros de 85, 100, 130, 160 o 180 mm. Además, utiliza un sistema de refrigeración por agua. Finalmente, tiene un flujo de salida entre 120 y 1000 kg/h. En la Figura 10 se presenta la máquina mencionada.



Figura 10. Máquina extrusora – peletizadora modelo PNHS (Wanrooetech, s.f.)

En la Tabla 3 se realiza una comparación técnica de las 3 máquinas extrusoras expuestas anteriormente.

**Tabla 3: Tabla comparativa de máquinas extrusoras - peletizadoras comerciales <sup>5</sup>**

	<b>Extrusora – peletizadora TSE – 40B marca HS</b>	<b>Extrusora – peletizadora FST – 150 marca Fosita</b>	<b>Extrusora – peletizadora PNHS – 85/85 marca Wanrooetech</b>
<b>Voltaje de entrada (V)</b>	380	380	380
<b>Frecuencia (Hz)</b>	50	50	50
<b>Diámetro husillo (mm)</b>	41 (doble husillo)	85	85
<b>L/D</b>	48:1	33:1	33:1
<b>Velocidad de giro husillo (rpm)</b>	600	120	120
<b>Potencia extrusora (kW)</b>	30	55	45
<b>Potencia peletizadora (kW)</b>	3	1.1	2.2
<b>Potencia resistencias (kW)</b>	5	4.2	6
<b>Flujo de salida (kg/h)</b>	90 – 150	200	150
<b>Dimensiones LxWxH (m)</b>	30x3x2.5	10x2x2.5	12x3x2.5
<b>Precio (S/.)</b>	134,491.17	155,352.83	101,719.12

Nota. Elaboración propia

De la tabla comparativa se puede observar que la máquina con doble husillo necesita una velocidad de giro mayor, en comparación con las de husillo simple, para entregar un flujo de salida de 150 kg/h; sin embargo, esta velocidad de giro es la que le da una buena característica de

<sup>5</sup> La información mostrada se obtuvo de las cotizaciones realizadas con la misma empresa el mes de mayo.

autolimpieza. También, se puede observar que la máquina de la marca HS es más cara que la de Wanrooetech, debido a la complejidad de fabricación de su husillo doble. Finalmente, se observa que cuando se utiliza un sistema de doble husillo, la potencia del motor que lo acciona se reduce casi a la mitad.

A continuación, se muestra algunas patentes de máquinas extrusoras – peletizadoras, así como, investigaciones de pregrado de máquinas similares al sistema que se va a diseñar.

## **2.3 Patentes**

### **2.3.1 Underwater pelletizer (Estados Unidos Patente nº US3271821A, 1964)**

Esta patente hace referencia a una máquina de formación de pellets, en donde el material caliente es extruido a través de una matriz; este material sale de los orificios en forma de barras hacia una cámara llena con agua, donde son cortados en trozos pequeños o pellets mediante cuchillas giratorias montadas en un cabezal.

Esta máquina proporciona un cabezal cortador que tiene cuchillas rígidamente montadas sobre ellas para poder obtener un corte uniforme de las varillas de plástico. Además, tiene nuevos y mejorados medios para calentar la matriz de extrusión y evitar el endurecimiento del material termoplástico en los orificios (Ver Anexo A). También, esta máquina proporciona una circulación de agua con una trayectoria circular para conducir los pellets hacia una abertura de descarga y evitar que se acumulen en grandes cantidades en el centro de la cámara. En la Figura 11 se puede observar la cámara de agua, a donde salen los filamentos extruidos para ser cortados y enfriados, así como la placa matriz para la extrusión del fluido viscoso de PET.

Sept. 13, 1966

L. F. STREET

3,271,821

UNDERWATER PELLETIZER

Filed July 24, 1964

6 Sheets-Sheet 2

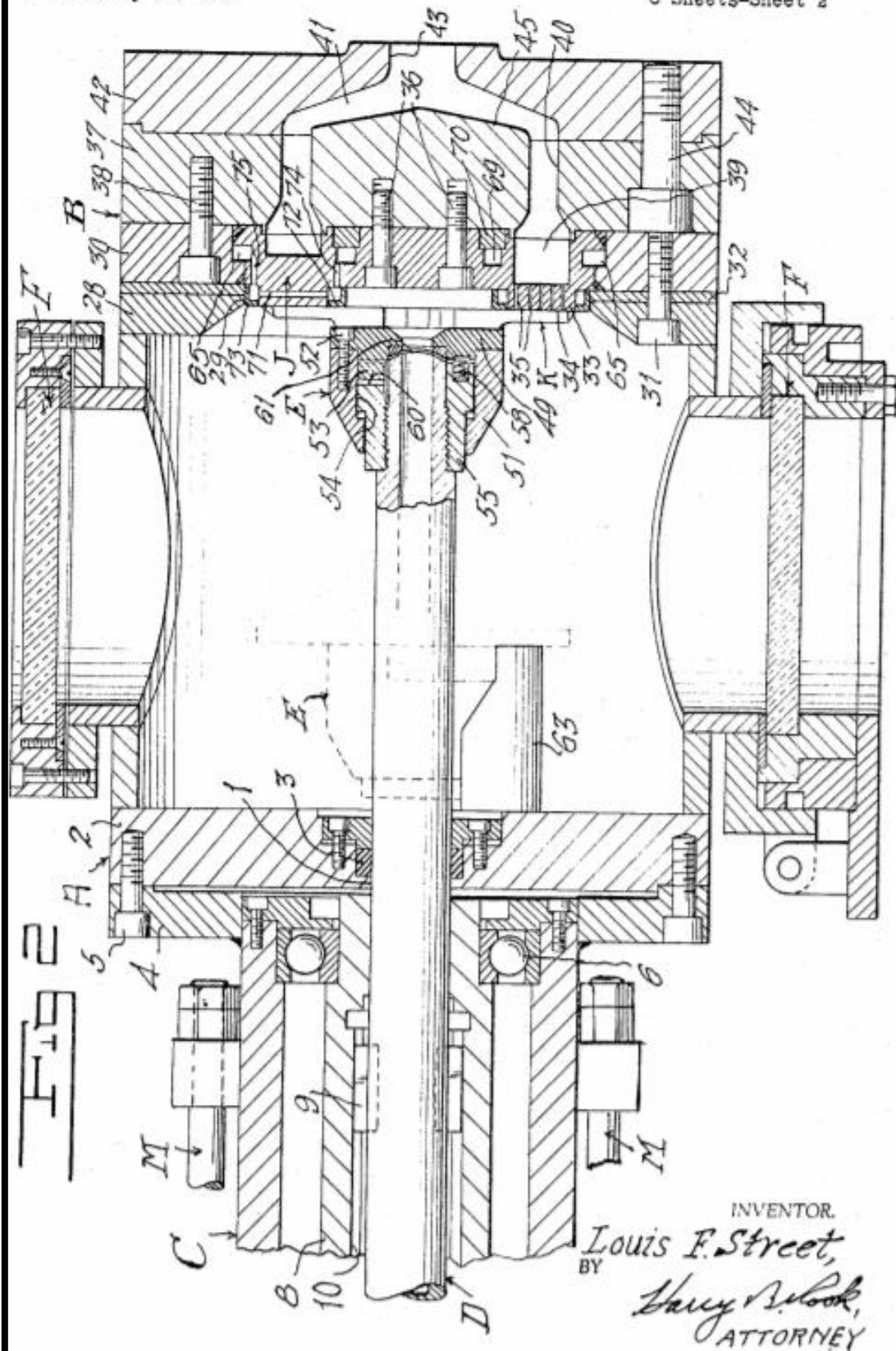


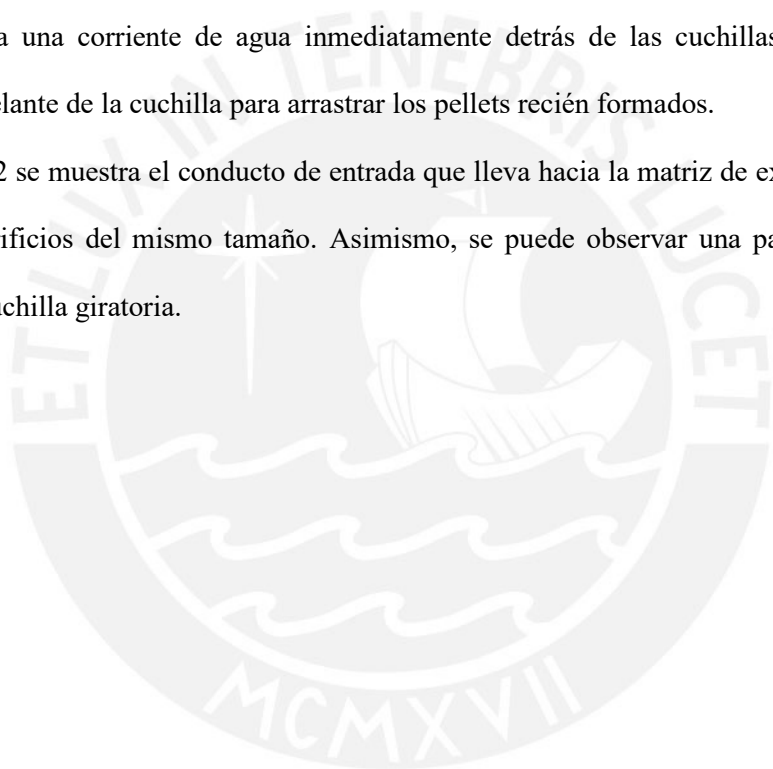
Figura 11. Sección horizontal que muestra la placa matriz y cámara de agua.

### 2.3.2 **Plastic pelletizer** (Estados Unidos Patente nº US3230582A, 1963)

Esta patente hace referencia a una máquina peletizadora que posee una cuchilla giratoria que corta bajo el agua al material extruido a través de una matriz.

Esta máquina se caracteriza por su alta capacidad de producción y por su capacidad de trabajo continuo durante largos periodos de tiempo. Además, posee una matriz de extrusión de espesor relativamente pequeño para aumentar la capacidad de la boquilla, y reducir el enfriamiento y contrapresión (Ver Anexo B). También, posee un mandril que puede incluir un estrangulador para distribuir el material de manera uniforme a la matriz de extrusión. Esta máquina aplica una corriente de agua inmediatamente detrás de las cuchillas para evitar la cavitación y delante de la cuchilla para arrastrar los pellets recién formados.

En la Figura 12 se muestra el conducto de entrada que lleva hacia la matriz de extrusión, la cual tiene varios orificios del mismo tamaño. Asimismo, se puede observar una parte del eje que sostiene a la cuchilla giratoria.



Jan. 25, 1966

R. E. HOFFMAN ETAL

3,230,582

PLASTIC PELLETIZER

Filed Feb. 27, 1963

3 Sheets-Sheet 1

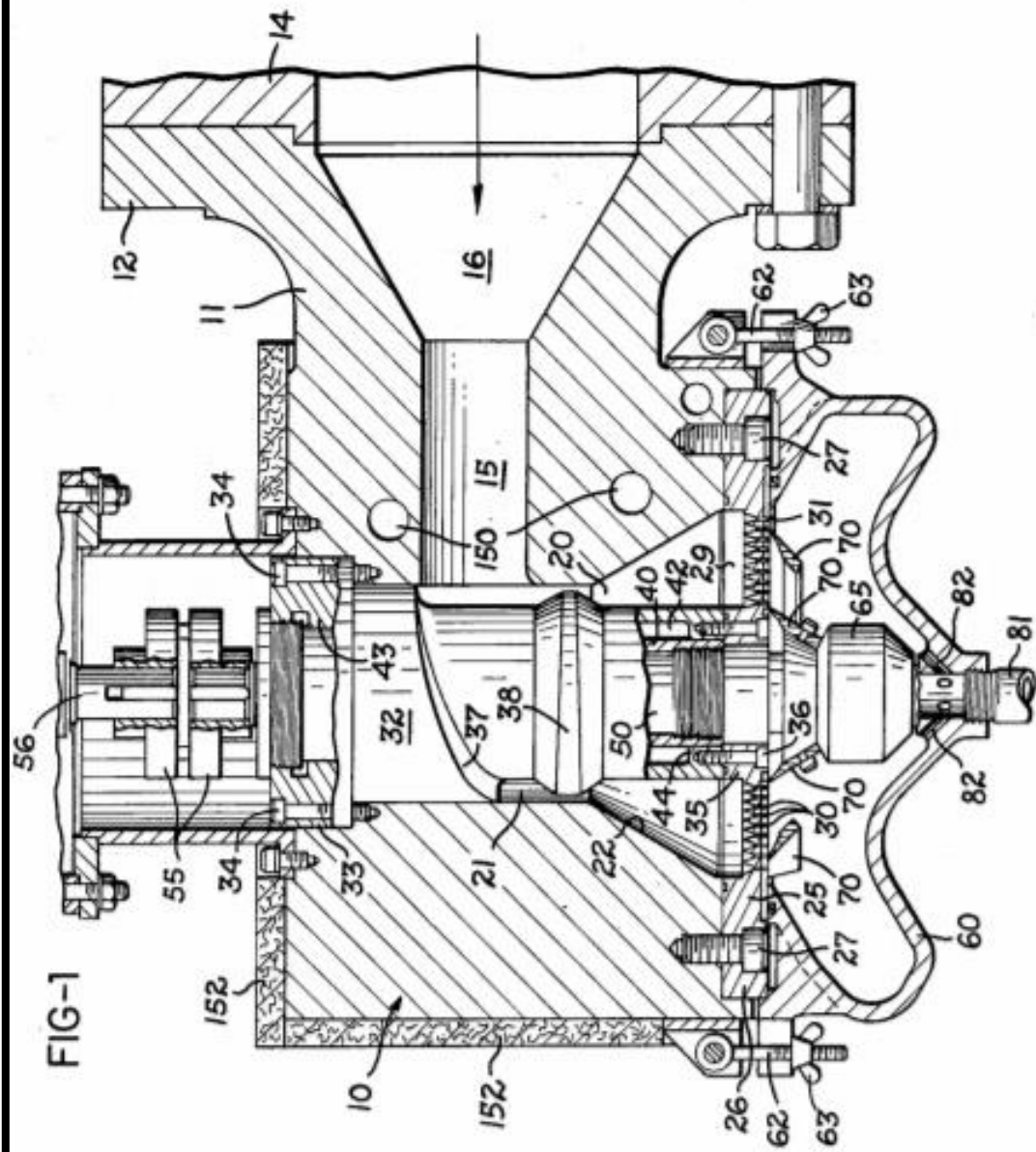


FIG-1

INVENTORS  
ROBERT E. HOFFMAN &  
H. PAUL KOPPEHELE  
BY

*Marchal, Diebel, French & Bugg*  
ATTORNEYS

Figura 12. Sección vertical tomada longitudinalmente del extrusor.

### 2.3.3 Underwater pelletizer and heat exchanger die plate (Estados Unidos Patente n° US4123207A, 1976)

Esta patente hace referencia a una máquina que tiene una matriz de extrusión y un intercambiador de calor bajo el agua para solidificar el polímero fundido, y posteriormente cortarlo en pellets.

En esta patente se presenta una máquina que consta de una matriz de extrusión que permite el calentamiento uniforme de cada orificio para que el plástico fluya a la misma velocidad y los pellets resultantes tengan un tamaño uniforme. Además, cuenta con dos o más cuchillos dentro del agua para cortar el plástico solidificado en pequeños pellets; estos cuchillos pueden ser alejados de la matriz de extrusión gracias a los cojinetes de bolas instalados en la máquina. También, se incluye el uso de tubos soldados de alta conductividad térmica, y una cara de matriz de baja conductividad térmica para evitar el solidificado del polímero (Ver Anexo C).

En la Figura 13 se tiene los conductos que llevan el fluido hacia la matriz de extrusión; además, se puede observar el flujo de agua que entra y sale de la cámara de enfriamiento.

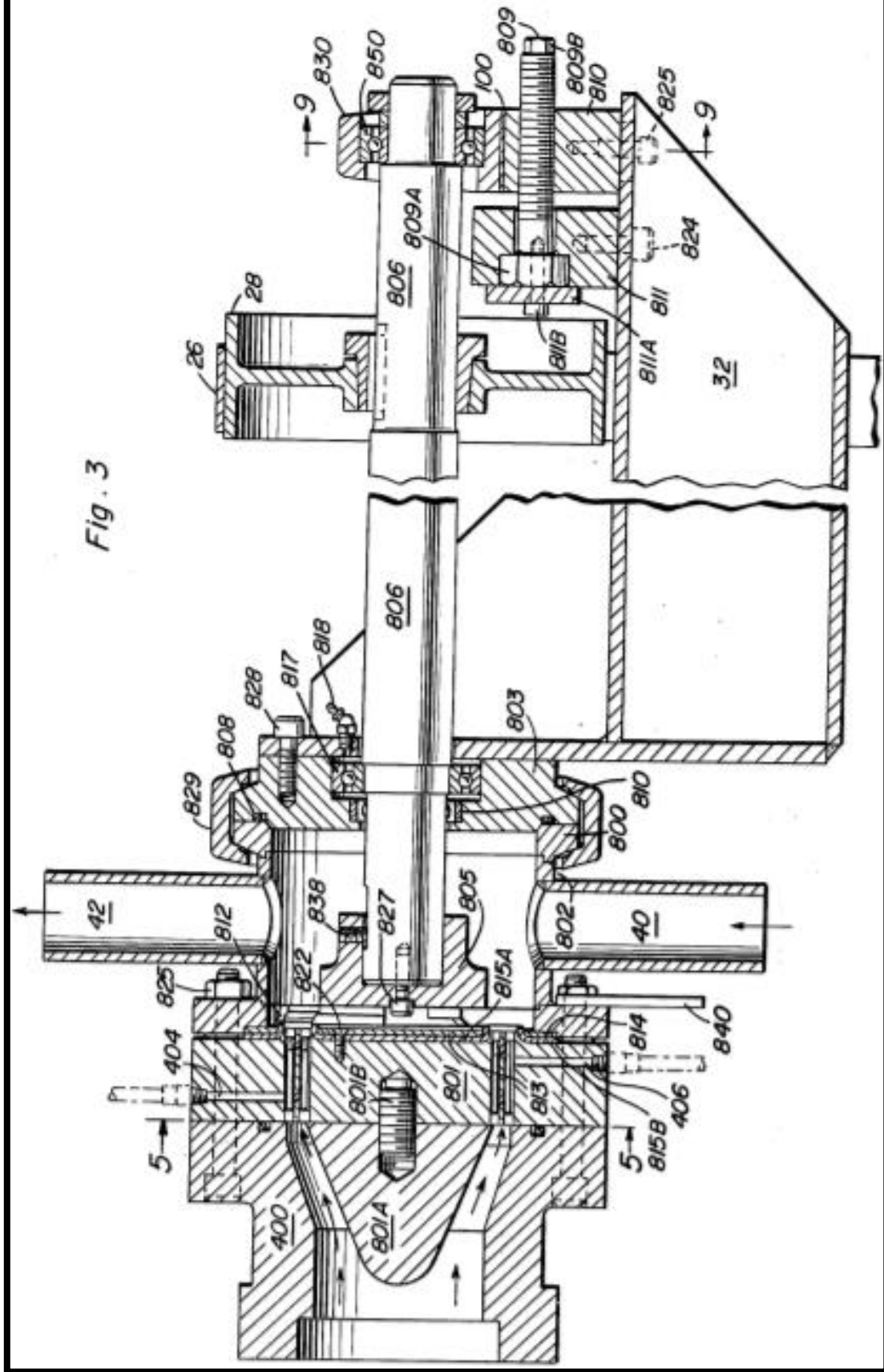


Fig. 3

Figura 13. Sección transversal de la placa matriz y la estructura de baño de agua.

## 2.4 Investigaciones de máquinas recicladoras de plástico

### 2.4.1 Diseño y construcción del transportador de tornillo sinfín para materiales al granel (Malla, 1995)

En este proyecto se realiza el diseño y construcción de un transportador de tornillo sinfín para maíz molido, el cual tiene un flujo de salida de 10 t/h. El tornillo transportador tiene un diámetro de 9 in, y gira a una velocidad de 95 rpm; además, la potencia necesaria del motor para que el tornillo pueda transportar el material es 1.5 HP para una distancia de 22 ft. En la siguiente figura se puede observar el tornillo transportador diseñado.



Figura 14. Tornillo transportador diseñado.

### 2.4.2 Diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamentos de plástico ABS para la impresión 3D en la PUCP (Peare, 2018)

En este proyecto de investigación de pre grado se realiza el diseño de una máquina recicladora de piezas fabricadas con ABS, la cual procesará como mínimo 0.5 kg/h. El filamento extruido podrá tener cualquier tipo de diámetro comercial menor a los 3 mm con una tolerancia de  $\pm 0.1$ mm. Esta máquina funciona con un sistema de extrusión de husillo simple, el cual tiene como diámetro 20 mm y gira a una velocidad de 54 rpm. Finalmente, las dimensiones principales (LxWxH) del sistema mecatrónico diseñado son 830x376x456 mm. En la Figura 15 se muestra la máquina final diseñada.

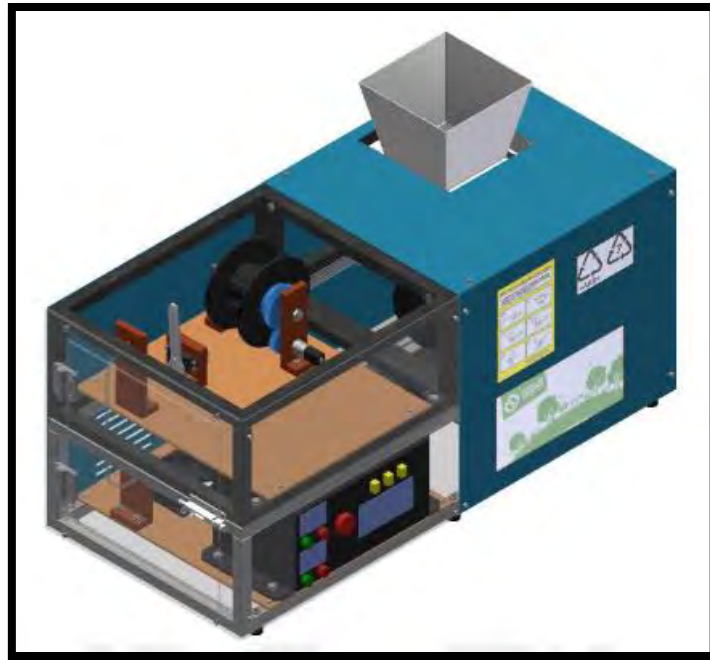


Figura 15. Máquina recicladora de piezas fabricadas con ABS.

### 2.4.3 Diseño de un sistema de extrusión – pelletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la Empresa Municipal de la ciudad de Cuenca EMAC (Maldonado, 2011)

En este proyecto de pre grado se realiza el diseño de un sistema mecánico reciclador de plástico PET, el cual tendrá un flujo de salida igual a 220 kg/h, aproximadamente. Su sistema de extrusión está compuesto por un husillo simple, que tiene como diámetro 126 mm y gira a 35 rpm; este elemento será accionado por un motor eléctrico de 30 kW. Por otro lado, su sistema de pelletizado utilizará un molino con cuchillas de corte, los cuales se encargarán de cortar los filamentos a una velocidad de 364 rpm, y su motor de accionamiento tendrá una potencia de 5.5 kW. Finalmente, el producto final (pellets) tendrá un diámetro de 4mm y una longitud de 5mm. A continuación, en la Figura 16 se puede observar un bosquejo del sistema diseñado.

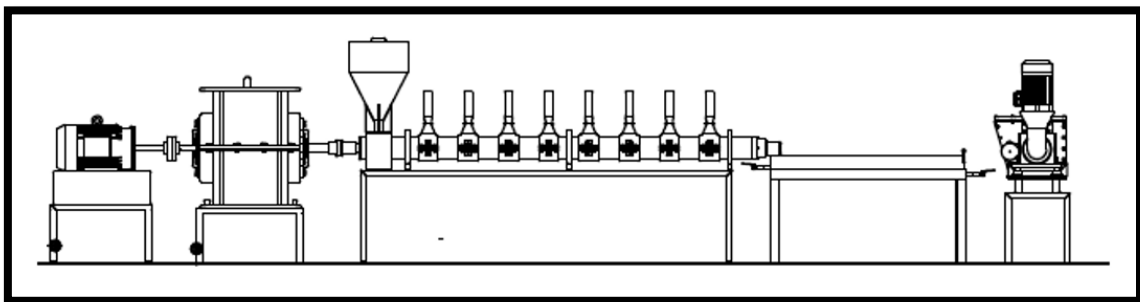


Figura 16. Máquina extrusora – pelletizadora de plástico PET.

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO CONCEPTUAL**

En el siguiente capítulo se presenta los requerimientos del sistema de reciclado que se va a diseñar. Además, se elabora la estructura de funciones y se realiza los conceptos de solución de esta, para luego mediante criterios de evaluación técnica y económica elegir la solución óptima.

#### **3.1 Requerimientos del sistema**

A continuación, se describen los requerimientos del sistema y en la Tabla 4 se muestra un resumen de estos.

##### **3.1.1 Función principal**

El sistema que se va a diseñar busca reciclar y producir pellets de PET reciclado a partir de escamas previamente lavadas. Para lograr esto, primero se va a calentar las escamas lavadas de PET para convertirlo en un fluido viscoso, mientras es empujado y convertido en filamentos por el sistema de extrusión; finalmente, serán cortados en pellets y enfriados en una cámara de agua.

Los pellets producidos por la máquina tendrán diámetros y longitudes de 3 mm, con una tolerancia de  $\pm 0.06$  mm (mexpolimeros, s.f.).

##### **3.1.2 Materia prima**

El sistema diseñado tendrá como materia prima escamas de PET reciclado; estas escamas deben ser previamente lavadas para que estén libres de cualquier agente contaminante que pueda afectar el correcto funcionamiento de la máquina y la calidad de los pellets.

##### **3.1.3 Geometría**

El sistema de reciclado será diseñado para que ocupe el menor espacio posible, por lo tanto, se buscará que la máquina tenga dimensiones menores a 3 x 1 x 2 m (LxWxH).

### **3.1.4 Cinemática**

De acuerdo con las máquinas extrusoras que se mostraron en el estado del arte, se determinó que el sistema que se va a diseñar debe ser capaz de producir como mínimo 80 kg de pellets por hora de trabajo, para lo cual se necesita una velocidad de extrusión lineal de 50 mm/s.

### **3.1.5 Fuerza**

Se tendrá que cortar los filamentos antes que se enfríen por completo, para reducir la fuerza de corte necesaria, y, en consecuencia, la potencia del motor; por tanto, la fuerza de corte debe ser menor o igual a 30 N m.

### **3.1.6 Energía**

El sistema que se va a desarrollar funcionará con una alimentación de corriente alterna de 380 Vac y 60 Hz trifásica, ya que va a ser diseñada para su funcionamiento en el Perú.

### **3.1.7 Materiales**

La máquina debe ser diseñada con materiales anticorrosivos para que pueda ser utilizado en lugares con mucha humedad, y además porque el mecanismo de corte va a estar sumergido en la cámara con agua. Asimismo, deben soportar las altas temperaturas sin cambiar sus propiedades mecánicas.

### **3.1.8 Señales**

El sistema contará con un panel de control para enviar señales de entrada y mostrar señales de salida. Las señales de entrada serán los botones de inicio, pausa, terminar y continuar, así como, los interruptores para la selección del flujo de salida y el color de los pellets; asimismo, las señales de salida serán los indicadores de estado.

### **3.1.9 Control**

Durante el funcionamiento de la máquina, el operario podrá controlar el flujo de salida y el color de los pellets. Además, internamente el sistema controlará la temperatura de la cámara de fusión y la velocidad de giro de los motores a través de los sensores que se usarán.

### **3.1.10 Software**

Para la programación del controlador que se va a emplear, se utilizará un software de uso libre para poder reprogramar dicho controlador y no generar gastos adicionales.

### **3.1.11 Comunicación**

El sistema a desarrollar contará con un tablero de control para la interacción usuario – máquina. Además, la comunicación interna entre los dispositivos será de forma cableada (comunicación serial).

### **3.1.12 Seguridad**

La máquina contará con superficies protectoras que aisle los mecanismos de cada proceso para evitar que el operario se lesione, de esta forma se cumplirá con la norma ISO 45001 (International Organization for Standardization, s.f.), la cual busca la salud y seguridad laboral. Además, el sistema contará con un sistema de apagado automático para la protección de los circuitos de control según la norma ISO 13849 – 1 (International Organization for Standardization, 2015).

### **3.1.13 Ergonomía**

El panel de control de la máquina estará ubicado a una altura cómoda para una persona de altura promedio. Además, el sistema contará con símbolos gráficos según la norma ISO 3461 (International Organization for Standardization, 2010), para la diferenciación de los procesos.

### **3.1.14 Fabricación**

Se buscará que el sistema tenga un diseño de fácil construcción para que pueda ser fabricada en el menor tiempo posible. Además, se buscará que la mayor parte de los componentes utilizados para la construcción de la máquina puedan encontrarse en el mercado local.

### **3.1.15 Montaje**

Se buscará que la máquina sea fácil de instalar, sin la necesidad de herramientas especiales y de conocimientos técnicos especializados. Además, permitirá el fácil acceso a sus componentes.

### 3.1.16 Uso

La máquina deberá ser usada en lugares que no estén a más de 2000 m.s.n.m para evitar problemas en el rendimiento. Además, podrá ser utilizada en lugares con una humedad relativa máxima de 93%, y en lugares con temperaturas entre 15° C y 25° C, por lo que debe trabajar en un ambiente con temperatura y humedad controlada.

### 3.1.17 Mantenimiento

Se buscará que la máquina tenga un fácil acceso a los componentes que requieran recambio con mayor frecuencia. Además, las piezas que requieran recambio deben ser de fácil adquisición en el mercado nacional. También, se buscará que la máquina no requiera mantenimiento con mucha frecuencia.

### 3.1.18 Transporte

La máquina deberá tener un peso no mayor a 2000 kg para ser transportada en vehículos de carga ligera. Además, contará con agarraderas y ruedas en la parte inferior para su fácil desplazamiento.

En la Tabla 4, se muestra un resumen de los requerimientos del sistema mencionados.

**Tabla 4: Resumen de los requerimientos de la máquina**

Categoría	Tipo	Requerimiento
<b>Función principal</b>	E	- Producir pellets de PET reciclado con una longitud y diámetro de $3 \pm 0.06$ mm.
<b>Materia prima</b>	E	- Escamas de PET previamente lavadas.
<b>Geometría</b>	E	- La máquina tendrá dimensiones menores a 3 x 1 x 2 m.
<b>Cinemática</b>	E	- La máquina tendrá una capacidad de producción máxima de 80 kg por hora de trabajo y una velocidad de extrusión de 50 mm/s.
<b>Fuerza</b>	E	- Fuerza de corte necesaria menor o igual a 30 N m.
<b>Energía</b>	E	- La máquina funcionará con una energía eléctrica de 380 VAC y 60 Hz trifásica.
<b>Materiales</b>	E	- Materiales resistentes y anticorrosivos.
<b>Señales</b>	E	- Panel de control para controlar los procesos de la máquina.

<b>Control</b>	E	- El operario podrá controlar el flujo de salida y el color de los pellets.
	E	- Internamente el sistema controlará la temperatura y la velocidad de los motores del sistema.
<b>Software</b>	E	- Se utilizará un programa de uso libre para la implementación del programa de control.
<b>Comunicación</b>	E	- Panel de control para interacción usuario – máquina.
	E	- Comunicación interna entre los dispositivos de forma cableada (comunicación serial).
<b>Seguridad</b>	E	- Superficies protectoras para cumplir con la norma ISO 45001.
	E	- Sistema de apagado automático según la norma ISO 13849 – 1.
<b>Ergonomía</b>	E	- Panel de control ubicado a una altura adecuada.
	E	- Símbolos gráficos según la norma ISO 3461.
<b>Fabricación</b>	D	- Mayor parte de componentes necesarios para la construcción de la máquina disponibles en el mercado local.
	D	- Diseño de fácil construcción.
<b>Montaje</b>	D	- Instalación sencilla sin la necesidad de herramientas especiales.
	D	- Fácil acceso a los componentes de la máquina.
<b>Uso</b>	E	- Altura máxima de trabajo de 2000 m.s.n.m.
	E	- Humedad relativa de trabajo máxima de 93%.
	E	- Temperatura de trabajo entre 15 y 25 °C.
<b>Mantenimiento</b>	D	- Fácil acceso a piezas que requieran recambio con mayor frecuencia.
	D	- Fácil adquisición de piezas que necesiten recambio.
	D	- Mantenimiento de la máquina con poca frecuencia.
<b>Transporte</b>	E	- El peso máximo de la máquina será de 2000 kg.
	D	- Agarraderas y ruedas para fácil desplazamiento.
<b>Costos</b>	E	- El costo total del sistema no deberá superar los S/. 40000.

Nota. Elaboración propia

## 3.2 Estructura de funciones

### 3.2.1 Caja negra

En la Figura 17 se observa una caja negra con tres tipos de entradas y salidas: Energía, materia y señales; dicha caja representa la función total del sistema mecatrónico que se va a diseñar.

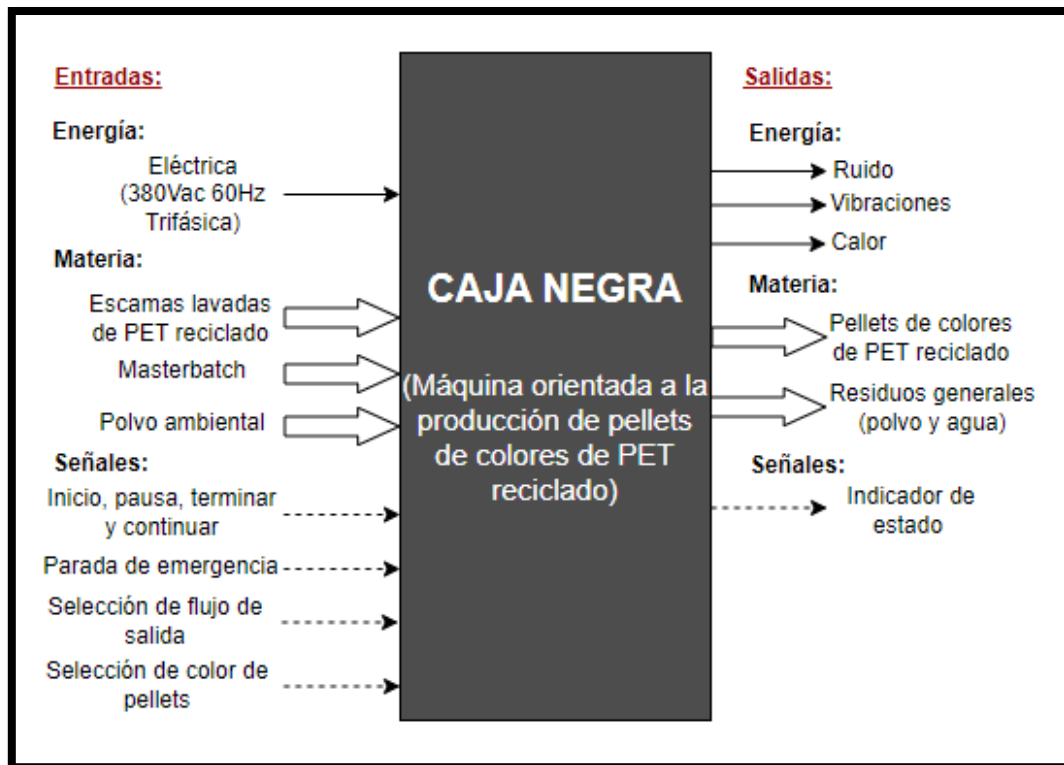


Figura 17. Caja negra del sistema.

### 3.2.2 Función principal

La función principal del proyecto consiste en que, a partir de escamas lavadas de PET reciclado, el sistema produzca pellets de colores con una longitud y diámetro de  $3 \text{ mm} \pm 0.06$ .

### 3.2.3 Secuencia de operaciones

Para producir los pellets de colores de PET reciclado a partir de escamas lavadas, se requerirá realizar los siguientes pasos: Primero se deberá almacenar las escamas lavadas y los masterbatch en las tolvas de la máquina, para que sean suministrados paulatinamente; seguido a esto, se realizará el encendido de la máquina, para la energización de los elementos del sistema. Luego, se seleccionará el flujo y el color de los pellets que se desea producir, y a continuación, se presionará el botón de inicio. Seguidamente, el sistema de elevación de temperatura empezará a calentar la cámara de fundición hasta llegar a la temperatura requerida. Una vez que se llegue a dicha temperatura, el sistema de extrusión empezará a desplazar las escamas hacia una matriz de extrusión para convertirlas en filamentos. Cuando los primeros filamentos empiecen a salir de la cámara de fundición, el operario deberá presionar el botón de pausa, para detener el proceso. Después, se deberá llenar la cámara de enfriamiento con agua, y luego presionar el botón de

continuar. Finalmente, los filamentos extruidos saldrán dentro de la cámara con agua, en la cual serán cortados y enfriados.

Analizando en detalle, se establece el proceso técnico a continuación:

### **3.2.3.1 Preparación**

- Almacenar las escamas lavadas de PET y los masterbatch en la máquina.
- Energizar los elementos del sistema.
- Seleccionar el flujo de salida y el color de los pellets a producir.
- Presionar el botón de inicio.
- Esperar a que la cámara de fundición llegue a la temperatura requerida.

### **3.2.3.2 Ejecución**

- Accionar los tornillos transportadores para el suministro de escamas y masterbatch.
- Accionar el husillo para el desplazamiento de escamas hacia la matriz de extrusión.
- Extruir el fluido viscoso de PET con la matriz de extrusión.
- Presionar el botón de pausa para detener el proceso.
- Llenar la cámara de enfriamiento con agua y presionar el botón de continuar.

### **3.2.3.3 Control**

- Controlar la temperatura del sistema de fundición.
- Controlar los mecanismos de desplazamiento de escamas y masterbatch.
- Controlar el mecanismo de extrusión de PET.
- Controlar la herramienta de corte de filamentos.

### **3.2.3.4 Fase final**

- Cortar los filamentos extruidos en pellets.
- Enfriar los pellets en la cámara con agua.
- Apagar y limpiar la máquina una vez concluido el trabajo.

## **3.2.4 Dominio mecánico**

La parte mecánica del proceso contará con diversos sistemas, los cuales realizarán el desplazamiento de escamas y masterbatch, extrusión de PET y corte de filamentos.

Analizando el dominio mecánico se han determinado las siguientes funciones básicas:

- Suministrar escamas lavadas de PET.
- Suministrar masterbatch.
- Extruir fluido viscoso de PET y masterbatch.
- Formar filamentos de PET.
- Cortar filamentos extruidos.
- Enfriar pellets de PET.

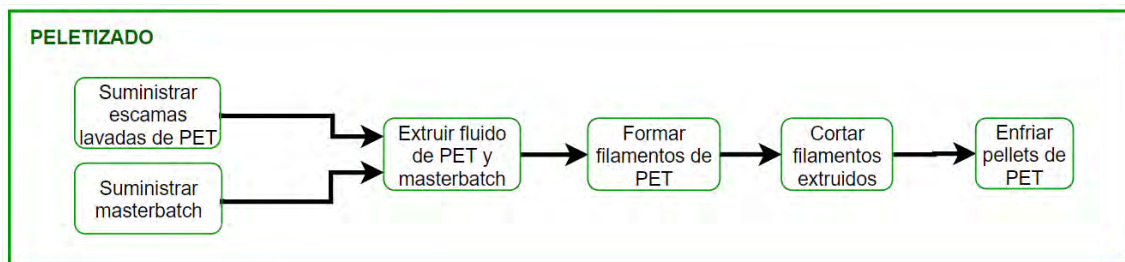


Figura 18. Estructura de funciones del dominio mecánico.

### 3.2.5 Dominio eléctrico – electrónico

La parte electrónica contará con diferentes sensores y actuadores para el correcto funcionamiento de los procesos. Además, como la máquina será conectada a una fuente de corriente alterna, se tendrá que convertir dicha corriente a corriente continua para poder energizar los dispositivos de la máquina.

Analizando el dominio electrónico se han determinado las siguientes funciones básicas:

- Energizar sistema.
- Acondicionar el voltaje.
- Sensor velocidad de escamas.
- Sensor velocidad de masterbatch.
- Sensor velocidad de extrusión.
- Sensor velocidad de corte.
- Sensor temperatura de fundición.
- Accionar mecanismo de suministro de escamas.
- Accionar mecanismo de suministro de masterbatch.

- Accionar mecanismo de extrusión de PET.
- Accionar herramienta de corte de filamentos.
- Calentar cámara de fundición.
- Encender indicador de estado.

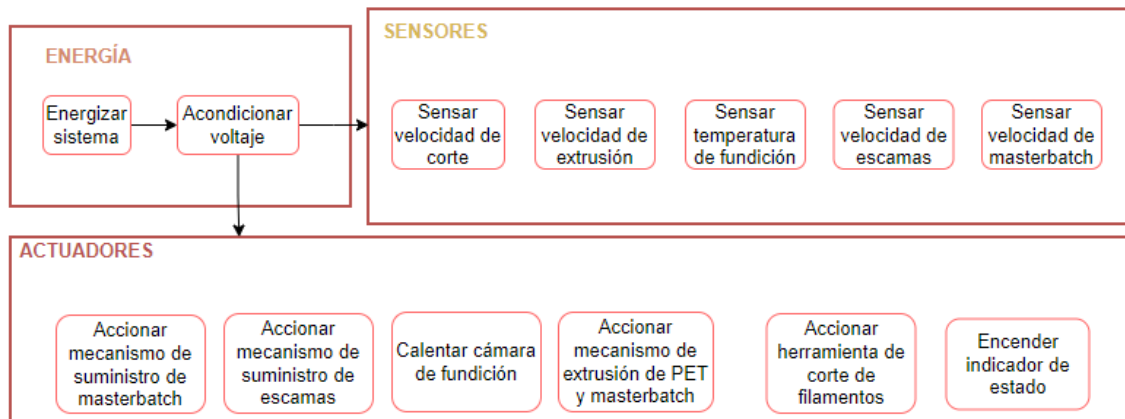


Figura 19. Estructura de funciones del dominio eléctrico – electrónico.

### 3.2.6 Dominio de control

El sistema de control contará con un controlador, el cual realizará un procesamiento de los datos que ingresan, y, además, un intercambio de datos con el dominio electrónico para el correcto funcionamiento de los mecanismos de la máquina.

Analizando el dominio de control se han determinado las siguientes funciones básicas:

- Recibir información de flujo y color.
- Recibir información de botones de control.
- Procesar datos.
- Definir velocidades de giro de motores.
- Almacenar información de velocidades.
- Almacenar información de indicadores de estado.
- Controlar temperatura de fundición.
- Controlar suministro de escamas.
- Controlar suministro de masterbatch.
- Controlar mecanismo de extrusión.
- Controlar herramienta de corte.

- Controlar indicador de estado.

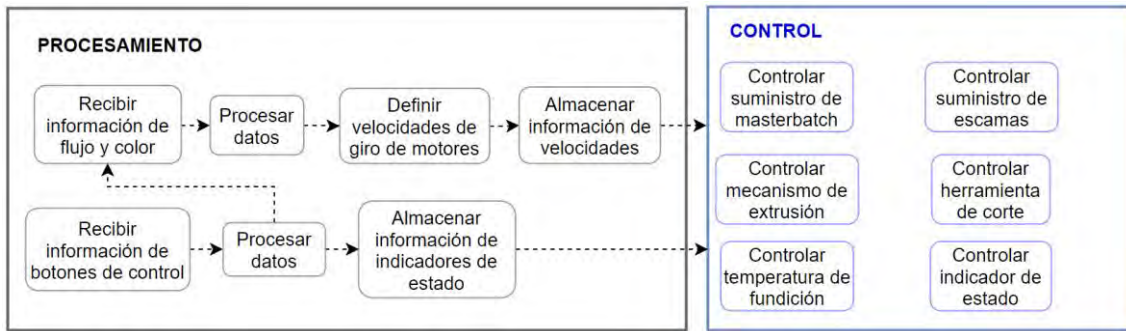
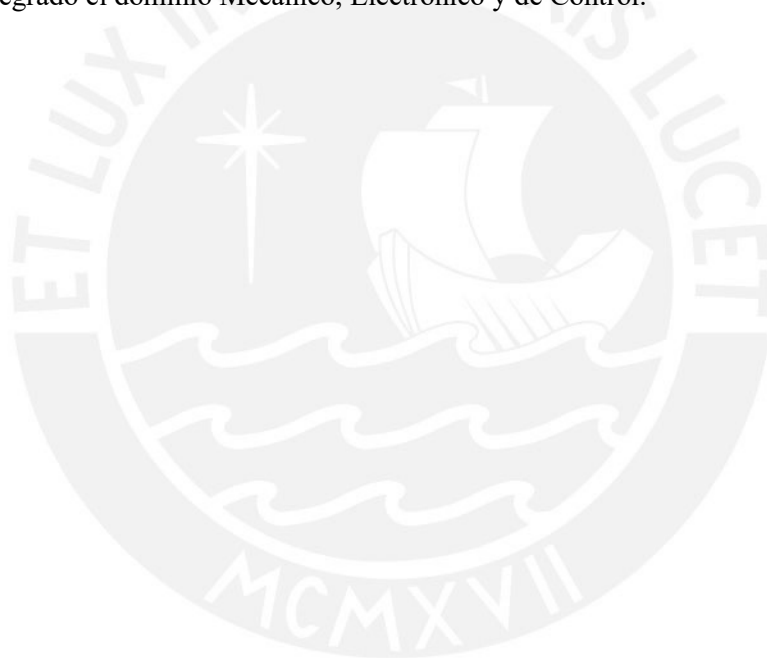


Figura 20. Estructura de funciones del dominio de control.

### 3.2.7 Estructura de funciones global de la máquina

En la Figura 21 se puede observar la estructura de funciones global de toda la máquina. En ella está integrado el dominio Mecánico, Electrónico y de Control.



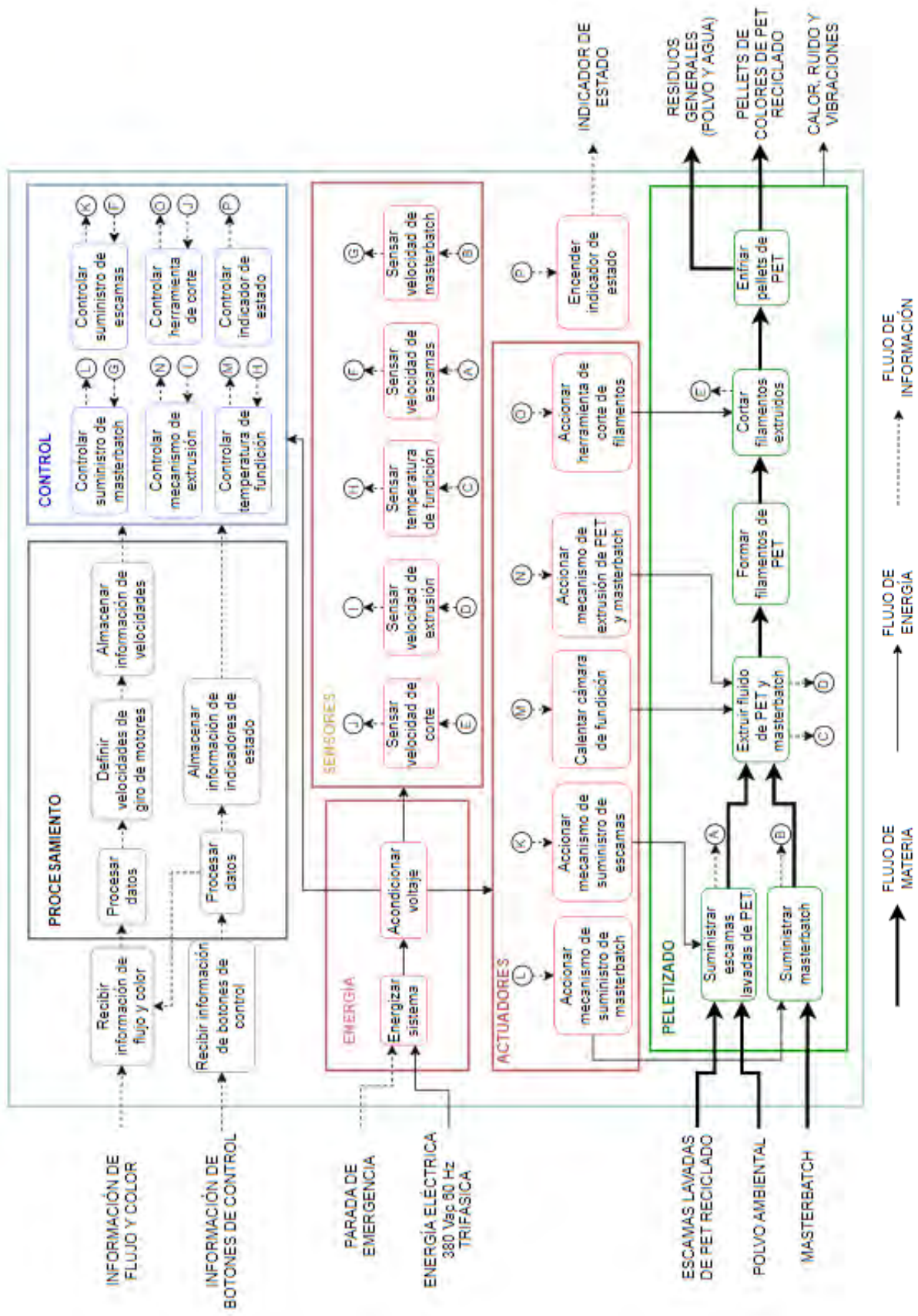




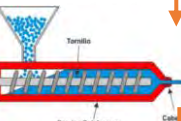
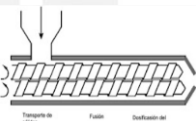

Figura 27. Estructura de funciones global de la máquina.

### 3.3 Matriz morfológica

A continuación, se realizará una matriz morfológica para cada dominio del sistema; en esta matriz se establecen alternativas de solución para realizar cada función y subfunción que tiene la máquina. Este método nos permitirá encontrar soluciones para el sistema, y luego mediante el análisis técnico y económico se obtendrá el concepto de solución óptimo.

#### 3.3.1 Dominio mecánico






















**Tabla 5: Matriz morfológica del dominio mecánico**















Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Suministrar escamas lavadas de PET	 Manual	 Tornillo transportador	 Faja
Suministrar masterbatch	 Manual	 Tornillo transportador	 Faja
Extruir fluido de PET y masterbatch	 Pistón	 Husillo simple	 Doble husillo
Formar filamentos de PET	 Boquilla	 Plato extrusor	
Cortar filamentos extruidos	 Guillotina	 Porta cuchillas	 Fresa cilíndrica
Enfriar pellets de PET	 Agua	 Ventilador	

Nota. Elaboración propia

### 3.3.2 Dominio eléctrico – electrónico

Tabla 6: Matriz morfológica del dominio eléctrico – electrónico







	Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<b>ENERGÍA</b>	<b>Energizar sistema</b>	 Relé de estado sólido	 Interruptor termomagnético	
	<b>Acondicionar voltaje</b>	 Fuente conmutada	 Fuente lineal	
<b>SUMINISTRAR ESCAMAS LAVADAS DE PET</b>	<b>Sensar velocidad de escamas</b>	 Encoder óptico	 Resolver	 Tacodinamo
	<b>Accionar mecanismo de suministro de escamas</b>	 Motor AC	 Motor DC	 Motor paso a paso
<b>SUMINISTRAR MASTERBATCH</b>	<b>Sensar velocidad de masterbatch</b>	 Encoder óptico	 Resolver	 Tacodinamo
	<b>Accionar mecanismo de suministro de masterbatch</b>	 Motor AC	 Motor DC	 Motor paso a paso
<b>CALENTAR CÁMARA DE FUNDICIÓN</b>	<b>Sensar temperatura de fundición</b>	 Termocupla	 Termistor	 Sensor I.C
	<b>Calentar cámara de fundición</b>			

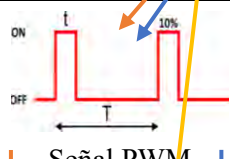

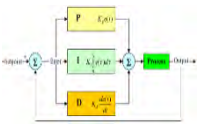
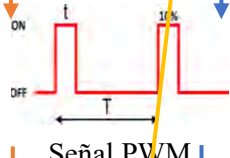

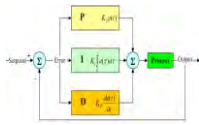
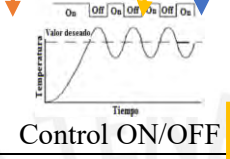



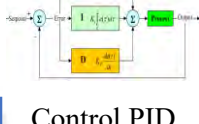
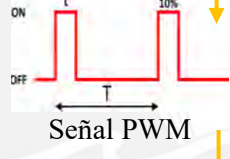


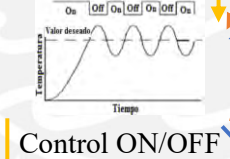



<b>EXTRUIR FLUIDO DE PET Y MASTERBATCH</b>	<b>Sensar velocidad de extrusión</b>	 Encoder óptico	 Resolver	 Tacodinamo
	<b>Accionar mecanismo de extrusión de PET y masterbatch</b>	 Cilindro neumático	 Motor AC	 Motor DC
<b>CORTAR FILAMENTOS EXTRUIDOS</b>	<b>Sensar velocidad de corte</b>	 Encoder óptico	 Resolver	 Tacodinamo
	<b>Accionar herramienta de corte de filamentos</b>	 Cilindro neumático	 Motor AC	 Motor DC
<b>ESTADO SISTEMA</b>	<b>Encender indicador de estado</b>	 Luz piloto LED	 Pantalla HMI	

Nota. Elaboración propia

### 3.3.3 Dominio de control

Tabla 7: Matriz morfológica del dominio de control

	<b>Función</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
<b>RECIBIR INFORMACIÓN DE PANEL DE CONTROL</b>	<b>Seleccionar flujo de salida de pellets</b>	 Pantalla HMI	 Interruptor giratorio	
	<b>Seleccionar color de pellets</b>	 Pantalla HMI	 Interruptor giratorio	
	<b>Definir estado del sistema</b>	 Pantalla HMI	 Pulsadores	

	<b>Controlar suministro de masterbatch</b>	 <p>Señal PWM</p>	 <p>Variador de frecuencia</p>	 <p>Control PID</p>
	<b>Controlar suministro de escamas</b>	 <p>Señal PWM</p>	 <p>Variador de frecuencia</p>	 <p>Control PID</p>
	<b>Controlar temperatura de fundición</b>	 <p>Control ON/OFF</p>	 <p>Variador de frecuencia</p>	 <p>Control PID</p>
	<b>Controlar mecanismo de extrusión</b>	 <p>Señal PWM</p>	 <p>Variador de frecuencia</p>	 <p>Control PID</p>
	<b>Controlar herramienta de corte</b>	 <p>Señal PWM</p>	 <p>Variador de frecuencia</p>	 <p>Control PID</p>
	<b>Controlar indicador de estado</b>	 <p>Control ON/OFF</p>		
	<b>Controlar sensores y actuadores</b>	 <p>Microcontrolador</p>	 <p>Microprocesador</p>	 <p>PLC</p>

Nota. Elaboración propia



Solución 1



Solución 2



Solución 3

### 3.3.4 Conceptos de solución

Una vez obtenidos los conceptos de solución a partir de la matriz morfológica del dominio mecánico, eléctrico – electrónico y de control, en el Anexo D se realiza una descripción breve de cada uno, así como su bosquejo a mano alzada.

Seguido a esto, en el Anexo E, se realiza la evaluación técnica – económica, el cual consiste en evaluar la solución en base a criterios que tienen diferentes pesos relativos de acuerdo a su importancia. Finalmente, los valores obtenidos para cada solución son colocados en un gráfico comparativo para obtener la solución óptima que se debe diseñar.

A continuación, se realiza una descripción breve del funcionamiento del concepto de solución óptimo obtenido, y se muestra un bosquejo de este.

### **3.3.5 Concepto de solución óptimo**

En el concepto de solución óptimo, el sistema de suministro de escamas cuenta con un tornillo transportador para alimentar la tolva del sistema de extrusión; dicho tornillo transportador es abastecido con escamas de PET por una tolva más grande que el del sistema de extrusión. Por otro lado, el sistema de suministro de masterbatch cuenta con tres tolvas pequeñas para su almacenamiento, y tres tornillos transportadores, para el transporte de masterbatch hacia el sistema de extrusión. Ambos sistemas son accionados por motores DC, y sus velocidades son sensadas por encoders ópticos.

Para el transporte de escamas y extrusión del fluido viscoso de PET se cuenta con un mecanismo de husillo simple, el cual es accionado por un motor AC; y su velocidad es sensada por un encoder óptico para su control. Para la fundición de las escamas y masterbatch se tienen resistencias calentadoras de tipo abrazadera a lo largo de la cámara de fundición, y dentro se tiene una termocupla para el sensado de la temperatura. Para dar la forma al fluido viscoso, al final de la cámara de fundición, se tiene un plato extrusor, el cual tiene agujeros distribuidos circularmente. Además, los filamentos extruidos salen del sistema de extrusión hacia una cámara de enfriamiento con agua, lo cual permite enfriar los filamentos mientras son cortados en pellets.

El sistema de corte cuenta con una porta cuchillas, la cual es accionada por un motor AC, y su velocidad es sensada por un encoder óptico.

Finalmente, esta solución cuenta con un PLC para el procesamiento de la información de los sensores, y para el control de los diferentes sistemas; asimismo, posee un panel de control, el cual cuenta con interruptores giratorios, botones de control e indicadores de estado.

En la Figura 22, se muestra el bosquejo del concepto de solución descrito.

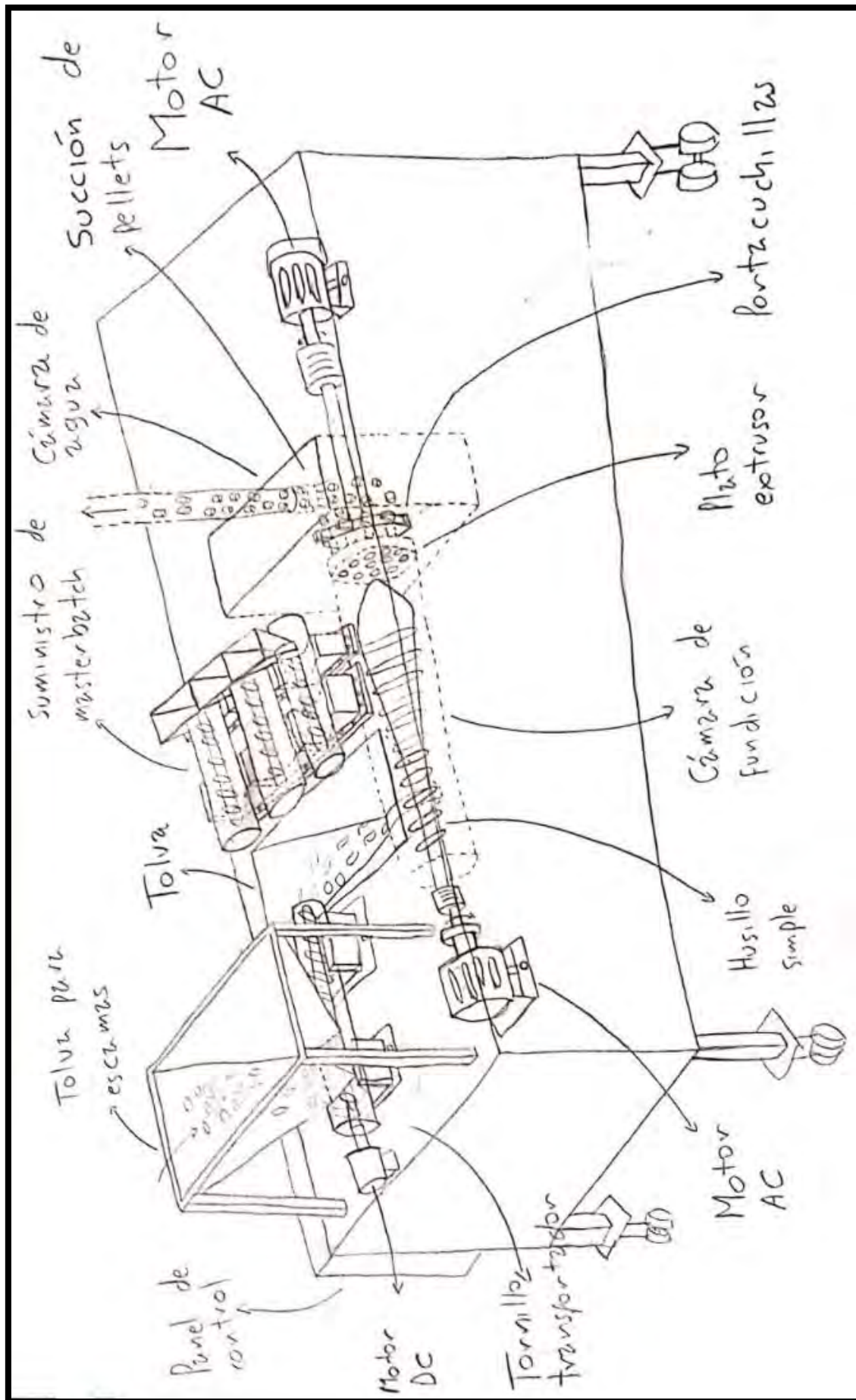


Figura 22. Concepto de solución óptimo.

## CAPÍTULO 4

### INGENIERÍA DE DETALLE DEL SISTEMA MECÁNICO

En el siguiente capítulo se presentan los cálculos mecánicos del proyecto definitivo óptimo para la selección de materiales; además, se realiza cálculos para el dimensionamiento de algunos elementos, así como para la elección del motor que accionará los sistemas de suministro, extrusión y corte. Asimismo, en el Anexo F, se puede observar el diseño final de la máquina ensamblada.

#### 4.1 Sistema de suministro de escamas de PET

Este sistema es el encargado del suministro de escamas de PET a la tolva que conduce a la cámara de fundición, estas escamas deberán tener un diámetro máximo de 5 mm para evitar atascamiento durante su transporte. El sistema está compuesto por la tolva de alimentación, el tornillo transportador, el cilindro a través del cual se desplazan las escamas, la transmisión de potencia y el motor DC. A continuación, en la Figura 23 se puede observar el sistema diseñado.

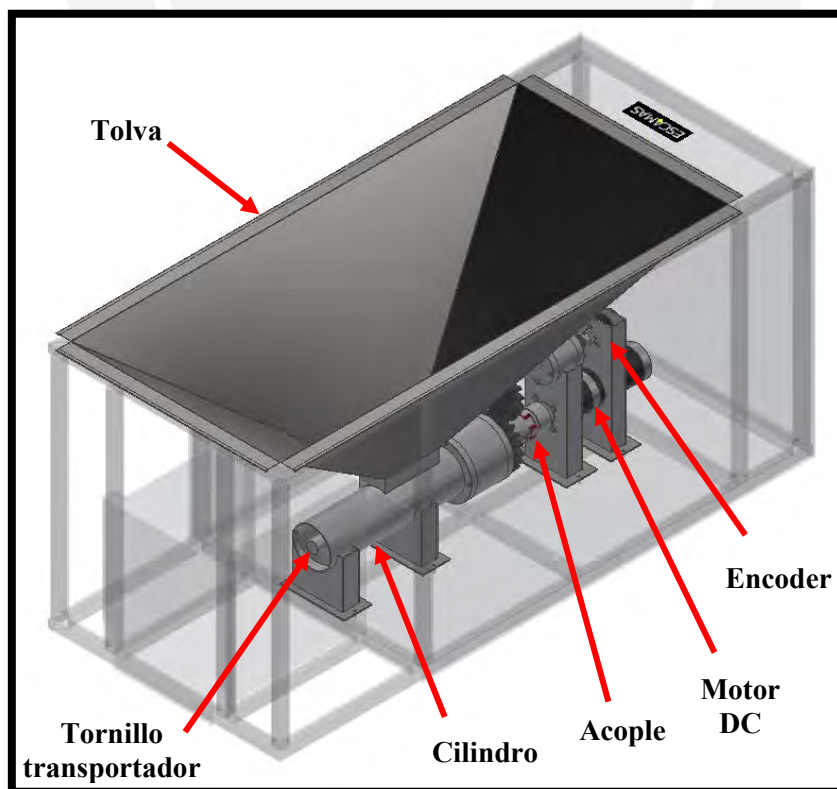


Figura 23. Sistema de suministro de escamas diseñado.

#### 4.1.1 Tolva de alimentación

Para el diseño de este elemento, se debe tener en cuenta que debe tener la capacidad de albergar material para 10 minutos de trabajo; este tiempo es pequeño en comparación al de la tolva del sistema de suministro de masterbatch, ya que este elemento recibirá materia prima todo el tiempo; además, la tolva debe ofrecer un flujo de material constante. Para esto, primero se selecciona una tolva de sección rectangular, ya que esta ofrece fácilmente el flujo deseado; asimismo, el material para su construcción será el acero inoxidable 304 (Böhler Perú, 2019), debido a que es de fácil adquisición en el mercado local.

En el Anexo G se realiza el cálculo detallado de las dimensiones que debe tener la tolva de alimentación de escamas para que cumpla con lo descrito anteriormente.

En la Figura 24 se muestra el modelado 3D final de la tolva.



Figura 24. Tolva de alimentación – sistema de suministro de escamas.

#### 4.1.2 Cilindro escamas

Este elemento es el encargado de guiar las escamas hacia la tolva de la cámara de fundición, para lo cual debe soportar el peso de las escamas que va a desplazar, así como su propio peso; por lo tanto, en el Anexo H, se realiza el cálculo del esfuerzo equivalente según Tresca para determinar el factor de seguridad de dicho elemento, sabiendo que tendrá un espesor de 2 mm, y que el cilindro estará hecho de acero ASTM A – 312 (HGA, 2021), el cual es de fácil adquisición en el mercado local.

En la Figura 25 se muestra el modelado 3D final del cilindro.



Figura 25. Cilindro de alimentación – sistema de suministro de escamas.

#### 4.1.3 Tornillo transportador

Para realizar el diseño del tornillo transportador, se debe tener en cuenta el tamaño aproximado de las escamas ( $\phi_{\text{escamas}} = 5 \text{ mm.}$ ), la longitud a desplazar y el flujo de salida del sistema de extrusión, con lo cual, en el Anexo I, se realiza el cálculo de las dimensiones de este elemento, el cual estará hecho de acero ASTM A276 (Inamesa, 2019).

En la Figura 26 se muestra el modelado 3D final del tornillo transportador de escamas.

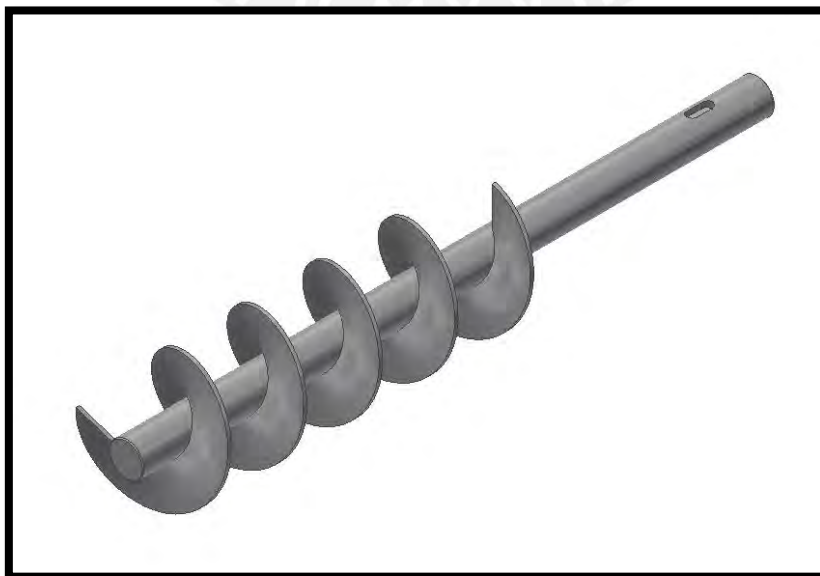


Figura 26. Tornillo transportador – sistema de suministro de escamas.

#### 4.1.4 Motor DC

Finalmente, en el Anexo J, se realiza el cálculo de la potencia necesaria para transportar las escamas hacia el sistema de extrusión, obteniéndose una velocidad de giro igual a 81 rpm, y una potencia de 0.08 kW. En la siguiente figura se muestra el modelado 3D del motor elegido en la sección 5.4.



Figura 27. Motor DC de 150 W y 110 rpm.

#### 4.2 Sistema de suministro de masterbatch

Este sistema es el encargado del suministro de masterbatch ( $\phi_{\text{masterbatch}} = 2 \text{ mm}$ ), el cual tiene como función colorear el fluido viscoso que se obtiene al fundir las escamas de PET reciclado; está compuesto por la tolva de alimentación, el tornillo transportador, el cilindro a través del cual se desplaza los masterbatch, la transmisión de potencia y el motor DC. A continuación, en la Figura 28, se muestra el sistema diseñado.

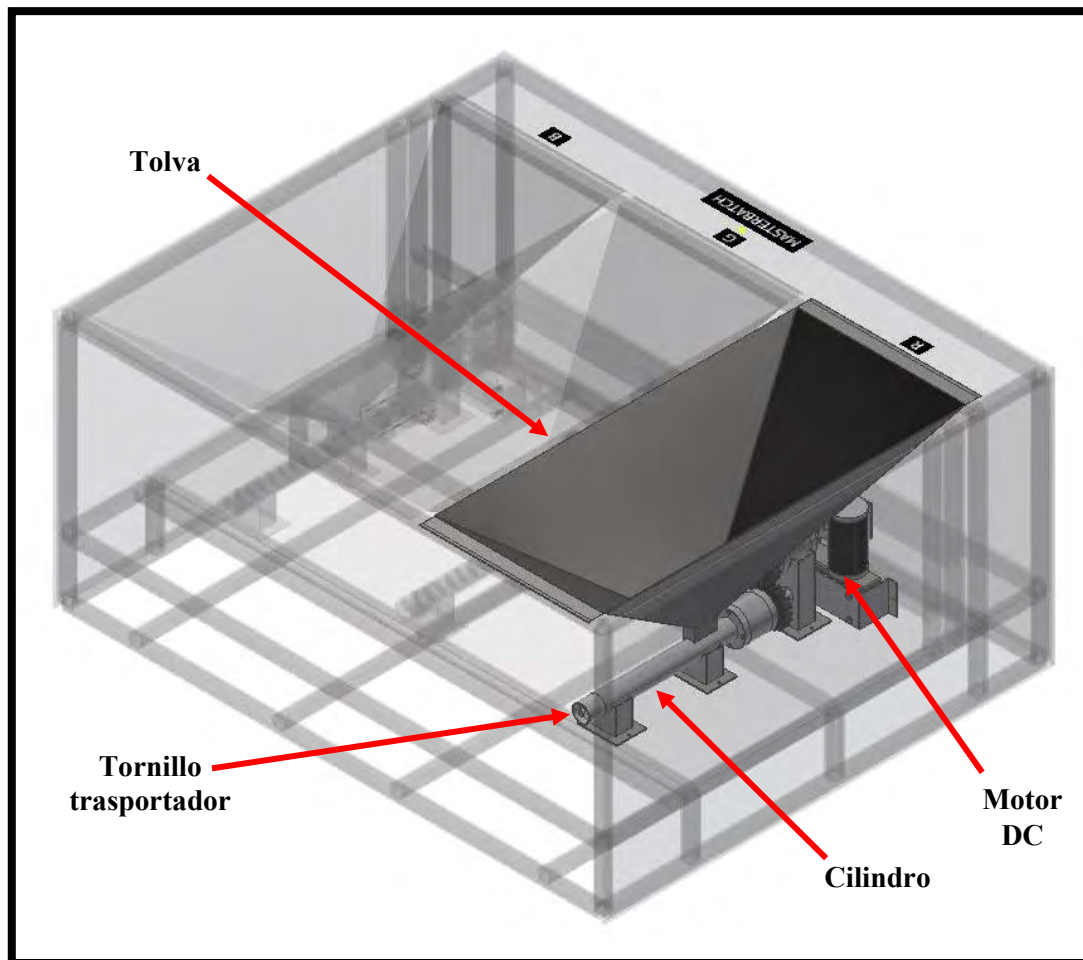


Figura 28. Sistema de suministro de masterbatch diseñado.

#### 4.2.1 Tolva de alimentación

Para el diseño de este elemento, se determinó que debe tener la capacidad de albergar material para 6 horas de trabajo, sabiendo que la masa de masterbatch necesaria para colorear es el 2% de la masa de escamas de PET (Colortec, s.f.). Además, debe ofrecer un flujo de material constante, para lo cual se selecciona una tolva de sección rectangular, así como, el acero inoxidable 304 (Böhler Perú, 2019) para su construcción, ya que este material se adquiere fácilmente en el mercado local.

Entonces, aplicando el método utilizado en el Anexo G, y teniendo en cuenta que los masterbatch tienen una densidad igual a  $850 \text{ kg/m}^3$  (Ambiente Plástico, 2018), se obtienen las dimensiones mostradas en la Figura 29.

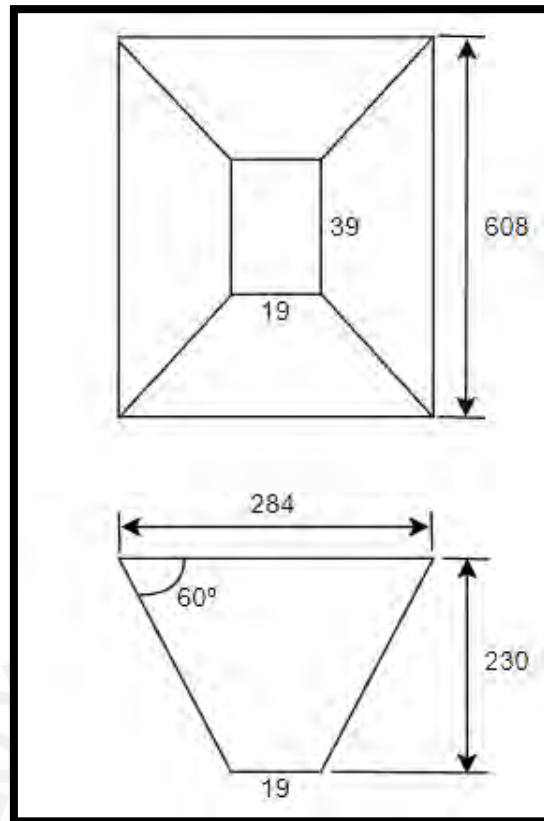


Figura 29. Dimensiones de la tolva – sistema de suministro de masterbatch.

Asimismo, en la Figura 30 se muestra su modelado 3D final.



Figura 30. Tolva de alimentación – sistema de suministro de masterbatch.

#### 4.2.2 Cilindro

Este elemento es el encargado de guiar los masterbatch hacia la tolva de la cámara de fundición, para lo cual debe soportar el peso de dichos masterbatch que va a desplazar, así como

su propio peso; por lo tanto, sabiendo que tendrá un espesor de 2 mm, y que estará hecho de acero ASTM A – 312 (HGA, 2021), se aplica el método utilizado en el Anexo H, con lo cual se llega a la conclusión que este elemento soporta todos los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

A continuación, en la Figura 31 se puede observar las dimensiones del cilindro, así como la disposición de sus soportes:

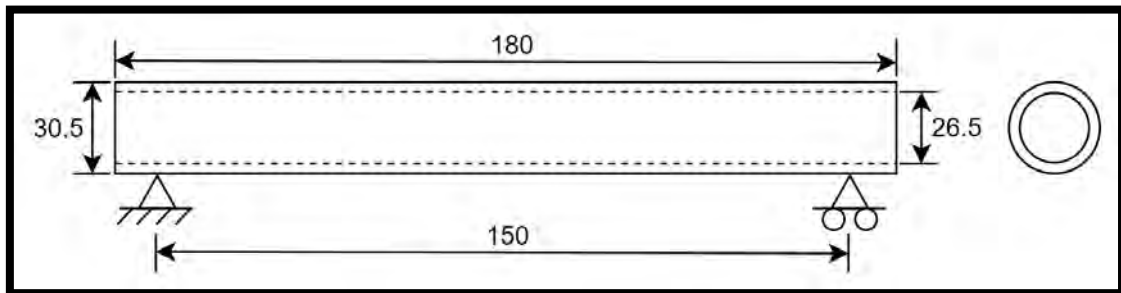


Figura 31. Apoyos y dimensiones del cilindro – sistema de suministro de masterbatch.

Asimismo, en la Figura 32 se muestra el modelado 3D final del cilindro.

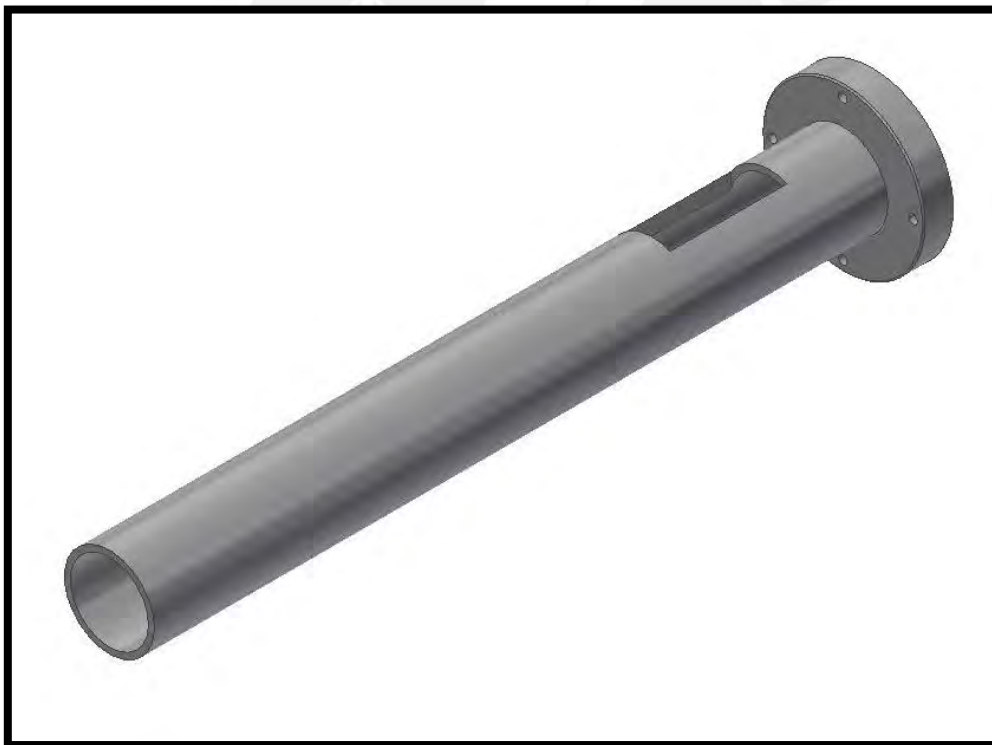


Figura 32. Cilindro de alimentación – sistema de suministro de masterbatch.

### 4.2.3 Tornillo transportador

Para el diseño de este elemento, se debe tener en cuenta que se desplazará los masterbatch una distancia de 165 mm, y que estos tienen un diámetro igual a 2 mm. Asimismo, se determina que el tornillo sin fin estará hecho de acero ASTM A – 276 (Inamesa, 2019). Finalmente,

aplicando el método utilizado en el Anexo I, se llega a la conclusión que el elemento diseñado soportará todos los esfuerzos a los que se encontrará sometido.

En la Figura 33 se puede ver las dimensiones del tornillo diseñado, así como la disposición de sus soportes:

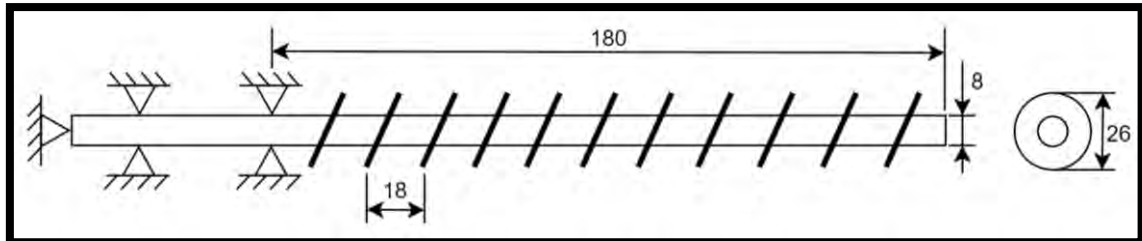


Figura 33. Apoyos y dimensiones del tornillo transportador – sistema de suministro de masterbatch.

Asimismo, en la Figura 34 se muestra su modelado 3D final.

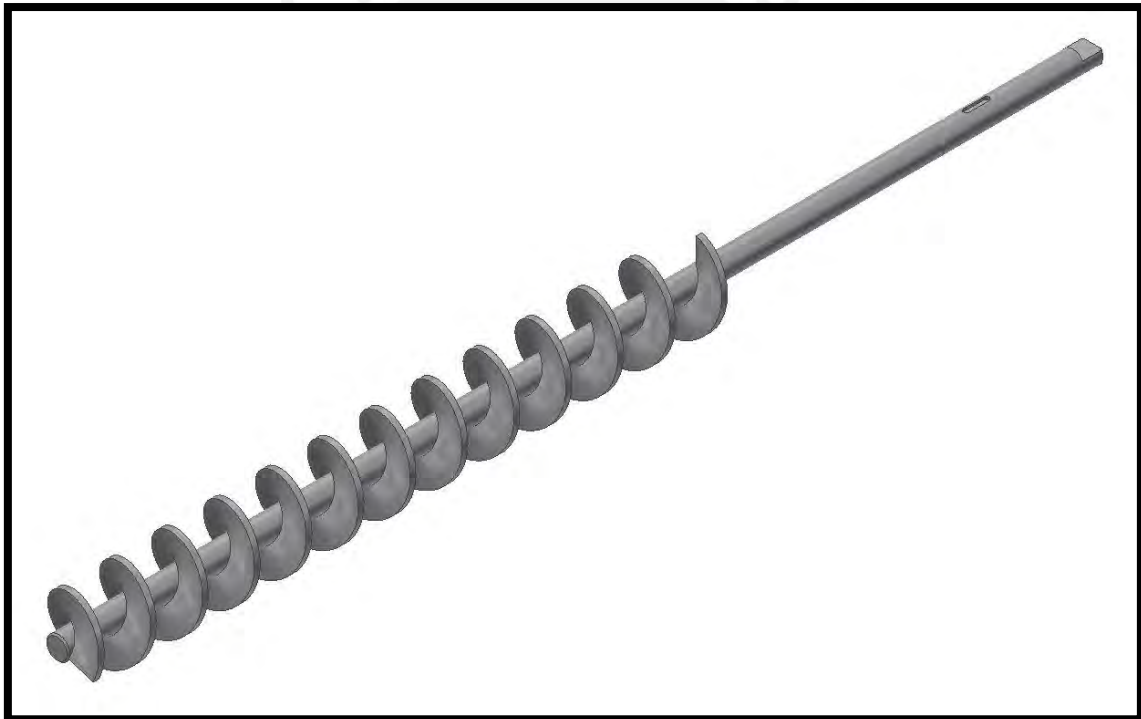


Figura 34. Tornillo transportador – sistema de suministro de masterbatch.

#### 4.2.4 Motor DC

Para el cálculo de la potencia que se necesita para el desplazamiento de los masterbatch, se tiene en cuenta que se transportará un producto granuloso, ligero y poco abrasivo, y, además, que la inclinación del canalón será igual a  $0^\circ$ . Entonces, utilizando el método del Anexo J, se obtiene una velocidad de giro igual a 12 rpm, y una potencia mínima de 0.02 kW. En la Figura 35 se muestra el modelado 3D del motor elegido en la sección 5.4.

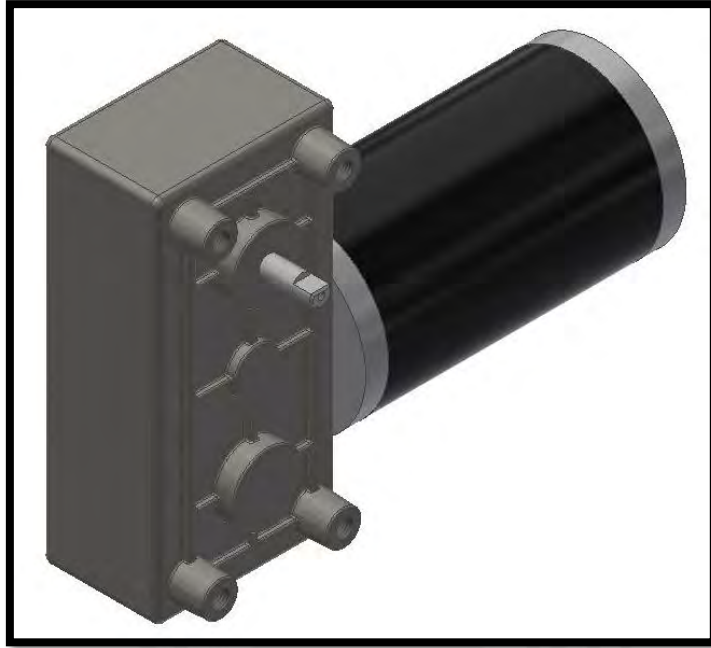


Figura 35. Motor DC de 20 W y 15 rpm.

#### 4.3 Sistema de extrusión

Este sistema es el encargado de la extrusión de las escamas de PET reciclado para obtener los filamentos que serán cortados; está compuesto por la tolva de alimentación, la matriz de extrusión, el husillo, la resistencia calentadora, la transmisión de potencia y el motor AC. A continuación, en la Figura 36 se muestra el sistema diseñado.

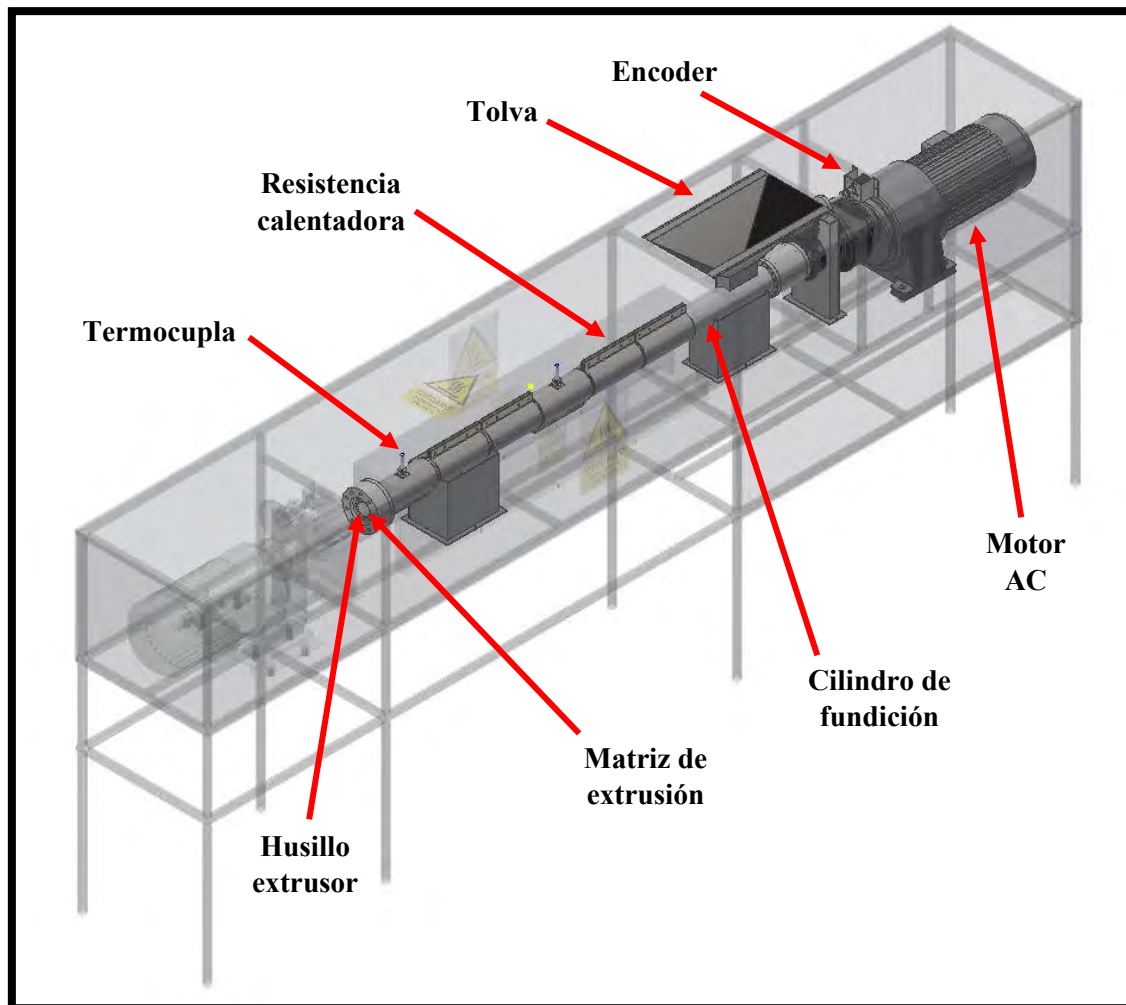


Figura 36. Sistema de extrusión diseñado.

#### 4.3.1 Tolva de alimentación

Para el diseño de este elemento, se determina que debe tener la capacidad de albergar material para 1 minuto de trabajo, ya que esta tolva solo es la encargada de guiar las escamas y los masterbatch hacia la cámara de fundición. Luego, se selecciona una tolva de sección rectangular, así como, el acero inoxidable 304 (Böhler Perú, 2019) para su construcción. Finalmente, aplicando el método utilizado en el Anexo G, y teniendo en cuenta que las escamas tienen una densidad, aproximada, igual a  $400 \text{ kg/m}^3$  (Ambiente Plástico, 2018), se obtienen las siguientes dimensiones:

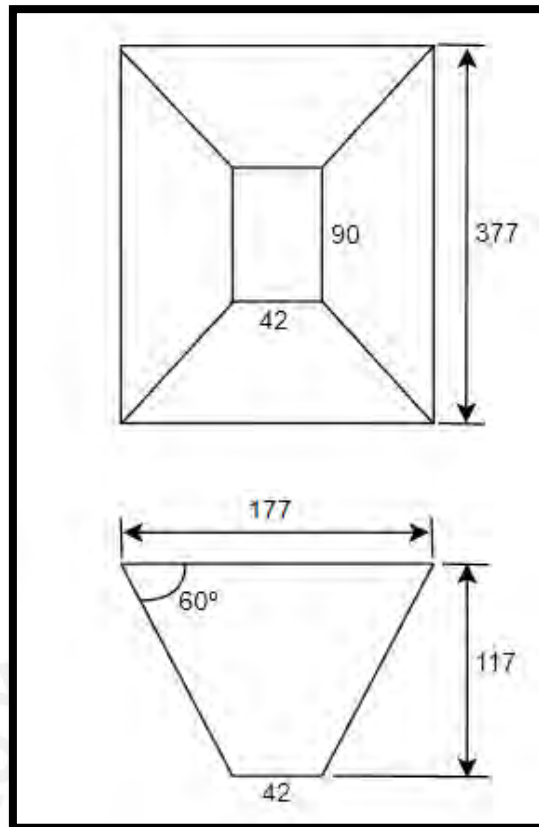


Figura 37. Dimensiones de la tolva – sistema de extrusión.

Asimismo, en la Figura 38 se muestra el modelado 3D de la tolva diseñada.



Figura 38. Tolva de alimentación – sistema de extrusión.

#### 4.3.2 Matriz de extrusión

Este elemento tiene como función principal dar la forma final a los pellets de PET reciclado para luego ser cortados por el sistema de corte. Se define que su material de fabricación

será el acero ASTM A 105 (Metalplast, s.f.), debido a sus propiedades mecánicas y fácil adquisición en el mercado local. En el Anexo K, se realiza el cálculo del número de agujeros que debe tener para obtener un flujo de salida de  $80 \text{ kg/h}$ ; asimismo, se muestra los resultados del análisis por elementos finitos realizado a la matriz.

En la Figura 39 se muestra el modelado 3D de la matriz de extrusión diseñada.

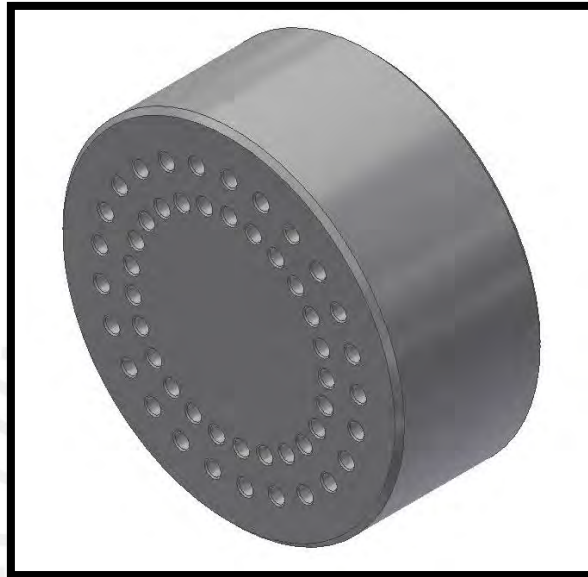


Figura 39. Matriz de extrusión.

### 4.3.3 Husillo extrusor

Este elemento es el encargado de realizar la extrusión del fluido viscoso a través de la matriz de extrusión, con la finalidad de obtener los filamentos que luego serán cortados por el sistema de corte. Para su diseño, en el Anexo L, se utiliza el método presente en el libro llamado "Transformación de plásticos" (Savgorodny, 1973).

A continuación, en la Figura 40 se muestra algunos de los parámetros necesarios para su construcción.

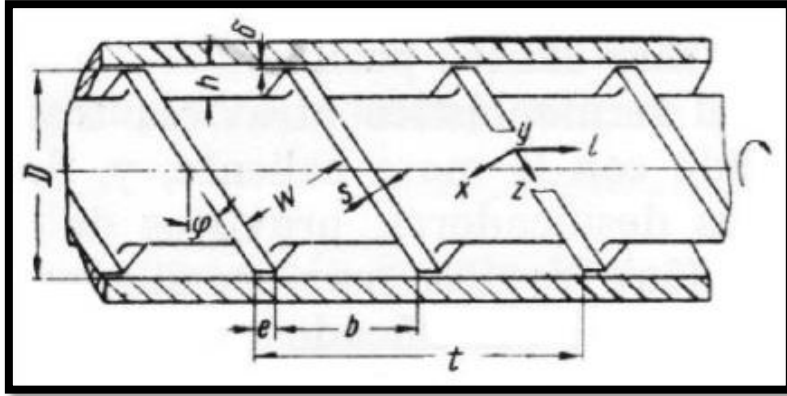


Figura 40. Vista general de un husillo de extrusión (Savgorodny, 1973)

Asimismo, en la Figura 41 se muestra las zonas que tiene el husillo de extrusión, observándose también que este elemento está sometido a una mayor presión en la zona de dosificado.

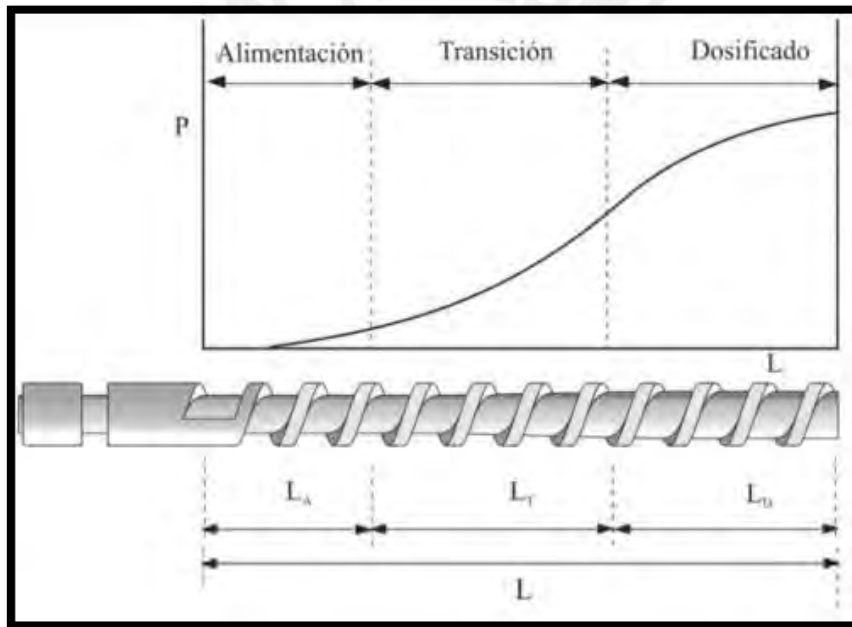


Figura 41. Zonas del husillo y nivel de presión a la cual se encuentra sometido (Antonio, 2012)

En la Tabla 8 se muestran los parámetros finales que tendrá el husillo diseñado.

**Tabla 8: Valores de los parámetros del husillo de extrusión**

D (mm)	t (mm)	e (mm)	$\varphi$ (°)	$\delta$ (mm)	$h_A$ (mm)	$h_D$ (mm)	$L_{total}$ (mm)
60	60	6	17.66	0.24	9.6	2.82	1200

Nota. Elaboración propia

Finalmente, se determina utilizar el acero ASTM A – 276 (Jnacero, s.f.) como material para su fabricación, debido a sus propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión; además, este tipo de acero es de fácil adquisición en el mercado local.

A continuación, en la Figura 42 se muestra el modelado 3D del husillo extrusor diseñado.

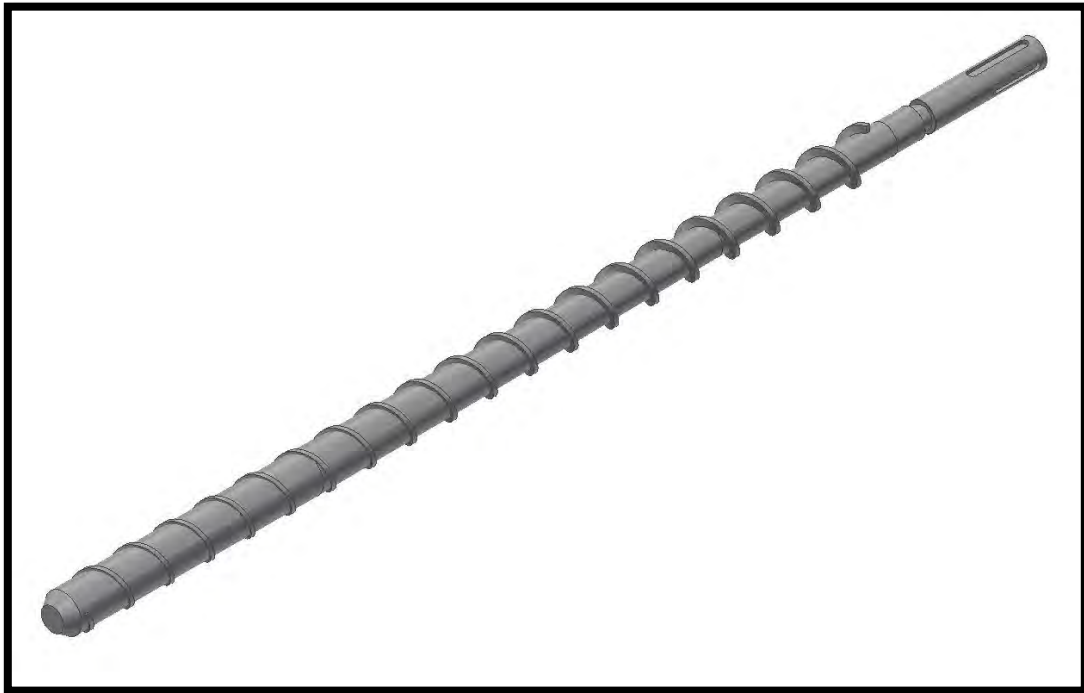


Figura 42. Husillo extrusor.

#### 4.3.4 Cámara de fundición

Este elemento es el encargado de guiar el fluido de PET hacia la matriz de extrusión, para lo cual debe soportar la presión máxima en la zona de dosificación, el peso del fluido de PET, y, además, su propio peso. En el Anexo M, se realiza el cálculo de sus dimensiones y factor de seguridad, llegando a la conclusión de que será fabricado de acero ASTM A – 312 (HGA, 2021) y que soportará los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

A continuación, en la Figura 43 se muestra las dimensiones de la cámara de fundición diseñada.

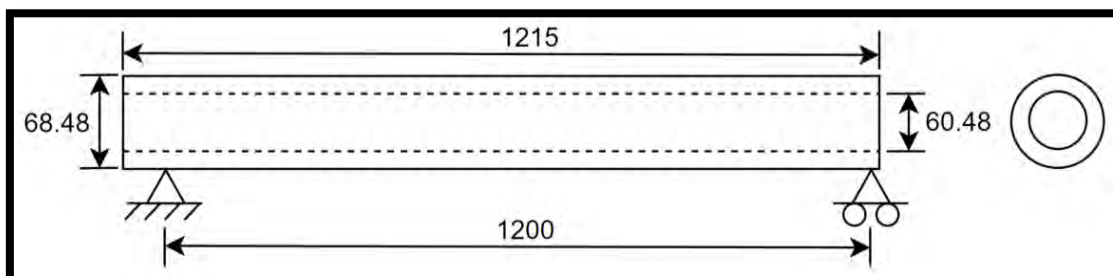


Figura 43. Apoyos y dimensiones de la cámara de fundición.

Además, en la Figura 44 se muestra su modelado 3D final.

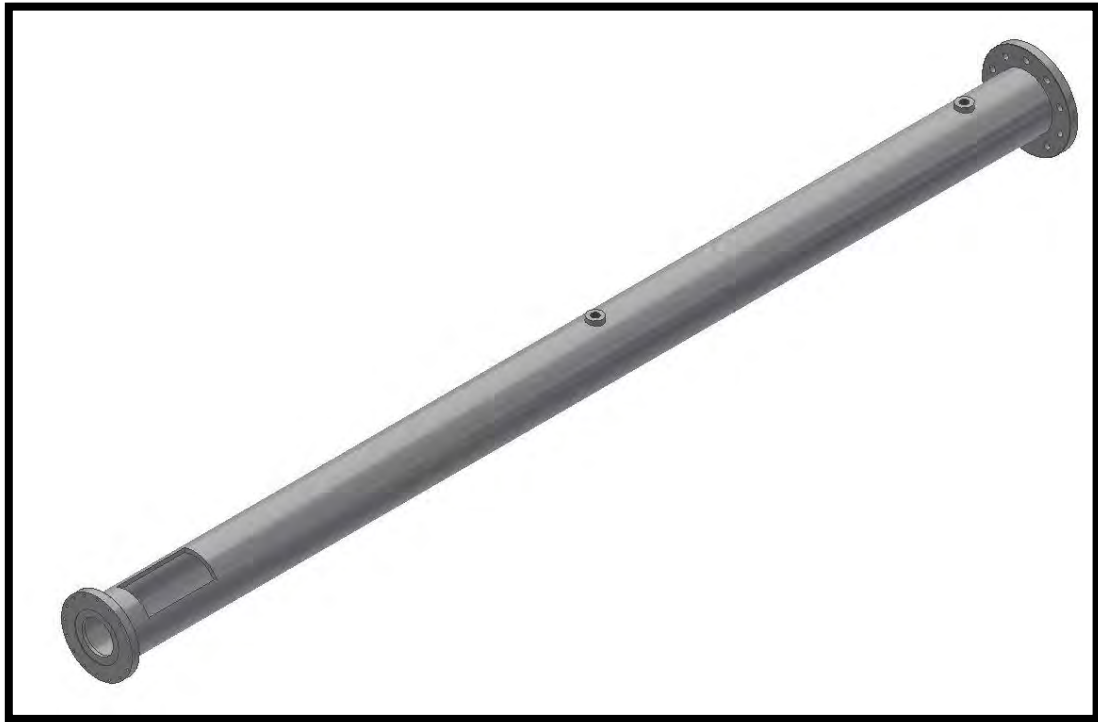


Figura 44. Cámara de fundición.

#### 4.3.5 Motor AC

Para el cálculo de la potencia que requiere el sistema de extrusión según el libro Transformación de plásticos (Savgorodny, 1973), se necesita calcular la velocidad de giro del motor; para esto, se debe calcular los tres tipos diferentes de coeficiente del sistema, para luego calcular el flujo de salida deseado. Luego de realizar dichos cálculos en el Anexo N, se obtiene que el motor debe tener una velocidad de giro de 24 rpm y una potencia de 3.7 kW.

A continuación, en la Figura 45 se puede observar el modelado 3D del motor elegido en la sección 5.4.



Figura 45. Motor AC de 3.7 kW y 30 rpm.

#### 4.3.6 Resistencia calentadora

Para realizar el cálculo de la potencia necesaria que debe tener la resistencia del sistema de extrusión, se necesitan algunos de los datos calculados en el Anexo K (Volumen extruido por segundo,  $\dot{V}_{extruido}$ , y el número de agujeros de la matriz de extrusión). Con estos datos, en el Anexo O, se realiza el cálculo de la potencia total necesaria para fundir el PET, obteniéndose un valor de 2 kW para 6 resistencias de tipo abrazadera.

A continuación, en la Figura 46, se puede observar el modelado 3D de la resistencia diseñada para el sistema extrusor.



Figura 46. Resistencia de 2 kW y largo 160 mm.

#### 4.4 Sistema de corte

Este sistema se encarga de cortar los pellets que salen del sistema de extrusión a la longitud deseada; está conformado por las cuchillas de corte, la portacuchillas, el eje de la portacuchillas, la transmisión de potencia y el motor AC. A continuación, en la Figura 47 se muestra el sistema diseñado.

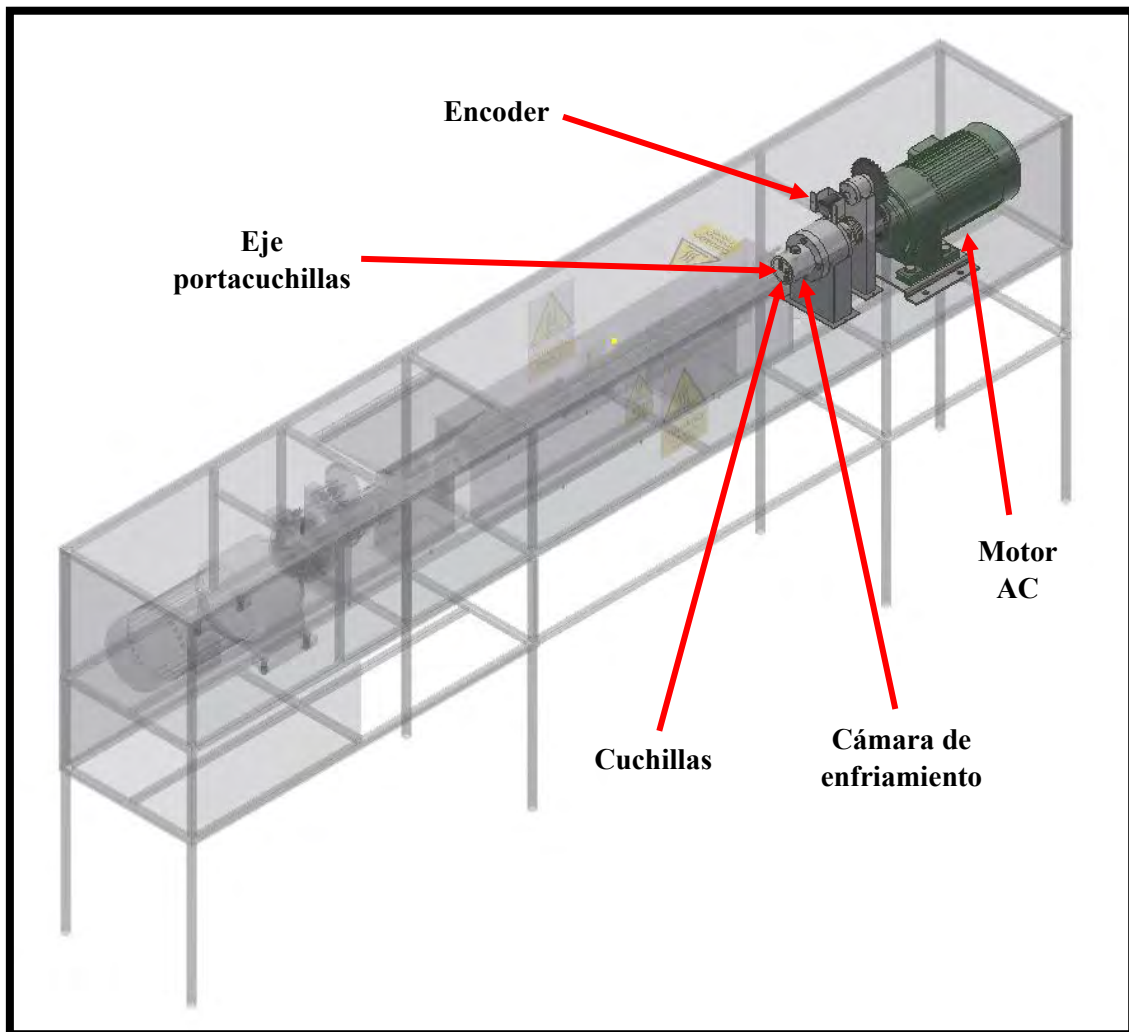


Figura 47. Sistema de corte diseñado.

##### 4.4.1 Eje de la portacuchillas

Este elemento es el encargado de transmitir la potencia a la portacuchillas para poder realizar el corte de los filamentos extruidos, y de esta forma obtener los pellets. En el Anexo P se determina que el diámetro del eje será de 10 mm, y su material será el acero ASTM A276 (Jnacero, s.f.). Del análisis realizado al eje se concluye que este soporta los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

A continuación, en la Figura 48, se muestra las dimensiones principales que tendrá el eje de la porta cuchillas.

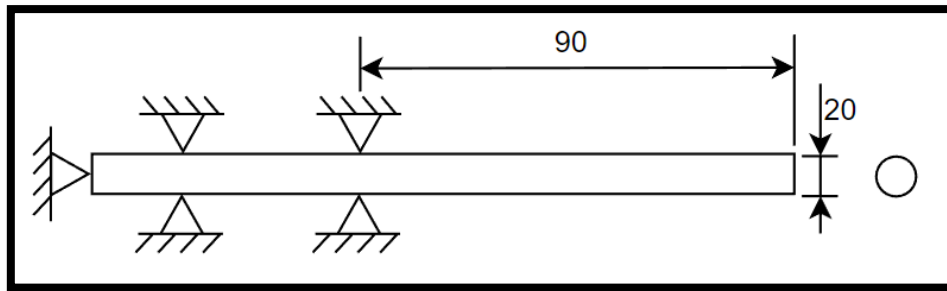


Figura 48. Dimensiones principales del eje de la porta cuchillas.

Asimismo, en la Figura 49 se muestra el modelado 3D final del elemento.



Figura 49. Eje de la porta cuchillas.

#### 4.4.2 Cuchilla

Este elemento es el encargado de realizar el corte de los filamentos extruidos, por tal motivo, debe tener una alta resistencia al desgaste para cambiar las cuchillas con menor frecuencia. Por lo tanto, se elige el acero Böhler K110 – D2 (Flores, 1999), el cual tiene un módulo de elasticidad igual a 198000 MPa y un esfuerzo admisible igual a 1385 MPa (Jan Mayén, 2010); además, se determina que este elemento tendrá un espesor de 2 mm. A continuación, en la Figura 50 se muestra las dimensiones de la cuchilla diseñada.

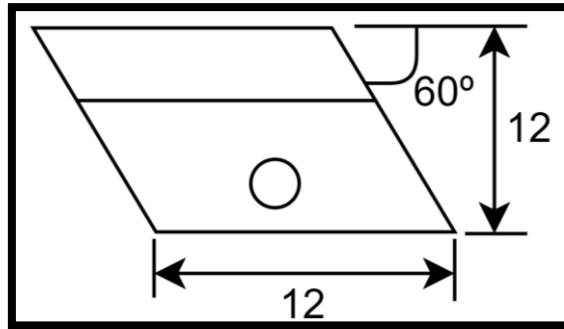


Figura 50. Dimensiones de la cuchilla diseñada.

Finalmente, en el Anexo Q, se realizan los cálculos aproximados para determinar si las dimensiones elegidas son suficientes para soportar los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

En la Figura 51 se muestra el modelado 3D final de la pieza.

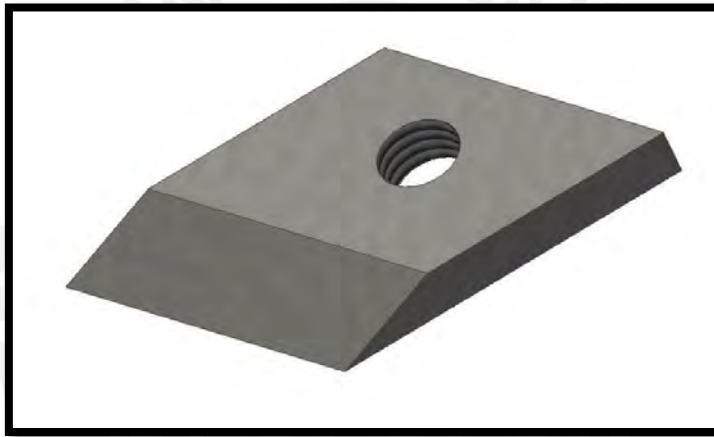


Figura 51. Cuchilla de corte.

#### 4.4.3 Motor AC

Finalmente, en el Anexo R, se realiza el cálculo de la potencia necesaria para el sistema de corte, en el cual se obtiene una potencia de 1.4 kW y una velocidad de giro igual a 500 rpm para la obtención de pellets con una longitud de 3 mm.

A continuación, en la Figura 52, se puede observar el motor elegido en la sección 5.4 para el sistema de corte.



Figura 52. Motor AC de 1.5 kW y 600 rpm.

#### 4.5 Panel de control

A continuación, en la Figura 53, se puede observar el panel de control diseñado, en el cual se encuentran los indicadores de estado (inicio y pausa), los botones de control (inicio, pausa, continuar y terminar), los controladores de temperatura, los selectores (color y flujo), y el botón de parada de emergencia.



Figura 53. Panel de control.

## CAPÍTULO 5

### INGENIERÍA DE DETALLE DEL SISTEMA DE CONTROL

En el siguiente capítulo se muestra el diagrama de operaciones y se establece la lógica de control que permite el desarrollo del algoritmo para el correcto funcionamiento del sistema mecatrónico diseñado. Además, se realiza la elección de los dispositivos electrónicos del sistema (sensores y actuadores); y también, se presenta la arquitectura del hardware eléctrico – electrónico.

#### 5.1 Diagrama de operaciones

En la figura 54 se muestra el diagrama de operaciones del sistema mecatrónico, en el cual se observa la secuencia de operaciones que debe realizar el operario y la máquina, para convertir las escamas de PET previamente lavadas en pellets.

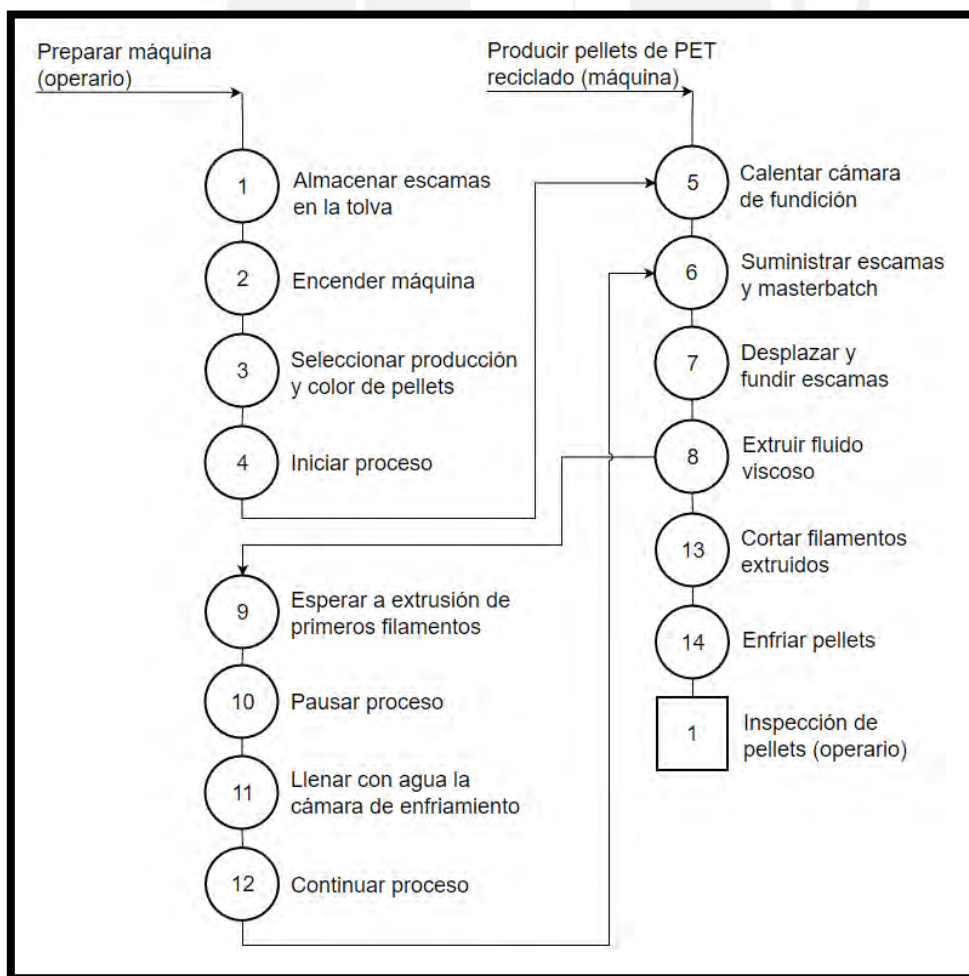


Figura 54. Diagrama de operaciones del sistema mecatrónico.

## **5.2 Lógica de control**

La estrategia de control para el correcto funcionamiento del sistema mecatrónico está representada por el diagrama de flujo “Lazo principal”, el cual cuenta con subprogramas para la declaración de variables y control de los diferentes componentes electrónicos del sistema. A continuación, se realiza la descripción del programa principal y subprogramas presentes en el.

### **5.2.1 Lazo principal**

En la Figura 55 se presenta el lazo principal del sistema, el cual primero realiza el suministro de energía a los componentes eléctricos y electrónicos; y seguido a esto, la configuración inicial del PLC. Luego, se inicia el sistema una vez elegido el flujo de salida deseado y el color de los pellets. Cuando se presiona el botón de inicio, se enciende la luz piloto LED verde, y se inicia el calentamiento del sistema de extrusión hasta la temperatura requerida; una vez que se alcanza dicha temperatura, se realiza el encendido y control en paralelo de los sistemas de suministro de escamas, suministro de masterbatch, extrusión y corte; además, se continúa controlando la temperatura del sistema de extrusión. Después, se realiza la lectura del botón de pausa, el cual si no es presionado se continúa realizando el control de temperatura y velocidades de los sistemas antes mencionados, caso contrario, se pasa a encender la luz piloto LED naranja y se apagan los motores de todos los sistemas, pero se continúa realizando el control de temperatura del sistema de extrusión; luego, el sistema lee la señal del botón de terminar, si se presiona este botón, se apagan las resistencias y la luz piloto LED naranja, caso contrario, se lee la señal del botón continuar; si este último no es presionado, se continúa realizando el control de temperatura y la lectura de la señal del botón de terminar, pero si se presiona, el algoritmo vuelve al subprograma “Iniciar sistema” para ingresar el flujo de salida y el color de los pellets, y espera a que el botón de inicio sea presionado para realizar el proceso de extrusión y corte del PET.

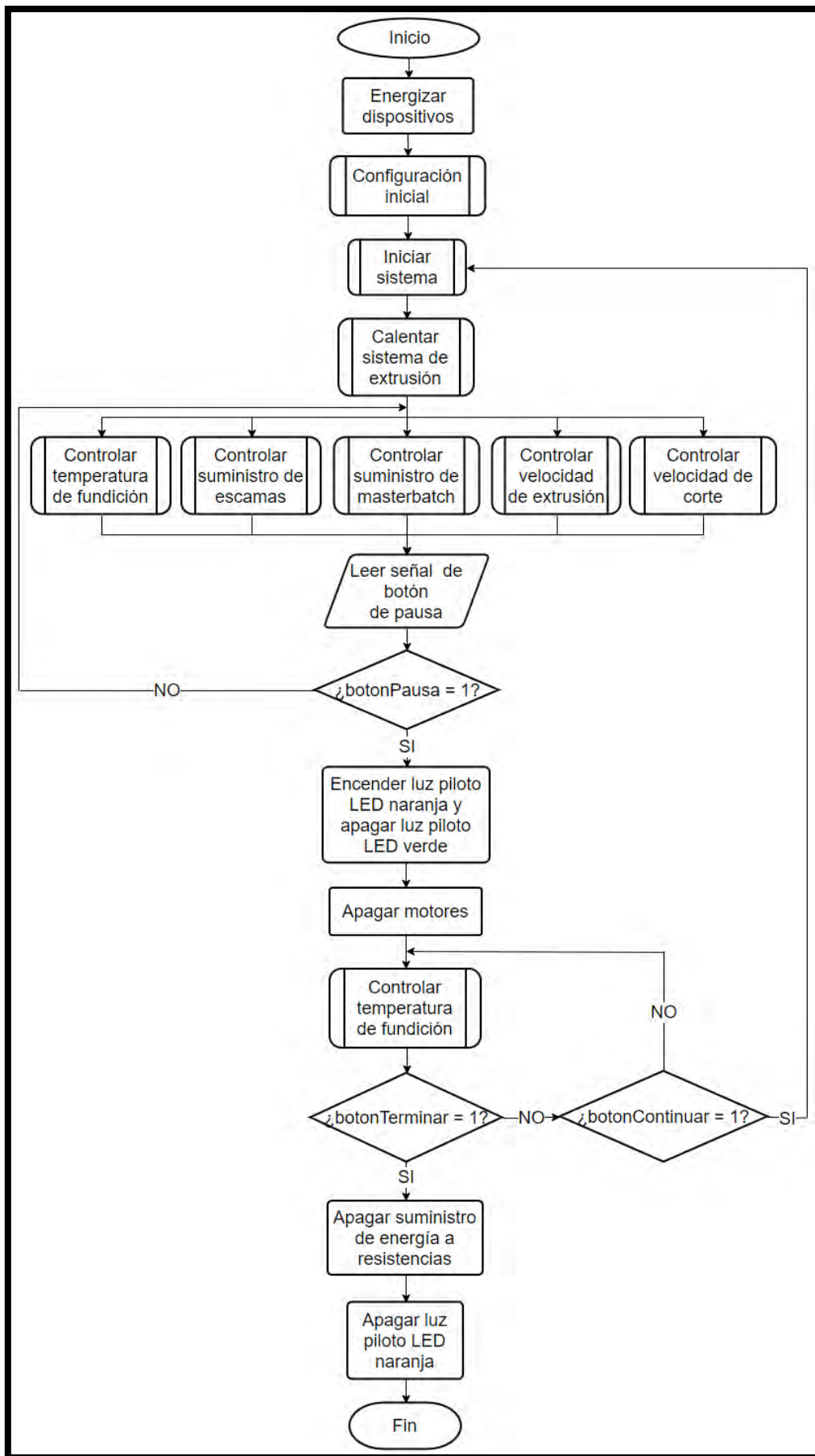


Figura 55. Lazo principal del sistema.

### 5.2.2 Subprograma Configuración inicial

En este subprograma se realiza la configuración de los pines de entrada y salida del microcontrolador; además, se declaran las variables que se utilizarán para recibir información del panel de control y de los sensores del sistema, así como para almacenar el valor de referencia de la velocidad de giro de los motores; por ejemplo, la variable “seleccionFlujo” se usará para almacenar la información del flujo que producirá la máquina, “sensorVelocidad1” se utilizará para recibir la información del sensor del sistema de suministro de escamas, “velocidadMotor1” se empleará como valor de referencia para el control de la velocidad de giro del tornillo transportador, etc. En la Figura 56 se muestra el subprograma mencionado.

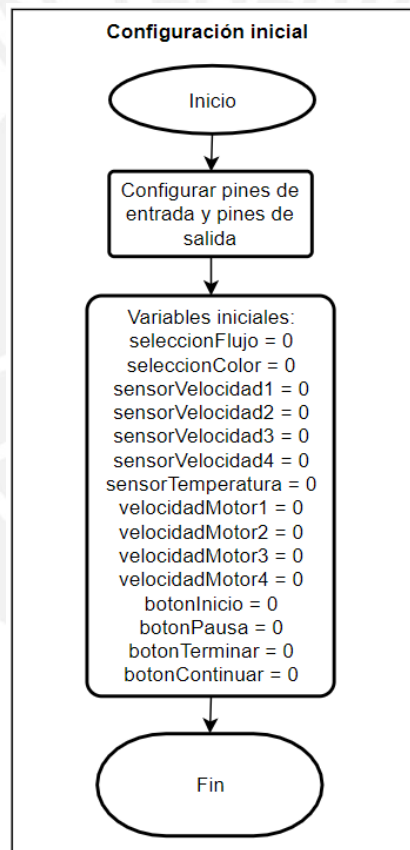


Figura 56. Subprograma Configuración inicial.

### 5.2.3 Subprograma Iniciar sistema

En este subprograma se realiza la lectura del flujo de salida que el operario selecciona a través de un interruptor giratorio, así como el color de los pellets. Luego de realizar la lectura de los interruptores giratorios, pasará a verificar si se presiona el botón de inicio; si este botón no es presionado, el microcontrolador continuará realizando la lectura de la señal que envían los

interruptores, pero si se presiona el botón de inicio, el flujo de salida y el color seleccionado se almacenan en las variables “seleccionFlujo” y “seleccionColor”, respectivamente; seguido a esto, “seleccionFlujo” se utiliza para el cálculo de la velocidad de giro de los motores, y luego se enciende la luz piloto LED verde; una vez encendido la luz piloto LED se pasa al siguiente subprograma para el calentamiento del sistema extrusor. En la Figura 57 se muestra el diagrama de flujo del subprograma descrito.

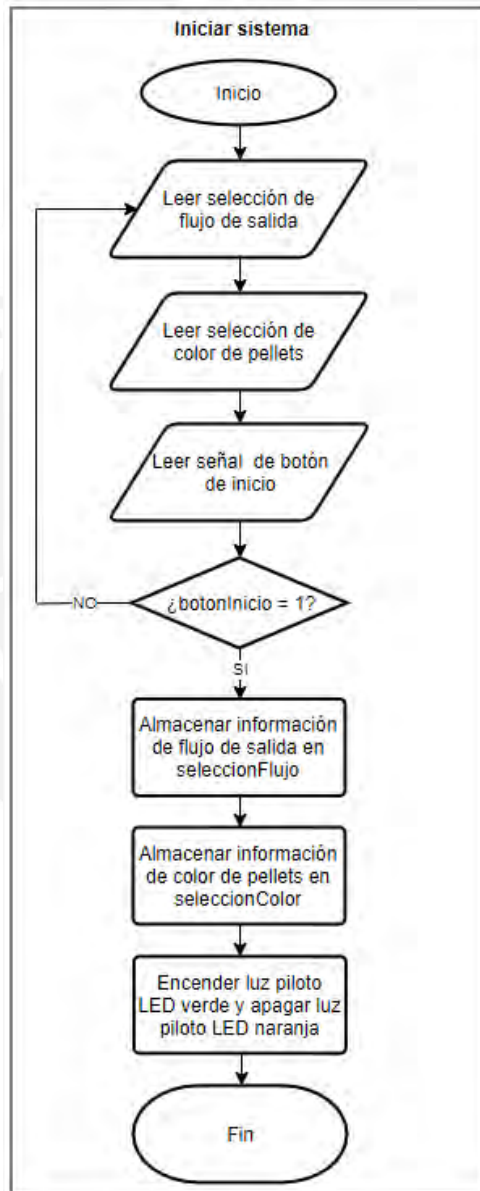


Figura 57. Subprograma Iniciar sistema.

#### 5.2.4 Subprograma Calentar sistema de extrusión

En este subprograma se realiza el encendido de las resistencias para calentar el sistema de extrusión, luego se realiza la lectura del sensor de temperatura y el valor sentido se almacena

en la variable “sensorTemperatura” para compararla con la temperatura necesaria para la extrusión del PET; si la temperatura sensada no está entre 285 °C y 295 °C, el sistema pasa a verificar si es mayor a 295 °C; si la temperatura es mayor a 295 °C, el sistema apaga las resistencias para que el sistema se enfríe, pero si la temperatura no es mayor a 295 °C se mantienen encendidas las resistencias. Una vez que la temperatura del sistema de extrusión alcanza la temperatura requerida, se apagan las resistencias y se pasa a encender y controlar en paralelo los motores de extrusión y corte. En la Figura 58 se muestra el diagrama de flujo descrito.

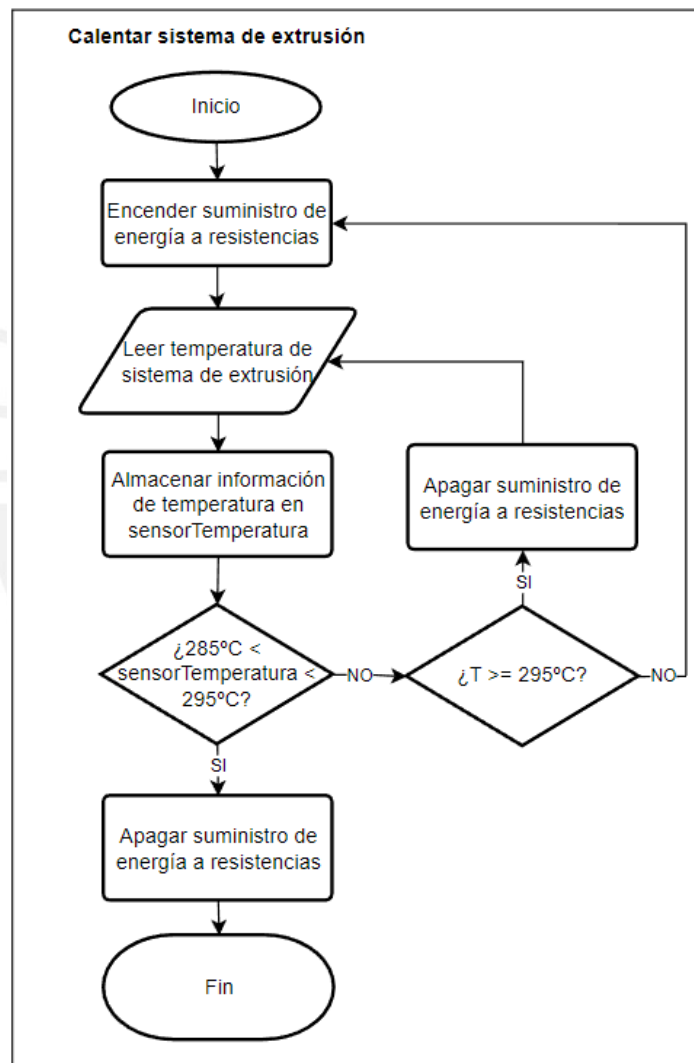


Figura 58. Subprograma Calentar sistema de extrusión.

### 5.2.5 Subprograma Controlar temperatura del sistema de extrusión

Este subprograma se crea para mantener la temperatura del sistema de extrusión dentro del rango de temperatura necesario, sin embargo, tiene la misma lógica que el subprograma “Calentar sistema de extrusión” mostrada anteriormente.

### 5.2.6 Subprograma Controlar suministro de escamas

En este subprograma se determina la velocidad del motor, a partir del flujo seleccionado, y se almacena en la variable “velocidadMotor1”. Seguido a esto, se lee la señal del sensor de velocidad y se almacena en la variable “sensorVelocidad1”. Luego, se verifica que la velocidad sensada sea igual a la velocidad de referencia “velocidadMotor1”; si el valor es diferente, se realizará el cálculo del error, y seguido a esto se aplicará la ecuación PID para determinar la nueva señal PWM. Una vez que se alcanza la velocidad requerida para obtener el flujo seleccionado, se termina el subprograma “Controlar suministro de escamas”. En la Figura 59 se muestra el diagrama de flujo del subprograma descrito.

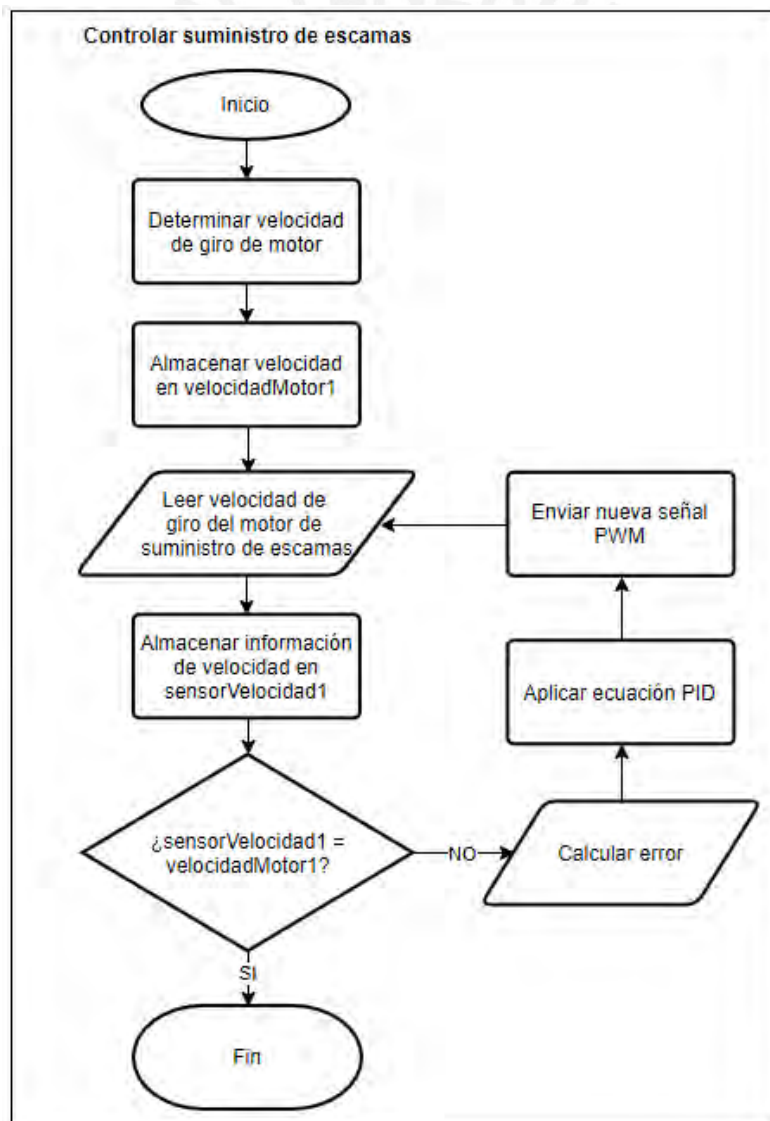


Figura 59. Subprograma Controlar suministro de escamas.

### **5.2.7 Subprograma Controlar suministro de masterbatch**

Este subprograma tiene la misma lógica de control que el subprograma Controlar suministro de escamas, sin embargo, la velocidad de giro del motor se determina a partir de la velocidad de suministro de escamas de PET, y se almacena en la variable “velocidadMotor2”; asimismo, la variable para almacenar el valor sensado es “sensorVelocidad2”.

### **5.2.8 Subprograma Controlar velocidad de extrusión**

En este subprograma se determina la velocidad del motor a partir del flujo seleccionado y se almacena en la variable “velocidadMotor3”. Seguido a esto, se lee la señal del sensor de velocidad y se almacena en la variable “sensorVelocidad3”. Luego, se verifica que la velocidad sensada sea igual a la velocidad de referencia “velocidadMotor3”; si el valor de la variable “sensorVelocidad3” es diferente, se realiza el cálculo del error y se aplica la ecuación PID para determinar la nueva señal PWM; dicha señal se enviará al variador de frecuencia, el cual, de acuerdo al voltaje que le llega a su entrada, enviará una frecuencia al motor AC. Una vez que se alcanza la velocidad requerida para obtener el flujo seleccionado, se termina el subprograma “Controlar velocidad de extrusión”. En la Figura 60 se muestra el diagrama de flujo del subprograma descrito.

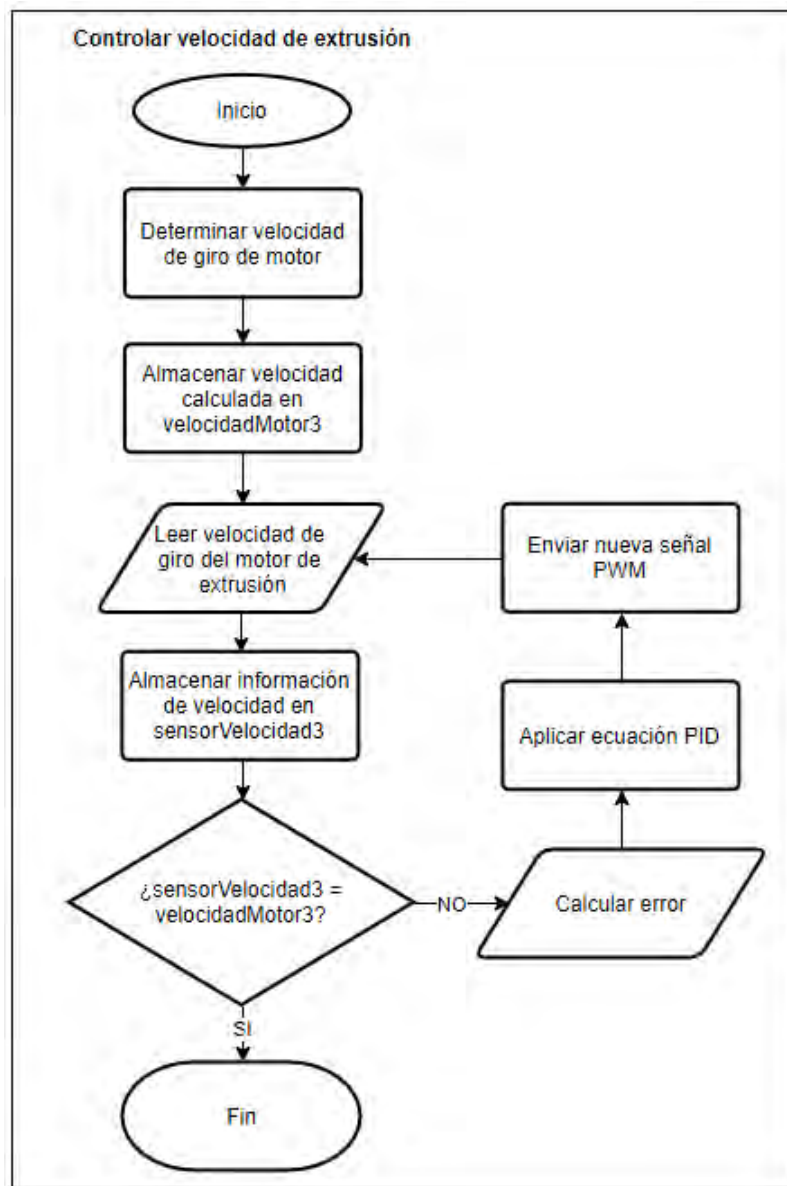


Figura 60. Subprograma Controlar velocidad de extrusión.

### 5.2.9 Subprograma Controlar velocidad de corte

Este subprograma tiene la misma lógica de control que el subprograma Controlar velocidad de extrusión, sin embargo, la velocidad de giro del motor de corte se determina a partir de la velocidad de extrusión, y se almacena en la variable “velocidadMotor4”; asimismo, la variable para almacenar el valor sentido es “sensorVelocidad4”.

### 5.3 Arquitectura del hardware eléctrico – electrónico

En la Figura 61 se muestra la arquitectura del hardware eléctrico – electrónico del sistema diseñado, en el cual se presenta los componentes que se va a utilizar y sus conexiones entre ellos. En la figura se puede observar el interruptor electromagnético para la protección del circuito;

además, se tiene una fuente conmutada para convertir la tensión AC a DC, ya que los sensores, controladores y algunos actuadores funcionan con corriente continua; y también, se muestra la conexión de los sensores y actuadores al controlador PLC.

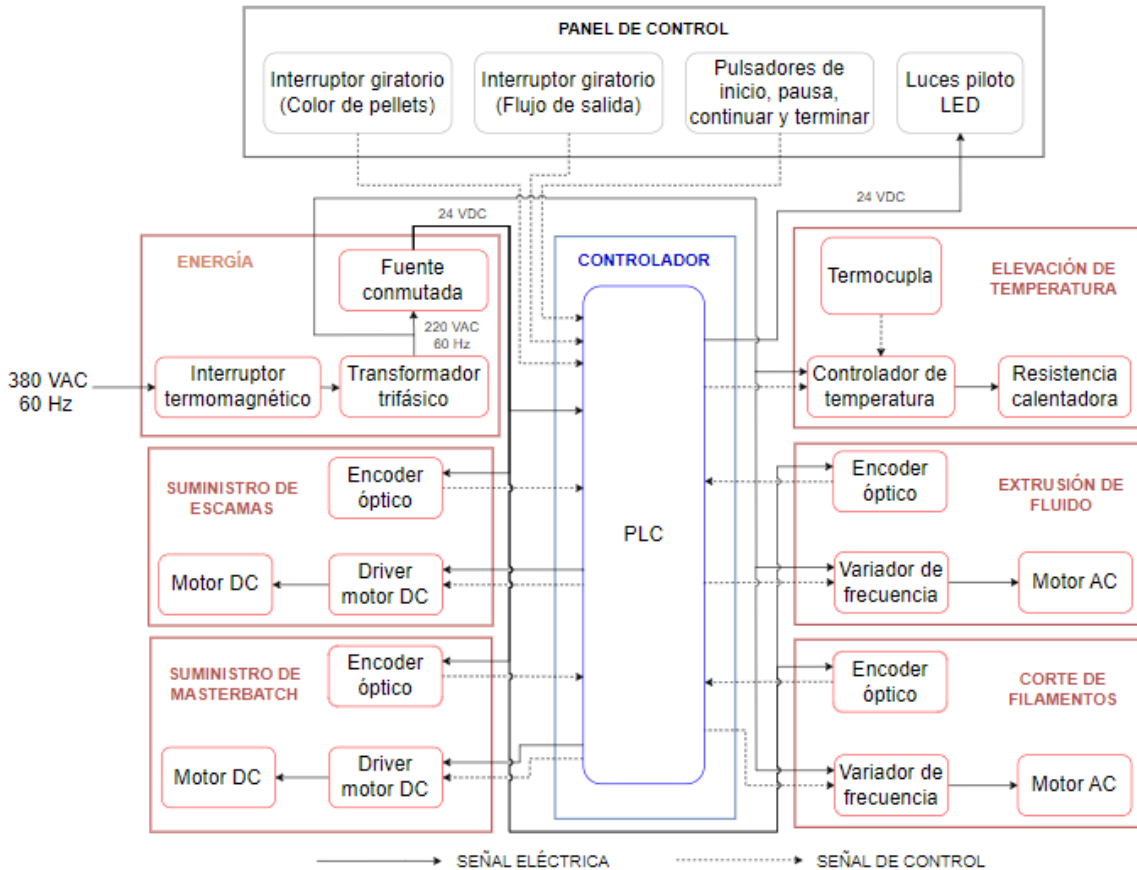


Figura 61. Arquitectura del hardware eléctrico – electrónico.

## 5.4 Dispositivos eléctricos y electrónicos para el sistema

A continuación, se realiza la selección de los componentes eléctricos y electrónicos que se utilizarán en el sistema mecatrónico diseñado.

### 5.4.1 Interruptor giratorio

Para la selección de este elemento se debe tener en cuenta la cantidad de estados necesarios para seleccionar los colores (sin color, rojo, verde y azul) y/o el flujo de salida (50 kg/h, 60 kg/h, 70 kg/h y 80 kg/h) de pellets que va a producir la máquina. Asimismo, se debe tener en cuenta el voltaje que debe soportar, el cual será 220 VAC o 24 VDC. A continuación, en la Tabla 9 se muestra dos interruptores que cumplen con los criterios definidos.

**Tabla 9: Tabla comparativa de interruptores giratorios**

Datos técnicos	ZHUCO LW6Y – 2 C121 <sup>6</sup>	ONEVAN LW28 – 20 <sup>7</sup>
Dimensiones	140x64x64 mm.	72x48x48 mm.
Voltaje máximo de operación	220 VAC.	380 VAC.
Corriente máxima	1.5 A.	20 A.
Cantidad de posiciones	4	4
Precio	S/. 37.72	S/. 46.06

Elaboración propia.

Se selecciona el interruptor de la marca ONEVAN, debido a que soporta una mayor cantidad de voltaje y corriente, y porque es más pequeña; además, porque la relación calidad – precio es mejor. A continuación, en la Figura 62 se muestra el interruptor seleccionado.



Figura 62. Interruptor giratorio de 4 posiciones de la marca ONEVAN.

#### 5.4.2 Pulsadores

Para la selección de este elemento se tiene en cuenta el voltaje máximo que debe soportar, el cual es 24 VDC, para no dañar el PLC. Asimismo, se debe tener en cuenta los colores necesarios para representar los estados que va a tener la máquina, los cuales son: inicio, pausa, continuar y terminar. A continuación, en la Tabla 10 se muestra dos pulsadores que cumplen con los criterios definidos.

<sup>6</sup> AliExpress. Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/1005004318114104.html>

<sup>7</sup> AliExpress. Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/1005002008666582.html>

**Tabla 10: Tabla comparativa de pulsadores**

Datos técnicos	RUNCCI <sup>8</sup>	GTIWUNG <sup>9</sup>
Dimensiones	25x19x19 mm.	21.6x17.5x17.5 mm.
Voltaje máximo de operación	250 VAC.	250 VAC.
Corriente máxima	3 A.	1.5 A.
Cantidad de colores	6	6
Cantidad de botones por color	4	2
Colores del botón	Blanco, negro, amarillo, azul, verde y rojo	Amarillo, azul, rojo, negro, verde y blanco
Precio	S/. 39.83	S/. 39.87

Elaboración propia.

Se selecciona los pulsadores de la marca RUNCCI, debido a que soporta una mayor cantidad de corriente a 250 VAC; también, porque vienen 4 pulsadores por cada color, a diferencia de la otra alternativa que solo vienen 2; y, además, porque la diferencia de precios es mínima. A continuación, en la Figura 63 se muestra el pulsador seleccionado.



Figura 63. Pulsadores de la marca RUNCCI.

<sup>8</sup> Amazon.es. Fuente: <https://www.amazon.es/RUNCCI-Interruptor-pulsador-Encendido-momentáneo/dp/B07QL1BC23>

<sup>9</sup> Amazon.es. Fuente: <https://www.amazon.es/TOOHUI-Interruptor-Momentáneo-Lockless-Interruptores/dp/B07Q73PXYL>

### 5.4.3 Luces piloto LED

Para la selección de este componente electrónico se tiene en cuenta su voltaje de alimentación, el cual debe ser de 24 VDC, para utilizar una sola fuente conmutada; además, los colores necesarios para mostrar el estado en que se encuentra la máquina; y finalmente el tamaño. A continuación, en la Tabla 11 se muestra dos luces piloto LED que cumplen con los criterios definidos.

**Tabla 11: Tabla comparativa de luces piloto LED**

Datos técnicos	Heschen <sup>10</sup>	ElectroDH <sup>11</sup>
Dimensiones	51x29x29 mm.	50.5x29x29 mm.
Voltaje máximo de operación	24 VDC.	24 VDC.
Corriente máxima	20 mA.	No especifica.
Cantidad de colores	5	4
Cantidad de luces piloto LED por color	1	1
Colores de la luz piloto LED	Rojo, verde, ámbar, azul y blanco	Azul, ámbar, verde y rojo
Precio	S/. 22.35	S/. 16.49

Elaboración propia.

Se escogen las luces piloto LED de la marca ElectroDH, porque en el paquete de 4 unidades vienen los colores necesarios que se utilizará en la máquina; además, porque es más económico que la otra alternativa. A continuación, en la Figura 64 se muestran las luces piloto LED seleccionadas.

<sup>10</sup> Umahwebbs. Fuente:

[https://www.umahwebbs.com/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=385454](https://www.umahwebbs.com/index.php?main_page=product_info&products_id=385454)

<sup>11</sup> Amazon.es. Fuente: [https://www.amazon.es/RoHS-pilotos-Brillo-multichip-Ambar/dp/B06WW74QLL/ref=pd\\_sbs\\_201\\_5/257-8089564-1482736](https://www.amazon.es/RoHS-pilotos-Brillo-multichip-Ambar/dp/B06WW74QLL/ref=pd_sbs_201_5/257-8089564-1482736)



Figura 64. Luces piloto LED de la marca ElectroDH.

#### 5.4.4 Termocupla

Para la selección de este sensor se tiene en cuenta la temperatura que se va a medir (290° C), así como la longitud del hilo conductor; asimismo, debe ser con conexión a tierra para que tenga buen tiempo de respuesta y se pueda realizar un correcto control de la temperatura. A continuación, en la Tabla 12 se muestran los tipos de termocupla más utilizados en la industria.

**Tabla 12: Tabla comparativa de tipos de termocupla**<sup>12</sup>

Tipo de termocupla	Código ANSI	J	K	T	E
Material (Aleación)	Cable +	Hierro.	Cromel.	Cobre.	Cromel.
	Cable -	Constantan.	Alumel.	Constantan.	Constantan.
Código de color	Cable +	Blanco.	Amarillo.	Azul.	Púrpura.
	Cable -	Rojo.	Rojo.	Rojo.	Rojo.
Rango de medición	Mínimo	0 °C.	0 °C.	-200 °C.	0 °C.
	Máximo	760 °C.	1260 °C.	370 °C.	870 °C.

Elaboración propia.

Entonces, se selecciona la termocupla de tipo K, ya que en comparación con las demás es el más barato, y por su popularidad está disponible en las sondas más diversas. Por tanto, se selecciona la termocupla tipo K con perno rotativo de la marca Eurocontrol, ya que esta configuración permitirá atornillarla en la cámara de fundición, para la medición de la temperatura del fluido viscoso. Además, puede medir cualquier rango de temperatura, y puede tener cualquier longitud de hilo conductor, de acuerdo a pedido. A continuación, en la Figura 65 se puede observar la termocupla seleccionada.

<sup>12</sup> Alutal Measure & Trust. Fuente: <https://www.alutal.com.br/es/termopar>



Figura 65. Termocupla tipo K con perno rotativo de la marca Eurocontrol. <sup>13</sup>

#### 5.4.5 Controlador de temperatura

Para la selección de este controlador se debe tener en cuenta la corriente necesaria para alimentar algunas de las resistencias que se van a colocar en la cámara de fundición, dicha corriente es 0.9 A por resistencia; asimismo, debe permitir medir un rango de temperaturas que contenga la temperatura a la que va a estar el fluido de PET y masterbatch, la cual es 290 °C. A continuación, en la Tabla 13 se muestra dos controladores de temperatura que cumplen con los criterios definidos.

**Tabla 13: Tabla comparativa de controladores de temperatura**

Datos técnicos	REX – C100 <sup>14</sup>	MaxWell MTD – 48 <sup>15</sup>
Dimensiones	110x48x48 mm.	78.7x48x48.
Peso	200 g.	No especifica.
Voltaje máximo de entrada	265 VAC.	265 VAC.
Voltaje máximo de salida de relé	250 VAC.	250 VAC.
Corriente máxima de salida de relé	3 A.	3 A.
Tipo de control	PID	ON/OFF y PID
Rango de medición	0 – 1300 °C	No especifica.
Incluye algún sensor	Si	No
Precio	S/. 52.42	S/. 114.82

Elaboración propia.

<sup>13</sup> Eurocontrol Soluciones Industriales. Recuperado de: <https://eurocontrolperu.com/producto/detalle/Termocupla-Tipo-K-con-perno-rotativo/id/614>

<sup>14</sup> AliExpress. Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/638549196.html>

<sup>15</sup> Alibaba.com. Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Maxwell-MTD-48-auto-tuning-of-60666212934.html>

Se elige el controlador REX – C100, debido a que incluye una termocupla tipo K de tipo rosca, el cual permite medir temperaturas entre 0 y 400 °C; y además, porque es más económico que la otra alternativa. A continuación, en la Figura 66 se muestra el controlador de temperatura seleccionado.



Figura 66. Controlador de temperatura REX C – 100.

#### 5.4.6 Encoder óptico

Para la selección de este sensor, se debe tener en cuenta que solo se necesita medir la velocidad de giro y no la posición, por este motivo debe ser de tipo incremental; asimismo, se debe seleccionar un encoder que tenga un voltaje de alimentación de 24 VDC, para alimentar la mayoría de componentes con una sola fuente conmutada. A continuación, en la Tabla 14 se muestra dos encoders de tipo incremental que cumplen con los criterios definidos.

**Tabla 14: Tabla comparativa de encoders de tipo incremental**

Datos técnicos	Shenzhen More – Suns <sup>16</sup>	E – tech E6B2 – CWZ6C <sup>17</sup>
Dimensiones	No especifica.	59x40x40 mm.
Voltaje de operación	5 – 24 VDC.	5 – 24 VDC.
Consumo de corriente	80 mA.	80 mA.
Resolución	1000 ppr.	1000 ppr.
Máxima velocidad	5000 rpm.	6000 rpm.
Protección contra corto y conexión invertida	No especifica.	Si.

<sup>16</sup> AliExpress. Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/32823981111.html>

<sup>17</sup> AliExpress. Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/32882192319.html>

<b>Precio</b>	S/. 110.60	S/. 61.70
---------------	------------	-----------

Elaboración propia.

Se elige el encoder E6B2 – CWZ6C de la marca E – tech Industrial, debido a que tiene protección contra cortocircuito y conexión invertida, y también, porque es más económica que la otra alternativa. A continuación, en la Figura 67 se muestra el encoder óptico seleccionado.



Figura 67. Encoder óptico de la marca E – tech Industrial.

#### 5.4.7 Variador de frecuencia (Motor de extrusión)

Para la selección de este dispositivo, se debe tener en cuenta la potencia (3.7 kW) y corriente del motor que va a controlar, así como, el voltaje (220 VAC) al cual va ser conectado. Asimismo, debe permitir un control por PLC. A continuación, en la Tabla 15 se muestra dos variadores de frecuencia que cumplen con los criterios definidos.

**Tabla 15: Tabla comparativa de variadores de frecuencia**

Datos técnicos	Shihlin SC3 – 023 – 3.7K <sup>18</sup>	WEG CFW – 500 <sup>19</sup>
<b>Peso</b>	0.8 kg.	1.2 kg.
<b>Voltaje de operación</b>	200 – 240 VAC trifásica.	200 – 240 VAC trifásica.
<b>Corriente de salida</b>	17.5 A.	16 A.
<b>Potencia del motor</b>	3.7 kW.	3.7 kW.
<b>Frecuencia de entrada</b>	50/60 Hz.	50/60 Hz.

<sup>18</sup> Mercado Libre. Fuente: [https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-427264916-variador-de-frecuencia-shihlin-55hp-3f-220v-alco-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-427264916-variador-de-frecuencia-shihlin-55hp-3f-220v-alco-_JM)

<sup>19</sup> WEG. Fuente: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hf8/h31/WEG-cfw500-guia-de-instalacion-rapida-10003766994-es.pdf>

<b>Capacidad de sobrecarga 150%</b>	1 min.	No especifica.
<b>Método de control</b>	V/f, compensación de deslizamiento y control vectorial sensorless	V/f y control vectorial.
<b>Precio</b>	S/. 1200.00	S/. 1400.00

Elaboración propia.

Se elige el variador de frecuencia de la marca Shihlin, ya que es más económico que la otra alternativa, y, además, porque soporta una capacidad de sobrecarga de 150% durante 1 minuto. Asimismo, permite su control mediante PLC. A continuación, en la Figura 68 se muestra el variador de frecuencia seleccionado.



Figura 68. Variador de frecuencia de la marca Shihlin.

#### 5.4.8 Motor AC (Sistema de extrusión)

Para la selección de este actuador, se tiene en cuenta la potencia necesaria para poder extruir el fluido viscoso, dicha potencia es de 3.7 kW y se calculó en la sección 4.3.5; asimismo, se debe buscar un motor con reducción de velocidad y que se acerque a la velocidad de giro (24 rpm). A continuación, en la Tabla 16 se muestra dos motores de corriente alterna que cumplen con los criterios definidos.

**Tabla 16: Tabla comparativa de motores de corriente alterna**

Datos técnicos	CM Motor CH – 40 – 3700 <sup>20</sup>	LEISON Motor LS – GV40 <sup>21</sup>
----------------	--	---

<sup>20</sup> Alibaba.com. Fuente: [https://www.alibaba.com/product-detail/High-Torque-3-7KW-220V-380V\\_60773244754.html](https://www.alibaba.com/product-detail/High-Torque-3-7KW-220V-380V_60773244754.html)

<sup>21</sup> Alibaba.com. Fuente: [https://www.alibaba.com/product-detail/40mm-Shaft-5-HP-High-Torque\\_1600118392530.html](https://www.alibaba.com/product-detail/40mm-Shaft-5-HP-High-Torque_1600118392530.html)

<b>Voltaje de alimentación</b>	220 VAC.	220 VAC.
<b>Frecuencia</b>	60 Hz.	60 Hz.
<b>Velocidad de salida</b>	36 rpm.	30 rpm.
<b>Potencia de salida</b>	3.7 kW.	3.7 kW.
<b>Diámetro del eje de salida</b>	40 mm.	40 mm.
<b>Precio</b>	S/. 1,634.77	S/. 991.19

Elaboración propia.

Se elige el motor de la marca LEISON, ya que es más económico, y porque la velocidad de salida es más cercana a la velocidad que necesita el Sistema de Extrusión. A continuación, en la Figura 69 se muestra el motor AC seleccionado.



Figura 69. Motor AC de 3.7 kW de la marca LEISON.

#### 5.4.9 Variador de frecuencia (Motor de corte)

Para la selección de este dispositivo, se debe tener en cuenta que se va a controlar un motor de 1.4 kW, y que la corriente del motor es aproximadamente 5 A; asimismo, el voltaje al cual será conectado es de 220 VAC. Además, debe permitir un control por PLC. A continuación, en la Tabla 17 se muestra dos variadores de frecuencia que cumplen con los criterios definidos.

**Tabla 17: Tabla comparativa de variadores de frecuencia**

Datos técnicos	Shihlin SC3 – 021 – 1.5K <sup>22</sup>	Invt GD10 – 1R5G – 2 – B <sup>23</sup>
----------------	---	---

<sup>22</sup> Mercado Libre. Fuente: [https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-427271620-variador-de-frecuencia-shihlin-2-hp-entrada-1f-220v-alco-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-427271620-variador-de-frecuencia-shihlin-2-hp-entrada-1f-220v-alco-_JM)

<sup>23</sup> ASOCIE. Fuente: <https://asocieperu.com/producto/variador-velocidad-gd10-1r5g-2-b-1-5kw-220v-2hp-invt/>

<b>Peso</b>	0.8 kg.	No especifica.
<b>Voltaje de operación</b>	200 – 240 VAC trifásica.	200 – 240 VAC trifásica.
<b>Corriente máxima</b>	8 A.	7.5 A.
<b>Potencia del motor</b>	1.5 kW.	1.5 kW.
<b>Frecuencia</b>	50 – 60 Hz.	50 – 60 Hz.
<b>Capacidad de sobrecarga 150%</b>	1 min.	1 min.
<b>Método de control</b>	V/f, compensación de deslizamiento y control vectorial sensorless	V/f
<b>Precio</b>	S/. 850.00	S/. 669.95

Elaboración propia.

Se elige el variador de frecuencia de la marca Invt, ya que es más económico que la otra alternativa, y porque tiene la capacidad de suministrar la corriente necesaria al motor AC del sistema de corte; asimismo, permite la variación de la frecuencia a través de un PLC con comunicación MODBUS. A continuación, en la Figura 70 se muestra el variador de frecuencia seleccionado.



Figura 70. Variador de frecuencia de la marca Invt.

#### 5.4.10 Motor AC (Sistema de corte)

Para la selección de este actuador, se toma en cuenta la potencia (1.4 kW) que necesita el sistema de corte para poder realizar el corte de los filamentos, así como el voltaje de alimentación y la velocidad máxima (500 rpm) para obtener una longitud de los pellets igual a 3 mm. A

continuación, en la Tabla 18 se muestra dos motores de corriente alterna que cumplen con los criterios definidos.

**Tabla 18: Tabla comparativa de motores de corriente alterna**

Datos técnicos	CHBNS CH – 32 – 1500 <sup>24</sup>	Julante YB 112M – 8 <sup>25</sup>
Voltaje de alimentación	220 VAC.	220 VAC.
Frecuencia	60 Hz.	60 Hz.
Velocidad de salida	600 rpm.	750 rpm.
Potencia de salida	1.5 kW.	1.5 kW.
Diámetro del eje de salida	32 mm.	38 mm.
Precio	S/. 590.80	S/. 707.88

Elaboración propia.

Se elige el motor de la marca CHBNS, debido a que es más económico; y además porque la velocidad de salida es muy cercana a la velocidad máxima que necesita el sistema de corte. A continuación, en la Figura 71 se muestra el motor AC seleccionado.



Figura 71. Motor AC de 1.5 kW de la marca CHBNS.

#### 5.4.11 Driver motor DC (Motor de suministro de escamas)

Para la selección de este controlador, se debe tener en cuenta el voltaje y la corriente que consumirá el motor DC, los cuales son 24 VDC y 3.33 A, respectivamente; asimismo, debe

<sup>24</sup> Alibaba.com. Fuente: [https://www.alibaba.com/product-detail/Three-phase-Single-phase-220V-380V\\_1600120534963.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Three-phase-Single-phase-220V-380V_1600120534963.html)

<sup>25</sup> Alibaba.com. Fuente: [https://www.alibaba.com/product-detail/Motor-YB-112M-8-Series-1\\_1600532552687.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Motor-YB-112M-8-Series-1_1600532552687.html)

permitir el control de la velocidad a través de una señal PWM que enviará el PLC. A continuación, en la Tabla 19 se muestra dos drivers de motor DC que cumplen con los criterios definidos.

**Tabla 19: Tabla comparativa de drivers de motores DC**

Datos técnicos	Driver Mosfet IRF520 <sup>26</sup>	PWM/CLK Module <sup>27</sup>
Voltaje de control	5 VDC.	5 VDC.
Voltaje de salida	0 – 24 VDC.	12 – 24 VDC.
Corriente nominal	5 A.	4 A.
Control PWM	Si.	Si.
Frecuencia máxima PWM	No especifica.	18 kHz.
Inversión de giro	No.	Si.
Precio	S/. 6.00	S/. 23.10

Elaboración propia.

Se elige el Driver Mosfet IRF520, principalmente porque es más económico que la otra alternativa. Este driver permite el control del motor DC mediante una señal PWM; así como, permite tener un voltaje de salida de 24 VDC, y una corriente de 5 A, la cual es suficiente para el motor de 80 W. A continuación, en la Figura 72 se muestra el driver seleccionado.

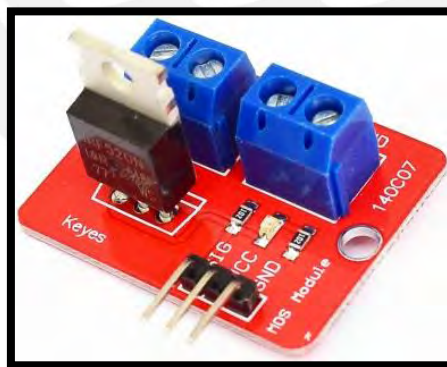


Figura 72. Driver Mosfet IRF520.

#### 5.4.12 Motor DC (Sistema de suministro de escamas)

Para la selección de este elemento, se tiene en cuenta la potencia que necesita el sistema de suministro para poder desplazar las escamas hacia la tolva de la cámara de fundición, dicha

<sup>26</sup> Naylamp Mechatronics. Fuente: <https://naylampmechatronics.com/drivers/239-driver-mosfet-irf520.html>

<sup>27</sup> Ebay. Fuente: <https://www.ebay.com/itm/265156100405>

potencia es 80 W y fue calculada en la sección 4.1.4; asimismo, este motor será alimentado con una fuente de 24 VDC, y debe tener una velocidad de 81 rpm. A continuación, en la Tabla 20 se muestra dos motores de corriente continua que cumplen con los criterios definidos.

**Tabla 20: Tabla comparativa de motores de corriente continua**

Datos técnicos	ZD Gear Head 54106ZY <sup>28</sup>	Longway 63ZYT - WOG <sup>29</sup>
Voltaje de alimentación	24 VDC.	24 VDC.
Corriente con carga	4.17 A.	4.5 A.
Diámetro del motor	55 mm.	63 mm.
Velocidad de salida	110 rpm.	90 rpm.
Potencia de salida	150 W.	80 W.
Diámetro del eje de salida	8 mm.	8 mm.
Precio	S/. 180.92	S/. 191.04

Elaboración propia.

Se elige el motor DC de la marca ZD Gear Head, ya que la potencia es mayor en comparación con la otra alternativa, y, además, porque es más barata. A continuación, en la Figura 73 se muestra el motor DC seleccionado.



Figura 73. Motor DC de 150 W de la marca ZD Gear Head.

<sup>28</sup> Alibaba.com. Fuente: [https://www.alibaba.com/product-detail/High-Torque-Low-Noise-HongTian-72mm\\_1600505562871.html](https://www.alibaba.com/product-detail/High-Torque-Low-Noise-HongTian-72mm_1600505562871.html)

<sup>29</sup> Alibaba.com. Fuente: [https://www.alibaba.com/product-detail/63ZYT-China-longway-motor-copper-gear\\_62047853332.html](https://www.alibaba.com/product-detail/63ZYT-China-longway-motor-copper-gear_62047853332.html)

#### 5.4.13 Driver motor DC (Motor de suministro de masterbatch)

Para la selección de este controlador, al igual que para el driver del suministro de escamas, se debe tener en cuenta el voltaje y la corriente que consumirá el motor DC, los cuales son 24 VDC y 0.83 A, respectivamente; asimismo, debe permitir el control de la velocidad a través de una señal PWM que enviará el PLC. A continuación, en la Tabla 21 se muestra dos drivers de motor DC que cumplen con los criterios definidos.

**Tabla 21: Tabla comparativa de drivers de motores DC**

Datos técnicos	Driver Mosfet IRF520 <sup>30</sup>	Pololu DRV8801 <sup>31</sup>
Voltaje de control	5 VDC.	3.3 – 6.5 VDC.
Voltaje de salida	0 – 24 VDC.	8 – 36 VDC.
Corriente nominal	5 A.	1 A.
Control PWM	Si	Si.
Frecuencia máxima PWM	No especifica.	No especifica.
Protección de sobrevoltaje y cortocircuito	No.	Si.
Inversión de giro	No.	Si.
Precio	S/. 6.00	S/. 50.56

Elaboración propia.

Se elige el Driver Mosfet IRF520, ya que es más económica que la otra alternativa. Con este driver se puede realizar el control del motor DC mediante una señal PWM; y, además, permite tener un voltaje de salida de 24 VDC, y una corriente de 5 A. A continuación, en la Figura 74 se muestra el driver seleccionado.

<sup>30</sup> Naylamp Mechatronics. Fuente: <https://naylampmechatronics.com/drivers/239-driver-mosfet-irf520.html>

<sup>31</sup> Pololu. Fuente: <https://www.pololu.com/product/2136>

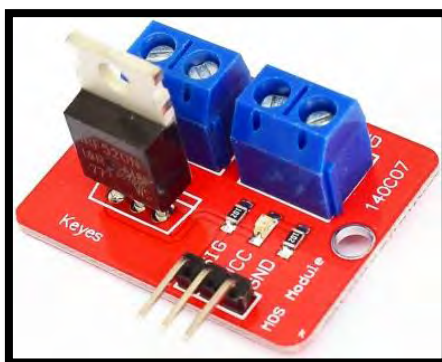


Figura 74. Driver Mosfet IRF520.

#### 5.4.14 Motor DC (Sistema de suministro de masterbatch)

Para seleccionar este actuador, se toma en cuenta la potencia (20 W) necesaria para el desplazamiento de los masterbatch, así como la velocidad de giro (12 rpm) y el voltaje al cual será conectado. A continuación, en la Tabla 22 se muestra dos motores de corriente continua que cumplen con los criterios definidos.

**Tabla 22: Tabla comparativa de motores de corriente continua**

Datos técnicos	Gear Motor 06SGN + 3gn120K <sup>32</sup>	Wewin D49D3H – 2420 - 10 <sup>33</sup>
Voltaje de alimentación	24 VDC.	24 VDC.
Corriente con carga	1.2 A.	1.42 A.
Diámetro del motor	63 mm.	49 mm.
Velocidad de salida	15 rpm.	15 rpm.
Potencia de salida	20 W.	20 W.
Diámetro del eje de salida	10 mm.	6 mm.
Precio	S/. 238.27	S/. 184.46

Elaboración propia.

Se selecciona el motor de la marca Wewin, debido a que es más pequeño; y, además, porque tiene una potencia de salida igual a la que necesita el sistema de suministro de masterbatch; asimismo,

<sup>32</sup> Alibaba.com. Fuente: [https://www.alibaba.com/product-detail/High-Torque-Motor-20w-200w-0\\_1700000922784.html](https://www.alibaba.com/product-detail/High-Torque-Motor-20w-200w-0_1700000922784.html)

<sup>33</sup> Alibaba.com. Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/High-Torque-15Nm-30N-m-Brushed-1600469511572.html>

es mucho más económico que la otra alternativa. A continuación, en la Figura 75 se muestra el motor DC seleccionado.



Figura 75. Motor DC de 20 W de la marca Wewin.

#### 5.4.15 Transformador trifásico 380 VAC – 220 VAC

Para la selección de esta máquina eléctrica, se debe tener en cuenta la potencia total (5.1 kW) que necesitan los motores para su funcionamiento. A continuación, en la Tabla 23 se muestra dos transformadores trifásicos que cumplen con la potencia requerida.

**Tabla 23: Tabla comparativa de transformadores trifásicos**

Datos técnicos	Energit EN – SBK10KVA <sup>34</sup>	Omega Electric <sup>35</sup>
Voltaje de entrada	380 VAC.	380 VAC.
Frecuencia	50/60 Hz.	50/60 Hz.
Voltaje de salida	220 VAC.	220 VAC.
Potencia de salida	10 KVA.	10 KVA.
Eficiencia	> 98%	> 95%
Dimensiones	400x350x520 mm.	No especifica
Precio	S/. 2,559.16	S/. 4,562.30

Elaboración propia.

<sup>34</sup> PEPTEL. Fuente: <https://peptel.com.pe/product/transformador-trifasico-380v-220v-10kva/>

<sup>35</sup> Omega Electric. Fuente: <https://omegaelectric.pe/precio-de-transformadores-electricos/>

Se elige el transformador trifásico de la marca Energit, debido a que es más económica que la otra alternativa, y porque tiene una eficiencia mayor a 98%. A continuación, en la Figura 76 se muestra el transformador seleccionado.



Figura 76. Transformador trifásico Energit de 10 kVA.

#### 5.4.16 Fuente conmutada

Para la selección de este componente, se debe tener en cuenta el voltaje de salida (24 VDC) para alimentar los diferentes componentes eléctricos y electrónicos que va a tener el sistema mecatrónico, así como la corriente que consumirán estos. A continuación, en la Tabla 24 se muestra dos fuentes conmutadas que cumplen con los criterios definidos.

**Tabla 24: Tabla comparativa de fuentes conmutadas**

Datos técnicos	WODE S – 250 – 24 <sup>36</sup>	WODE DR – 240 – 24 <sup>37</sup>
Voltaje de alimentación	200 – 240 VAC.	100 – 240 VAC.
Frecuencia	50/60 Hz.	50/60 Hz.
Voltaje de salida	24 VDC.	24 VDC.
Corriente de salida	10 A.	10 A.

<sup>36</sup> Naylamp Mechatronics. Fuente: <https://naylampmechatronics.com/fuentes-switching/629-fuente-de-alimentacion-conmutada-250w-24vdc-10a.html>

<sup>37</sup> Naylamp Mechatronics. Fuente: <https://naylampmechatronics.com/fuentes-switching/632-fuente-de-alimentacion-conmutada-din-240w-24v.html>

<b>Eficiencia de salida</b>	83%	84%
<b>Dimensiones</b>	215x113x50 mm.	78x93x56 mm.
<b>Precio</b>	S/. 110.00	S/. 350.00

Elaboración propia.

Se elige la fuente conmutada WODE S – 250 – 24, debido a que es más económica que la otra alternativa, y porque cumple con los requerimientos antes mencionados. A continuación, en la Figura 77 se muestra la fuente conmutada seleccionada.



Figura 77. Fuente conmutada WODE de 24 VDC y 10 A.

#### 5.4.17 Interruptor termomagnético

Para la selección de este dispositivo de protección, se tiene en cuenta la corriente máxima que va a dejar pasar antes que se abra la conexión, dicha corriente es aproximadamente 60 A, y, además, debe ser trifásica. A continuación, en la Tabla 25 se muestra dos interruptores termomagnéticos que cumplen con los criterios definidos.

**Tabla 25: Tabla comparativa de interruptores termomagnéticos**

<b>Datos técnicos</b>	<b>Bticino 3x63<sup>38</sup></b>	<b>Schneider 3x63<sup>39</sup></b>
<b>Voltaje de conexión</b>	400 VAC.	400 VAC.
<b>Frecuencia</b>	50/60 Hz.	50/60 Hz.

<sup>38</sup> Sodimac. Fuente: <https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/217778/interruptor-termomagnetico-3x63a-bticino/217778/>

<sup>39</sup> Promart. Fuente: <https://www.promart.pe/interruptor-termomagnetico-easy9-3x63a-6000a-400v/p>

<b>Corriente máxima</b>	63 A.	63 A.
<b>Precio</b>	S/. 150.90	S/. 99.90

Elaboración propia.

Se elige el interruptor termomagnético trifásico de la marca Schneider, debido a que es más económico que la otra alternativa. A continuación, en la Figura 78 se muestra el interruptor termomagnético seleccionado.



Figura 78. Interruptor termomagnético trifásico de la marca Schneider.

## CAPÍTULO 6

### ESTIMACIÓN DE COSTOS

En el siguiente capítulo se muestra la estimación de costos para fabricar el sistema mecatrónica diseñado.

Cabe resaltar que el costo de algunos de los componentes utilizados en el sistema, pueden variar dependiendo de la disponibilidad y el tipo de cambio, así como los costos de los procesos de mecanizado o impresión 3D que están contemplados en relación a los talleres de Lima.

El costo de la máquina no solo incluye el costo de las piezas mecánicas, sensores, actuadores o controlador, sino también se incluye el costo del diseño; por lo tanto, sabiendo que el proyecto se realizó en 450 horas durante 15 semanas, y a 30 soles por hora, se obtiene un costo total de diseño igual a S/. 12 000.

Los costos de fabricación, se dividen en costos de adquisición del material y costos de mecanizado; dentro de los costos de adquisición se tiene el de los elementos del sistema mecánico, sistema eléctrico – electrónico, y control. Dentro de los costos de mecanizado, también se encuentra los costos por soldadura, maquinado, corte e impresión 3D.

Los costos por soldadura incluyen los gastos de preparación del material a soldar, las herramientas y elementos consumibles utilizados en la soldadura, la mano de obra y la pintura anticorrosiva que se debe aplicar a la estructura, ya que es de acero estructural ASTM A500 (Fiorella Representaciones S.A.C, s.f.).

Asimismo, luego de revisar el costo del servicio de corte de diversas empresas, se escoge el de la empresa POLIMETALES S.A.C, ya que es más económico; dicho costo es de S/ 17.50 el metro lineal.

Luego, el costo de fabricación por medio de impresión 3D varía de acuerdo a la máquina usada y a la longitud del filamento empleado en la impresión. Entonces, al usar la impresora de la marca da Vinci 2.0 y el plástico ABS como material de fabricación, el costo por metro de material usado es igual a S/. 3.85.

A continuación, en la Tabla 26 se muestra el costo de los diferentes elementos mecánicos utilizados en la máquina diseñada, y en la Tabla 27 el costo de mecanizado.

**Tabla 26: Costos de adquisición de elementos del sistema mecánico**

Descripción	Precio (S/.)	Cantidad	Precio total (S/.)
1 m. de viga cuadrada de 20x20x2 mm.	19.25	54	1,040.00
Plancha de acero ASTM A36 de 1500x3000x3 mm.	114.81	4	460.00
Plancha de acero ASTM A36 de 1200x2400x2 mm.	48.98	3	147.00
Ruedas de nivelación	22.33	8	179.00
Acople flexible 6x8	12.00	5	60.00
Acople flexible 12x20	30.00	1	30.00
Acople flexible 40x40	79.00	1	79.00
Acople flexible 32x32	56.00	1	56.00
Bridas	38.16	18	687.00
Ejes	15.00	11	165.00
Husillo extrusor	6,350.00	1	6,350.00
Rodamientos SKF radiales	32.50	16	520.00
Rodamientos SKF axiales	22.00	2	44.00
Tubos de acero	16.00	6	96.00
Cámara de fundición	162.00	1	162.00
Tornillos y tuercas	1	50	50.00
<b>TOTAL</b>			<b>10,125.00</b>

Elaboración propia.

**Tabla 27: Costos de mecanizado de elementos mecánicos**

Descripción	Precio (S/.)	Cantidad	Precio total (S/.)
Soldadura	700.00	1	700.00
Corte de planchas de acero de 2 y 3 mm.	450.00	1	450.00

Torneado y fresado	1600.00	1	1,600.00
Impresión 3D de los componentes en ABS	80.00	1	80.00
TOTAL			2,830.00

Elaboración propia.

Asimismo, en la Tabla 28 se muestra el costo de los diferentes dispositivos eléctricos - electrónicos utilizados en la máquina diseñada.

**Tabla 28: Costos de adquisición de elementos del sistema eléctrico – electrónico**

Descripción	Precio (S/.)	Cantidad	Precio total (S/.)
Interruptor giratorio	46.00	2	92.00
Pulsadores	40.00	1	40.00
Luces piloto LED	17.00	1	17.00
Controlador de temperatura REX C-100	53.00	2	106.00
Encoder incremental E-tech	62.00	6	372.00
Variador de frecuencia Shihlin	1,200.00	1	1,200.00
Motor AC 3.7kW	992.00	1	992.00
Variador de frecuencia Invt	670.00	1	670.00
Motor AC 1.5kW	591.00	1	591.00
Driver Mosfet IRF 520	6.00	2	12.00
Motor DC 80W	181.00	1	181.00
Motor DC 20W	185.00	1	185.00
Fuente conmutada 24 VDC 10A	110.00	1	110.00
Transformador trifásico 10kVA	2,559.16	1	2,560.00
Interruptor termomagnético Schneider 63A	100.00	1	100.00
PLC S7 1200 DC/DC/DC	1,500.00	1	1,500.00
Simatic S7 1200 SM1221	1,110.00	1	1,110.00
TOTAL			9,792.00

Elaboración propia.

Finalmente, en la Tabla 29 se obtiene el costo total del sistema mecatrónico diseñado.

**Tabla 29: Costo total del sistema mecatrónico diseñado**

Descripción	Precio total (S/.)
Diseño	12,000.00
Piezas mecánicas	12,955.00
Dispositivos eléctricos – electrónicos	9,792.00
TOTAL	34,747.00



## CONCLUSIONES

- Del sistema mecatrónico diseñado, se concluye que este cumple con los requerimientos estipulados en el capítulo 3 del presente trabajo de investigación, ya que la máquina será capaz de producir 80 kg/h de pellets de colores y porque la mayoría de sus componentes podrán ser adquiridos en el mercado local.
- De los cálculos realizados, se llega a la conclusión de que los elementos mecánicos diseñados soportarán los esfuerzos a los que se encuentran sometidos, debido a que se obtuvo un factor de seguridad mayor a 1.5 en el análisis de esfuerzos.
- También, se concluye que las propiedades mecánicas y térmicas de cualquier tipo de plástico cambian al ser reciclados, por lo que, si se quiere diseñar de forma correcta los elementos mecánicos, se debe tener en cuenta dichos parámetros modificados.
- Del panel de control diseñado, se puede concluir que este podrá ser entendido fácilmente por el operario de la máquina, debido a su simplicidad, pero sin perder eficiencia.
- Del costo final de la máquina, se llega a la conclusión que el sistema mecatrónico diseñado es más económico que las máquinas comerciales, por lo que, podría generar oportunidades de negocio para personas que quieran iniciar una empresa de reciclado.
- Finalmente, se puede concluir que el sistema mecatrónico diseñado tiene la posibilidad de ser utilizado para el reciclado de otros tipos de plástico con propiedades mecánicas y físicas similares al PET, gracias a que la temperatura de fundición se podrá cambiar realizando la configuración del controlador de temperatura.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el husillo extrusor sea fabricado con sistemas especializados CNC, debido a que posee medidas milimétricas, las cuales al ser variadas pueden afectar la calidad final de los pellets.
- También, se recomienda que si se quiere realizar el cambio de color de los pellets que se va a producir, previamente se realice una limpieza interna del sistema de extrusión para evitar cualquier resto de color en el producto final.
- Finalmente, se recomienda realizar una verificación de filo y cambio de cuchillas semanalmente, debido al gran desgaste al que están sometidos.
- Por otro lado, como una mejora del sistema mecatrónico diseñado, se recomienda realizar el diseño de un sistema de refrigeración para la zona de transporte del husillo extrusor, esto con el objetivo de evitar que el calor generado por las resistencias se propague hasta el cuello de la tolva de suministro de escamas.
- Además, como trabajo futuro, se recomienda realizar el diseño de un sistema de circulación y centrifugado para la etapa final de la máquina, con el objetivo de obtener como producto final los pellets de colores secos.

## BIBLIOGRAFÍA

- 3D city. (6 de Mayo de 2018). *Petg, material muy resistente y de fácil impresión*. Obtenido de <https://3dcityquilmes.wordpress.com/2018/05/06/petg-material-muy-resistente-y-de-facil-impresion/>
- Alan, D. (23 de Junio de 2016). *diferencias entre pla, abs y pet*. Obtenido de Prezi: <https://prezi.com/5tzxh3-kujpe/diferencias-entre-pla-abs-y-pet/>
- Ambiente Plástico. (20 de Febrero de 2018). *Volumen y humedad en la Industria del Plástico*. Obtenido de Editorial AP: <https://www.ambienteplastico.com/volumen-y-humedad-en-la-industria-del-plastico/>
- American Society for Testing and Materials. (31 de Diciembre de 2010). *Standard Guide for Development of ASTM Standards Relating to Recycling and Use of Recycled Plastics*. Obtenido de ASTM: <https://www.astm.org/d5033-00.html>
- Antonio, B. R. (2012). *Tecnología de polímeros*. San Vicente del Raspeig: Unión de Editoriales.
- BBC News Mundo. (23 de Octubre de 2019). *La isla de basura en el Pacífico ya es más grande que Francia y preocupa a la humanidad*. Obtenido de El Comercio: <https://elcomercio.pe/tecnologia/ciencias/isla-basura-residuos-gigantesca-pacifico-triplico-tamano-peru-francia-ecuador-noticia-506988>
- Böhler Perú. (Septiembre de 2019). *ANTINIT 304L*. Obtenido de Böhler: <https://www.bohlerperu.com/app/uploads/sites/138/2019/09/ANTINIT-304L.pdf>
- Charles, B. S. (1995). *Introducción a la química de los polímeros*. Barcelona: Reverté.
- Colortec. (s.f.). *Masterbatch*. Obtenido de Colortec: <https://colortec.es/masterbatch/>
- Conveyor Equipment Manufacturers Association. (2019). *Screw Conveyors for Bulk Materials*. Obtenido de CEMA: <https://cemanet.org/wp-content/uploads/2019/06/ANSI-CEMA-350-FinalReview.pdf>
- Corporación CAD Perú. (8 de Septiembre de 2018). *Filamentos 3D: Tipos y Aplicaciones*. Obtenido de <https://www.3dcadperu.com/2018/09/08/filamentos-en-la-impresi%C3%B3n-3d/>
- Covas, M. J. (1995). *Extruder Principles and Operation*. Chapman & Hall.
- Cuchillas Castillo. (s.f.). *Peletizadora*. Obtenido de Cuchillas Castillo: <https://cuchillascastillo.com/cuchillas/peletizadora/>
- Dudley, V. E. (1976). *Estados Unidos Patente nº US4123207A*.
- Elías, M. R. (01 de Febrero de 2019). *¿Sabe cuantos años demora el plástico en degradarse?* Obtenido de Dirección General de Responsabilidad Social: <https://dgrs.unmsm.edu.pe/2019/02/01/sabe-cuantos-anos-demora-el-plastico-en-degradarse/>

- Fiorella Representaciones S.A.C. (s.f.). *Tubo cuadrado de acero ASTM A500*. Obtenido de Fiorella Representaciones S.A.C: <https://www.fiorellarepre.com.pe/FichaTecnica/803012.pdf>
- Flores, J. (Junio de 1999). *Diseño de una herramienta: Cuchilla para trabajo en frío*. Obtenido de Repositorio Digital UANL: <http://eprints.uanl.mx/7491/1/1020130031.PDF>
- Fosita. (s.f.). *Fosita plastic granule raw material extruder granules pelletizing machine*. Obtenido de Alibaba.com: Fosita plastic granule raw material extruder granules pelletizing machine
- Garelli, O. (07 de Febrero de 2020). *Los graves peligros de la incineración de plásticos*. Obtenido de Greenpeace: <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/4047/los-graves-peligros-de-la-incineracion-de-plasticos/>
- Gelson Luz. (26 de Septiembre de 2020). *ASTM A276 Propiedades (Mecánicas, Químicas y Clasificación) rev. 2022*. Obtenido de Gelson Luz: <https://www.materiales.gelsonluz.com/2020/09/astm-a276-propiedades-mecanicas.html>
- Gil, R. (10 de Enero de 2018). *Tipos de filamentos para impresión 3D. Características de los materiales*. Obtenido de Análisis de proyectores: <https://comprarproyector.es/tipos-filamentos-impresora-3d-materiales/>
- Guillermo, M. A. (Enero de 2015). *Diseño, construcción e implementación de un molino triturador*. Obtenido de repositorio ESPE: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9730/1/T-ESPE-048697.pdf>
- Haisi. (s.f.). *Hot melt eva tpu tpr adhesive underwater pelletizing hot melt extruder machine*. Obtenido de Alibaba.com: [https://www.alibaba.com/product-detail/hot-melt-eva-tpu-tpr-adhesive\\_62360323587.html](https://www.alibaba.com/product-detail/hot-melt-eva-tpu-tpr-adhesive_62360323587.html)
- HGA. (2021). *Tubo inoxidable soldable ASTM A312 304 LS 80S con costura EFW*. Obtenido de Fiorella Representaciones S.A.C: <https://www.fiorellarepre.com.pe/FichaTecnica/806009.pdf>
- HGA. (2021). *Tubo inoxidable soldable ASTM A312 304/304L SCH 40S sin costura (NON ERW)*. Obtenido de Fiorella Representaciones S.A.C: <https://www.fiorellarepre.com.pe/FichaTecnica/806013.pdf>
- Hoffman, R. E., & Paul, K. H. (1963). *Estados Unidos Patente nº US3230582A*.
- Ilaria Cusano, L. C. (25 de Abril de 2023). *Rheology of Recycled PET*. Obtenido de MDPI: <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/9/3358>
- Inamesa. (2019). *Barras de acero inoxidable*. Obtenido de Inamesa: <https://www.inamesa.pe/barras-de-acero-inoxidable/>
- Ingemecánica. (12 de Junio de 2023). *Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin*. Obtenido de Ingemecanica: <https://ingemecanica.com/tutorialesemanal/tutorialn143.html>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (Diciembre de 2018). *Anuario de estadísticas ambientales*. Obtenido de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitaes/Est/Lib1637/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaes/Est/Lib1637/libro.pdf)

- International Organization for Standardization. (Febrero de 2010). *El lenguaje internacional de los símbolos gráficos de ISO*. Obtenido de [https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/graphical-symbols\\_booklet\\_es.pdf](https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/graphical-symbols_booklet_es.pdf)
- International Organization for Standardization. (Febrero de 2015). *ISO 13849 - 1: 2015*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/69883.html>
- International Organization for Standardization. (s.f.). *ISO 45001 - Occupational health and safety*. Obtenido de <https://www.iso.org/iso-45001-occupational-health-and-safety.html>
- International Organization for Standardization. (s.f.). *ISO 9000: 2015 Sistemas de gestión de la calidad*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:es>
- Jan Mayén, J. S. (04 de Junio de 2010). *Evaluación de propiedades mecánicas de dos aceros grado herramienta AISI-O1, AISI-D2 y obtención de la concentración de esfuerzos en la geometría de mordazas de sujeción de especímenes compactos de tensión*. Obtenido de Repositorio Digital SMCTSM: [https://www.fis.cinvestav.mx/~smcsyv/supyvac/23\\_S/SV23S1010.pdf](https://www.fis.cinvestav.mx/~smcsyv/supyvac/23_S/SV23S1010.pdf)
- Jnacero. (s.f.). *Barras de acero inoxidable*. Obtenido de Jnaceros: <https://jnaceros.com.pe/producto/barras-acero-inoxidable/>
- Jorge, R. H. (2017). *Resistencia de Materiales 2*. Lima: PUCP.
- Lebreton, L. S. (22 de Marzo de 2018). *Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic*. Obtenido de Revista Nature: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>
- Maldonado, C. C. (2011). *Diseño de un sistema de extrusión - peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la Empresa Municipal de la ciudad de Cuenca*. Cuenca.
- Malla, J. (1995). *Diseño y construcción del transportador de tornillo sinfin para materiales al granel*. Guayaquil.
- Material Mundial. (s.f.). *Acero Inoxidable 316 Ficha Técnica, Acero AISI 316 Propiedades, Inox 316S*. Obtenido de Grados Material Mundial: <https://www.materialmundial.com/inox-ss316-aisi-astm-acero-inoxidable-316-ficha-tecnica-propiedades-ss/>
- MatWeb. (s.f.). *Overview of materials for Polyethylene Terephthalate (PET), Unreinforced*. Obtenido de Material Property Data: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=a696bdcdff6f41dd98f8eec3599eaa20>
- Metalplast. (s.f.). *Brida Ciega*. Obtenido de Metalplast Industrial: <https://www.metalplast.com.pe/producto/brida-ciega/>
- mexpolimeros. (s.f.). *Contracción*. Obtenido de mexpolimeros: <https://www.mexpolimeros.com/pedia/shrinkages.html>
- MINAM. (s.f.). *Cifras del mundo y el Perú*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>

- Peare, P. J. (2018). *Diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamentos de plástico ABS para la impresión 3D en la PUCP*. Lima.
- Rafael, H. D. (24 de Abril de 2018). *¿Qué plástico son los que más contaminan los mares?* Obtenido de euronews: <https://es.euronews.com/2018/04/20/-que-plasticos-son-los-que-mas-contaminan-los-mares->
- Regalonline. (s.f.). *Polipropileno, Poliéster y Nylon: Todo lo que quieras saber sobre estos materiales*. Obtenido de Blog regalonline.es: <https://www.regalonline.es/blog-de-regalos-de-empresa/polipropileno-poliester-y-nylon-todo-lo-que-quiera-saber-sobre-estos-materiales/>
- Ricardo, E. (20 de Septiembre de 2013). *La contaminación del plástico no entiende de fronteras*. Obtenido de ecoinTELigencia: <https://www.ecointeligencia.com/2013/09/contaminacion-plastico-fronteras/>
- Sara Madadi, A. D.-A. (Julio de 2014). *Mechanical and Thermal Properties of Recycled Poly (ethylene terephthalate) Reinforced Newspaper Fiber Composites*. Obtenido de ResearchGate: <https://www.researchgate.net/publication/271915909>
- Savgorodny, V. K. (1973). *Transformación de plásticos*. Barcelona: Gustavo Gili, S. A.
- Sher, D. (28 de Octubre de 2015). *How toxic are ABS & PLA fumes?* Obtenido de 3D Printing Industry: <https://3dprintingindustry.com/news/toxic-abs-pla-fumes-3dsafety-org-inquires-vocs-60796/>
- Street, L. F. (1964). *Estados Unidos Patente nº US3271821A*.
- Travesía pirenaica. (Marzo de 2019). *El problema del plástico en el medio ambiente*. Obtenido de <https://travesiapirenaica.com/problema-plastico-en-el-medio-ambiente/>
- Universidad de Barcelona. (28 de Febrero de 2019). *Un estudio científico revela los tipos de microplásticos más abundantes en las aguas costeras del Mediterráneo*. Obtenido de Actualitat: <https://web.ub.edu/es/web/actualitat/w/a-scientific-study-reveals-the-most-abundant-type-of-microplastics-in-mediterranean-coastal-waters>
- Useon. (19 de Noviembre de 2021). *Extrusora de un solo tornillo vs Extrusora de doble tornillo*. Obtenido de Useon: <https://www.useon.es/guide/single-screw-extruder-vs-twin-screw-extruder/>
- Wanrooetech. (s.f.). *Granulador de película de PP y polietileno de alta densidad, máquina para hacer granulados de plástico*. Obtenido de Alibaba.com: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/pp-pe-film-hdpe-ldpe-granulator-pelletizer-plastic-recycling-granule-making-machine-60309460513.html>
- Zahraa Neama, A. A. (2021). *Study the Extrusion Process of Two Recycled Materials to Obtain a Materials with Good Properties*. Cairo: Ministry of Higher Education and Scientific Research.

## ANEXOS

ANEXO A: CUCHILLA GIRATORIA Y MATRIZ DE EXTRUSIÓN.....	100
ANEXO B: MATRIZ, ORIFICIOS Y CUCHILLA GIRATORIA.....	101
ANEXO C: MATRIZ DE EXTRUSIÓN Y CUCHILLA GIRATORIA.....	102
ANEXO D: CONCEPTOS DE SOLUCIÓN.....	103
D.1 Concepto de solución 1.....	103
D.2 Concepto de solución 2.....	105
D.3 Concepto de solución 3.....	107
ANEXO E: EVALUACIÓN TÉCNICA – ECONÓMICA.....	109
ANEXO F: MÁQUINA EXTRUSORA – PELETIZADORA FINAL.....	112
ANEXO G: DISEÑO DE LA TOLVA DEL SISTEMA DE ESCAMAS.....	113
ANEXO H: ANÁLISIS DEL CILINDRO DEL SISTEMA DE ESCAMAS.....	115
ANEXO I: DISEÑO DEL TORNILLO TRANSPORTADOR DE ESCAMAS.....	118
ANEXO J: POTENCIA DEL MOTOR DEL SISTEMA DE ESCAMAS.....	122
ANEXO K: DISEÑO DE AGUJEROS DE LA MATRIZ DE EXTRUSIÓN.....	124
ANEXO L: DISEÑO Y ANÁLISIS DEL HUSILLO EXTRUSOR.....	128
ANEXO M: DISEÑO Y ANÁLISIS DE LA CÁMARA DE FUNDICIÓN.....	139
ANEXO N: POTENCIA DEL MOTOR DEL SISTEMA DE EXTRUSIÓN.....	142
ANEXO O: POTENCIA DE LAS RESISTENCIAS CALENTADORAS.....	144
ANEXO P: ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL EJE DE LA PORTACUCHILLAS....	145
ANEXO Q: ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE LA CUCHILLA DE CORTE.....	152
ANEXO R: POTENCIA DEL MOTOR DEL SISTEMA DE CORTE.....	156

## ANEXO A: CUCHILLA GIRATORIA Y MATRIZ DE EXTRUSIÓN

En la Figura A, se pueden observar dos figuras: la Fig. 4 donde se muestran las cuchillas montadas en un cabezal en disposición circular en forma de estrella; y la Fig. 5 donde se observa la matriz de extrusión con los agujeros ordenados en filas que se extienden radialmente, estos orificios están espaciados de manera equidistante en cada fila.

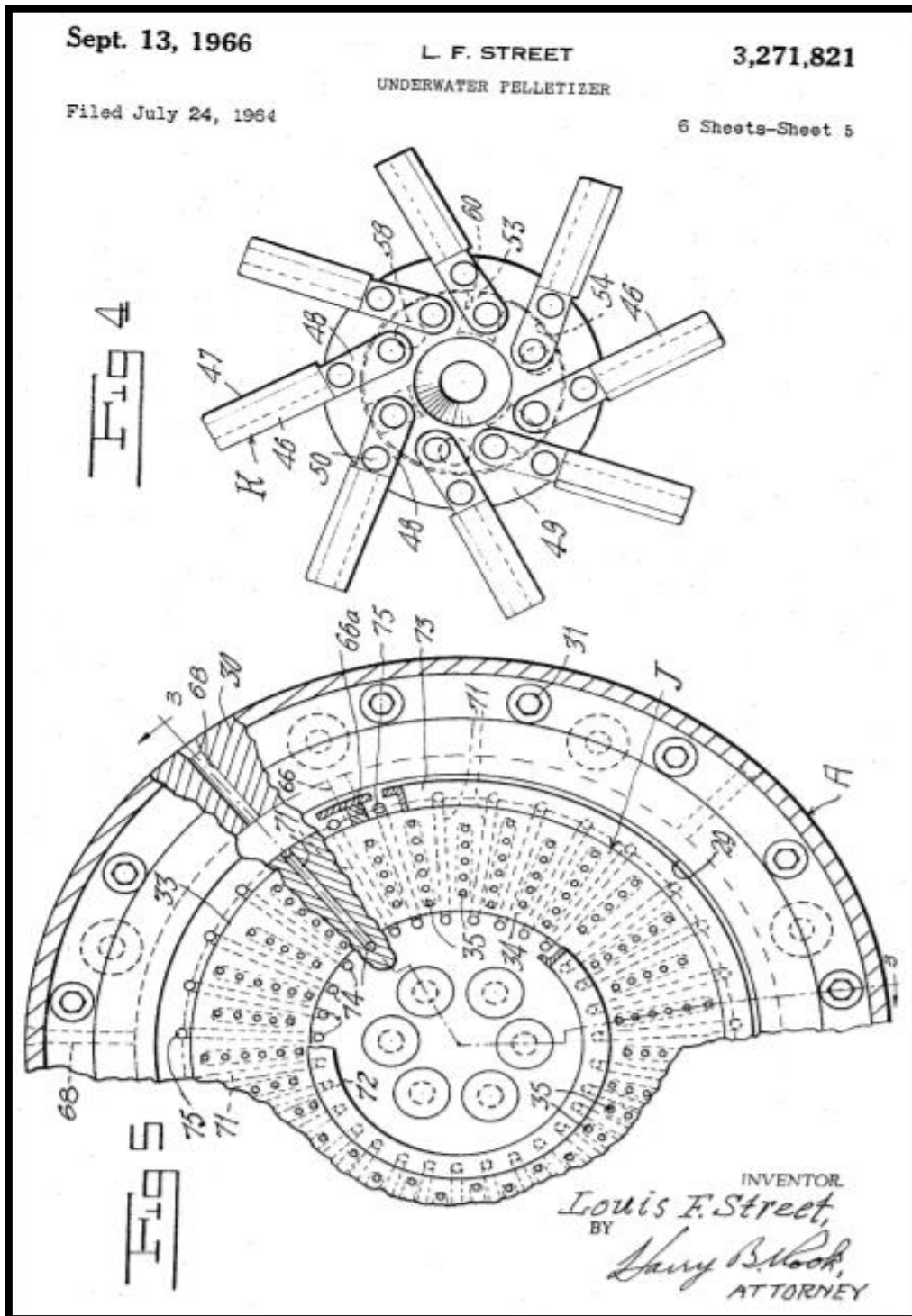


Figura A. Cuchillas de corte y disposición de agujeros en la matriz de extrusión.

## ANEXO B: MATRIZ, ORIFICIOS Y CUCHILLA GIRATORIA

En la Figura B, se pueden observar diferentes figuras, siendo las más importantes: La Fig – 5, donde se puede ver la disposición de los orificios alrededor de la matriz de extrusión, la Fig – 6 que muestra la forma cónica de estos orificios, y la Fig – 7 donde se observa que las cuchillas están montadas en la parte plana del cubo, con el fin de que la rotación de estas desplace el agua y los pellets a la salida de alojamiento.

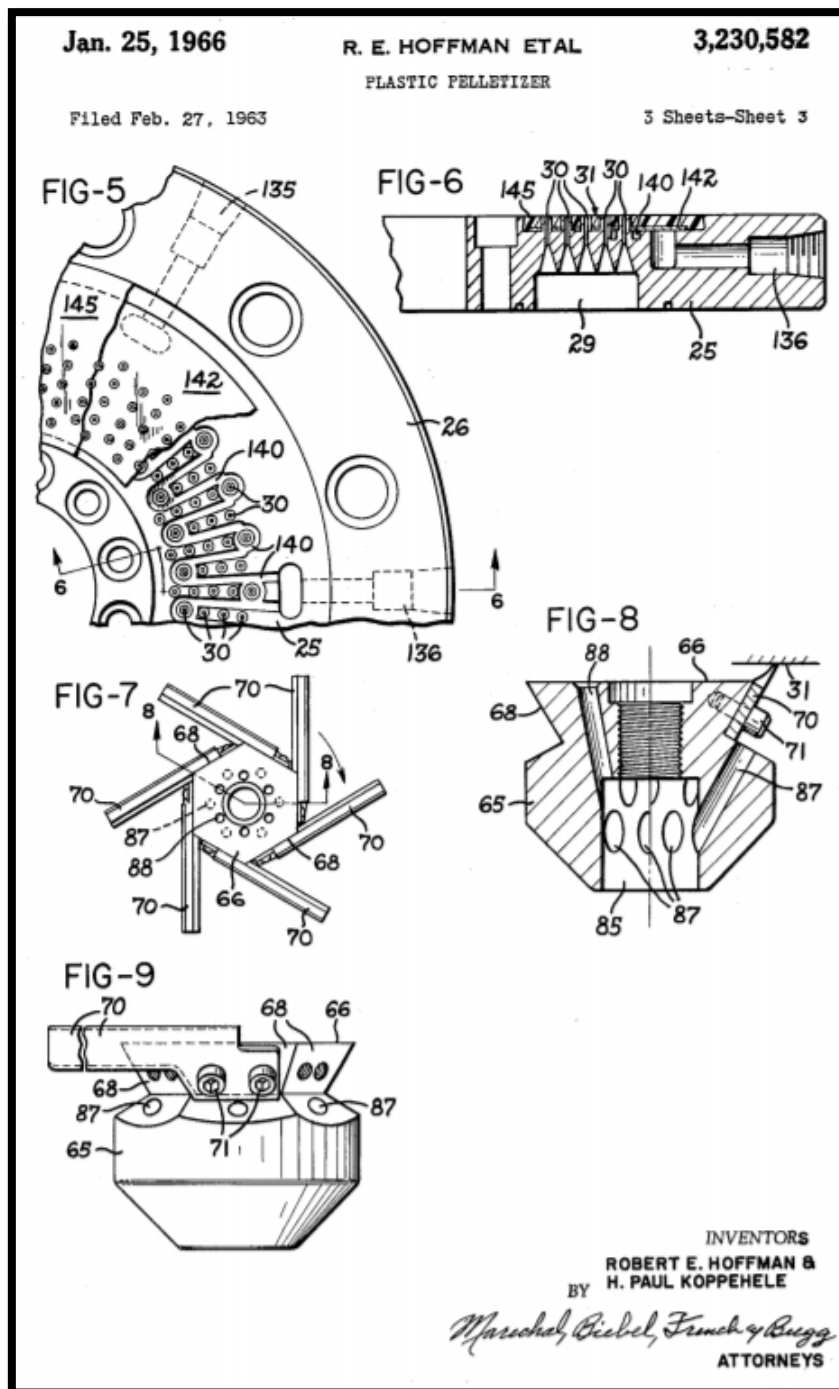


Figura B. Disposición de cuchillas de corte y geometría de agujeros en la matriz de extrusión.

## ANEXO C: MATRIZ DE EXTRUSIÓN Y CUCHILLA GIRATORIA

En la Figura C, se puede observar la Fig. 4, donde se muestra los pasajes 410 que se perforan en la matriz de extrusión 801 de un tamaño predeterminado para insertar tubos intercambiadores de calor, y en la Fig. 5 se muestra los agujeros 825 en donde se ponen los tornillos que sujetan la matriz. Además, en la Fig. 6 se muestra las cuchillas de corte y su disposición en el cubo giratorio.

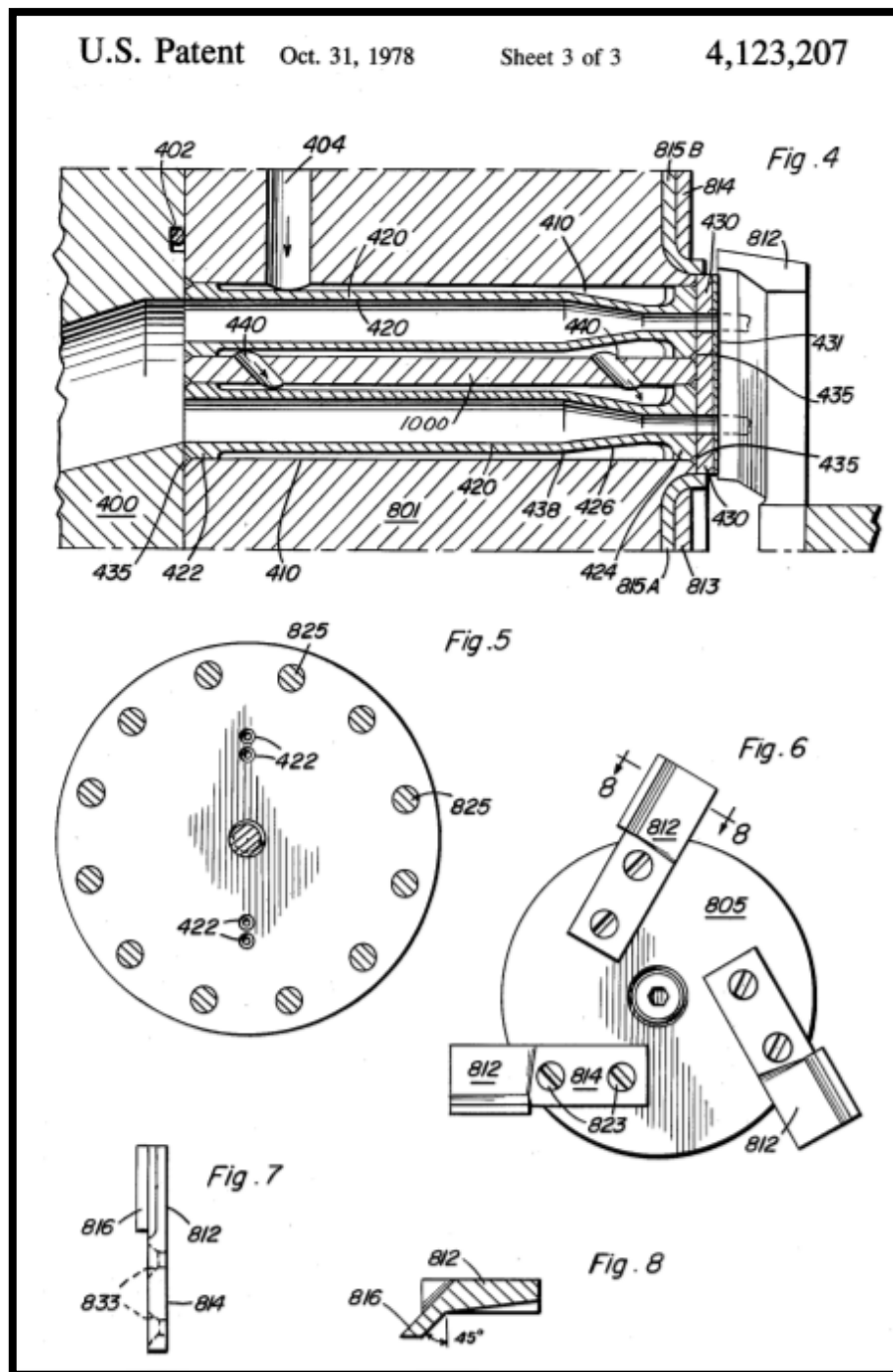


Figura C. Inserción de tubos intercambiadores de calor y disposición de cuchillas de corte.

## **ANEXO D: CONCEPTOS DE SOLUCIÓN**

A continuación, se realiza una descripción breve de cada concepto de solución obtenido a través de la matriz morfológica; además, se muestra el bosquejo a mano alzada de cada uno.

### **D.1 Concepto de solución 1**

En esta solución, se tiene una faja transportadora para alimentar la tolva del sistema de extrusión; esta faja es abastecida con escamas de PET por una tolva más grande que el de dicho sistema. Asimismo, el masterbatch se almacena en tres tolvas pequeñas, uno para cada color, y con ayuda de tornillos transportadores son suministrados a la tolva del sistema de extrusión. Ambos sistemas son accionados por motores DC, y sus velocidades son sensadas por un tacodinamo.

Para el transporte de escamas y extrusión del fluido viscoso de PET se cuenta con un mecanismo de husillo simple, el cual es accionado por un motor DC, y su velocidad es sensada por un tacodinamo. Para la fundición de las escamas y masterbatch se tienen resistencias calentadoras a lo largo de la cámara de fundición, y dentro se tiene un termistor para el sensado de la temperatura. Y para dar la forma al fluido viscoso se cuenta con un plato extrusor en la parte final del cilindro. Además, a la salida del plato extrusor se tiene una cámara con agua para enfriar y solidificar los filamentos extruidos mientras son cortados en pellets.

Para el corte de los filamentos se tiene cuchillas giratorias, las cuales son accionadas por un motor DC, y su velocidad es sensada por un tacodinamo.

Para el procesamiento de la información de los sensores, y el control de todos los procesos, este sistema cuenta con un microprocesador; y, además, posee un panel de control, en donde se encuentran los interruptores giratorios, los indicadores de estado y los botones de control.

En la Figura D.1 se muestra el bosquejo del concepto de solución descrito.

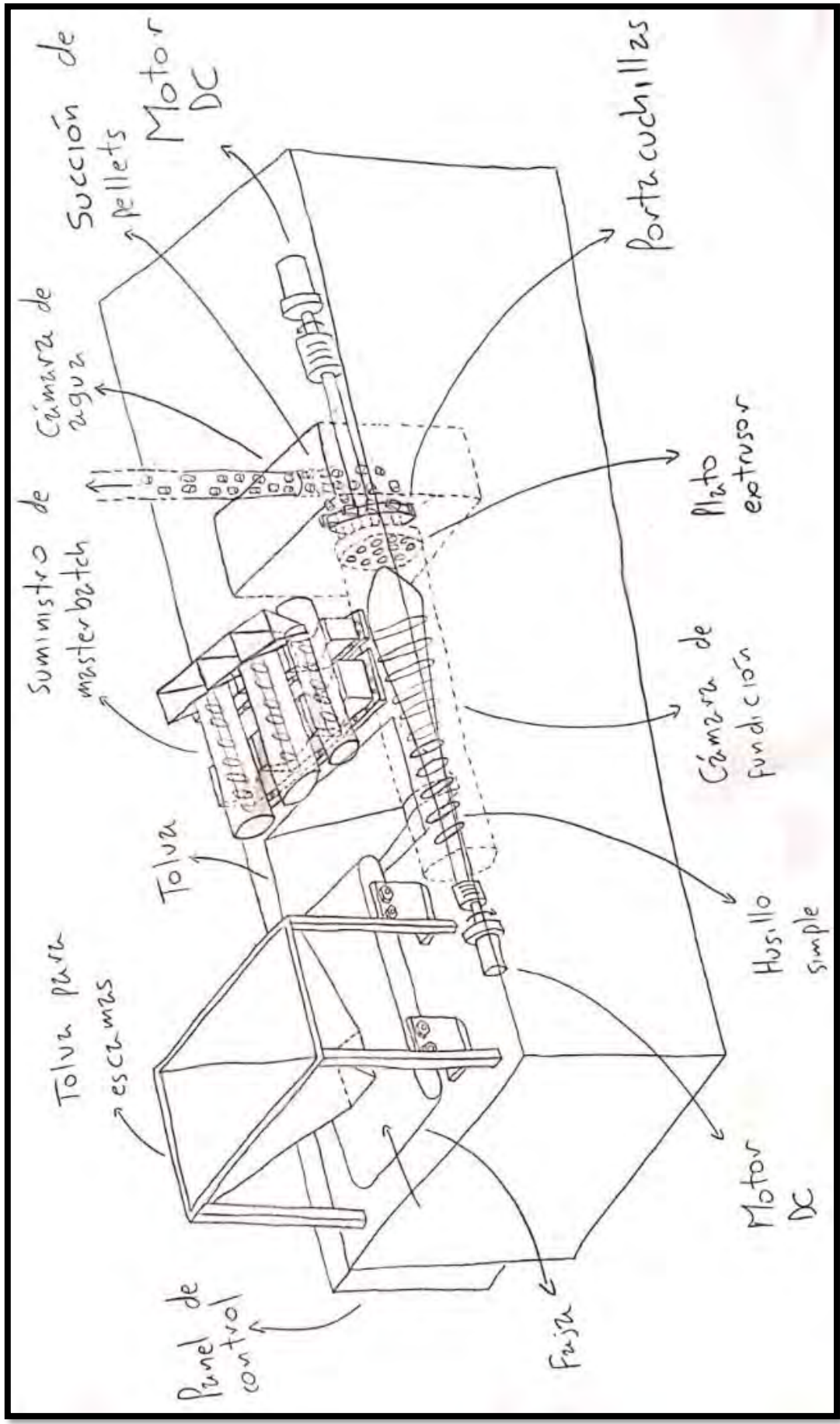


Figura D.1. Concepto de solución 1.

## D.2 Concepto de solución 2

En esta solución, el sistema de suministro de escamas cuenta con un tornillo transportador para alimentar la tolva del sistema de extrusión; dicho tornillo transportador es abastecido con escamas de PET por una tolva más grande que el del sistema de extrusión. Asimismo, el sistema de suministro de masterbatch cuenta con tres tolvas pequeñas para su almacenamiento, y tres tornillos transportadores, uno para cada color, para el transporte de masterbatch hacia el sistema de extrusión. Ambos sistemas son accionados por motores DC, y sus velocidades son sensadas por encoders ópticos.

Para el transporte de escamas y extrusión del fluido viscoso de PET se cuenta con un mecanismo de husillo simple, el cual es accionado por un motor AC; y su velocidad es sensada por un encoder óptico para su control. Para la fundición de las escamas y masterbatch se tienen resistencias calentadoras a lo largo de la cámara de fundición, y dentro se tiene una termocupla para el sensado de la temperatura. Para dar la forma al fluido viscoso, al final de la cámara de fundición, se tiene un plato extrusor, el cual tiene agujeros distribuidos circularmente. Además, los filamentos extruidos salen del sistema de extrusión hacia una cámara de enfriamiento con agua, lo cual permite enfriar los filamentos mientras son cortados en pellets.

El sistema de corte cuenta con una porta cuchillas, la cual es accionada por un motor AC, y su velocidad es sensada por un encoder óptico.

Finalmente, esta solución cuenta con un PLC para el procesamiento de la información de los sensores, y para el control de los diferentes sistemas; asimismo, posee un panel de control, el cual tiene los interruptores giratorios, los botones de control y los indicadores de estado.

En la Figura D.2 se muestra el bosquejo del concepto de solución descrito.

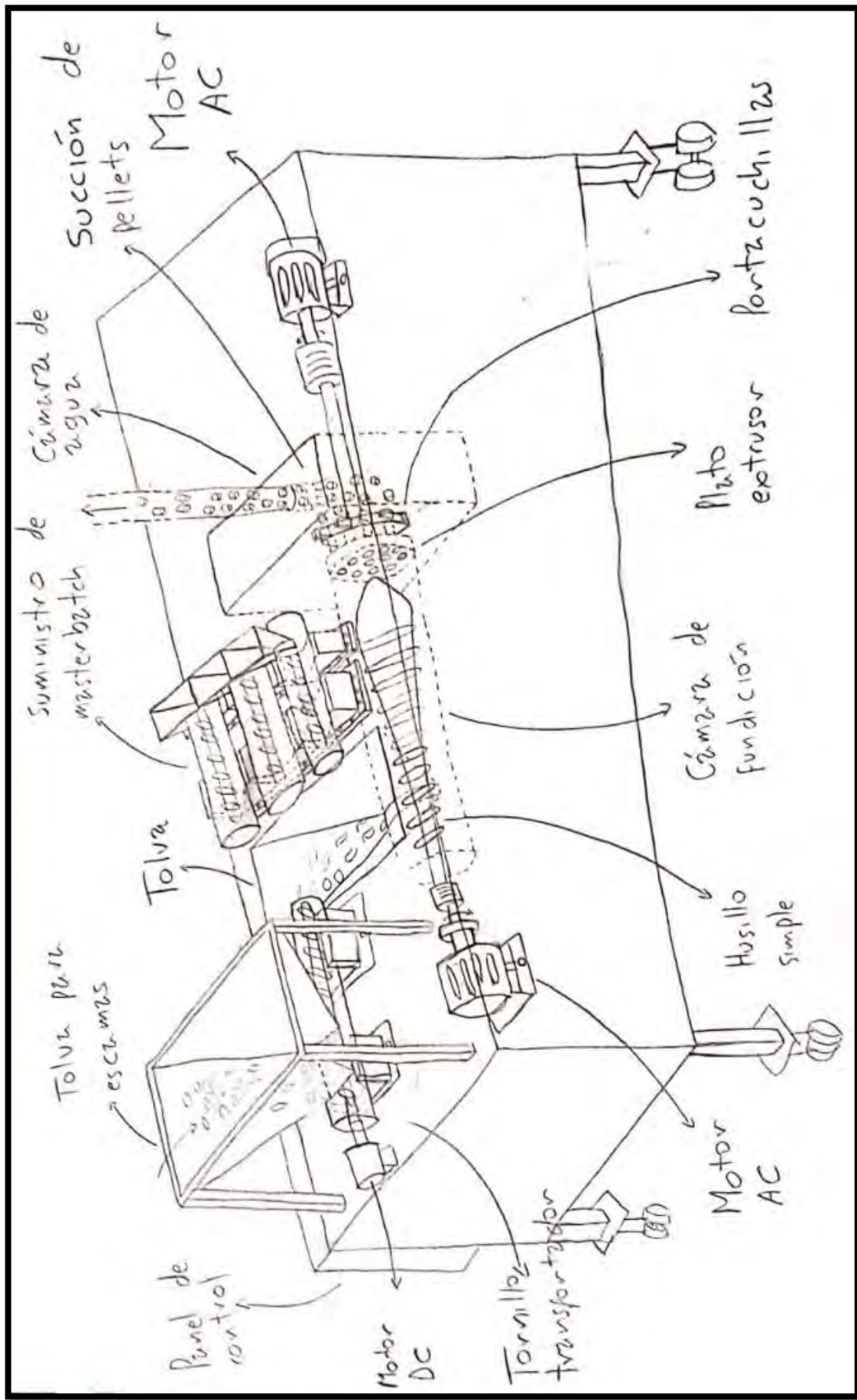


Figura D.2. Concepto de solución 2.

### **D.3 Concepto de solución 3**

En esta solución, la alimentación de escamas y masterbatch se realiza de forma manual, es decir, son suministrados por el operario de la máquina, y son almacenados en la tolva del sistema de extrusión.

Para el transporte de escamas y extrusión del fluido viscoso se cuenta con un mecanismo de husillo simple, el cual es accionado por un motor DC, y su velocidad es sensada por un encoder óptico para el control del flujo de salida. Para la fundición de escamas y masterbatch se tienen resistencias calentadoras a lo largo de la cámara de fundición, y su temperatura es sensada por una termocupla. Para que el fluido viscoso salga en forma de filamentos se cuenta con un plato extrusor al final de la cámara de fundición, el cual tiene agujeros distribuidos uniformemente. Además, los filamentos extruidos salen del sistema de extrusión hacia una cámara de enfriamiento con agua, donde son enfriados y cortados simultáneamente.

El sistema de corte cuenta con una porta cuchillas, la cual es accionada por un motor DC, y su velocidad es sensada por un encoder óptico.

Finalmente, este sistema cuenta con un microcontrolador para el procesamiento de la información de los sensores, y para el control de los diferentes procesos; asimismo, posee un panel de control, en donde se tienen los indicadores de estado, los interruptores giratorios para la selección de flujo de salida y colores de los pellets, y los botones de control.

En la Figura D.3 se muestra el bosquejo del concepto de solución descrito.

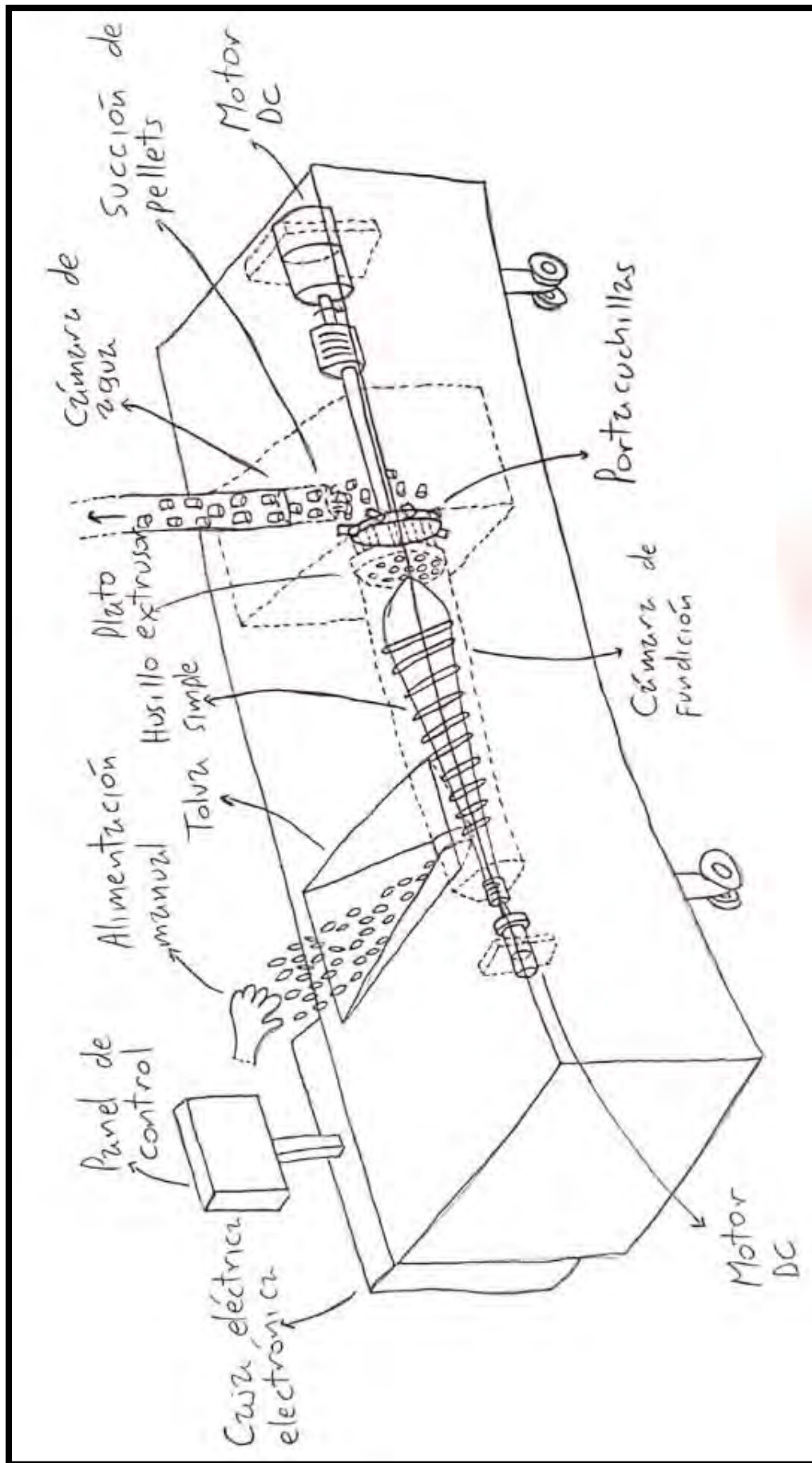


Figura D.3. Concepto de solución 3.

## ANEXO E: EVALUACIÓN TÉCNICA – ECONÓMICA

Una vez obtenidas las tres soluciones se procede a evaluarlas mediante un análisis de criterios técnico – económicos para poder obtener la solución óptima. Para lograr esto, se asignará un peso relativo a cada criterio, dicho peso variará según la importancia de cada criterio frente a los otros. Asimismo, cada criterio será calificado con un número del 1 al 5, el cual indicará el grado de cumplimiento de la solución evaluada. Luego, se realizará el producto del peso relativo con el grado de cumplimiento de cada criterio, y los valores obtenidos para una misma solución serán sumados para obtener el valor total de cada evaluación. Finalmente, los valores obtenidos para cada solución serán colocados en un gráfico comparativo para obtener la solución óptima del sistema diseñado; la solución óptima será aquella que esté más próxima a la curva ideal y a la esquina superior derecha.

En las Tablas E.1 y E.2 se muestra la evaluación técnica y económica de las soluciones obtenidas en la matriz morfológica.

**Tabla E.1: Evaluación técnica de las soluciones obtenidas**

Criterios de evaluación	g	Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
		p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
<b>Función</b>	0.17	2	0.34	3	0.51	3	0.51	4	0.68
<b>Requerimientos del sistema</b>	0.17	2	0.34	3	0.51	3	0.51	4	0.68
<b>Estabilidad</b>	0.13	3	0.39	3	0.39	3	0.39	4	0.52
<b>Manipulación</b>	0.13	3	0.39	3	0.39	2	0.26	4	0.52
<b>Transportabilidad</b>	0.13	2	0.26	2	0.26	3	0.39	4	0.52
<b>Buen uso de energía</b>	0.10	1	0.10	3	0.30	2	0.20	4	0.40
<b>Seguridad</b>	0.17	2	0.34	3	0.51	1	0.17	4	0.68
<b>Total</b>	1.00	15	2.16	21	2.87	19	2.43	28	4.00
<b>Valor técnico</b>			<b>0.54</b>		<b>0.72</b>		<b>0.61</b>		<b>1.00</b>

Nota. Elaboración propia

### Leyenda

Puntaje de 0 a 4 para calificar los criterios

0 = Malo

1 = Regular

2 = Bueno

3 = Muy bueno

4 = Excelente

**Tabla E.2: Evaluación económica de las soluciones obtenidas**

Criterios de evaluación	g	Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
		p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
Número de piezas	0.33	2	0.66	3	0.99	2	0.66	4	1.32
Fácil adquisición	0.27	3	0.81	3	0.81	3	0.81	4	1.08
Costo de tecnología	0.20	2	0.40	3	0.60	1	0.20	4	0.8
Costo de montaje	0.20	2	0.40	2	0.40	3	0.60	4	0.8
<b>Total</b>	1.00	7	2.27	11	2.80	8	2.27	16	4.00
<b>Valor económico</b>			<b>0.57</b>		<b>0.70</b>		<b>0.57</b>		<b>1.00</b>

Nota. Elaboración propia

### Leyenda

Puntaje de 0 a 4 para calificar los criterios

0 = Malo

1 = Regular

2 = Bueno

3 = Muy bueno

4 = Excelente

En la Figura E se muestra el gráfico comparativo de los valores técnicos y económicos de las soluciones evaluadas anteriormente para encontrar el concepto de solución más óptimo.

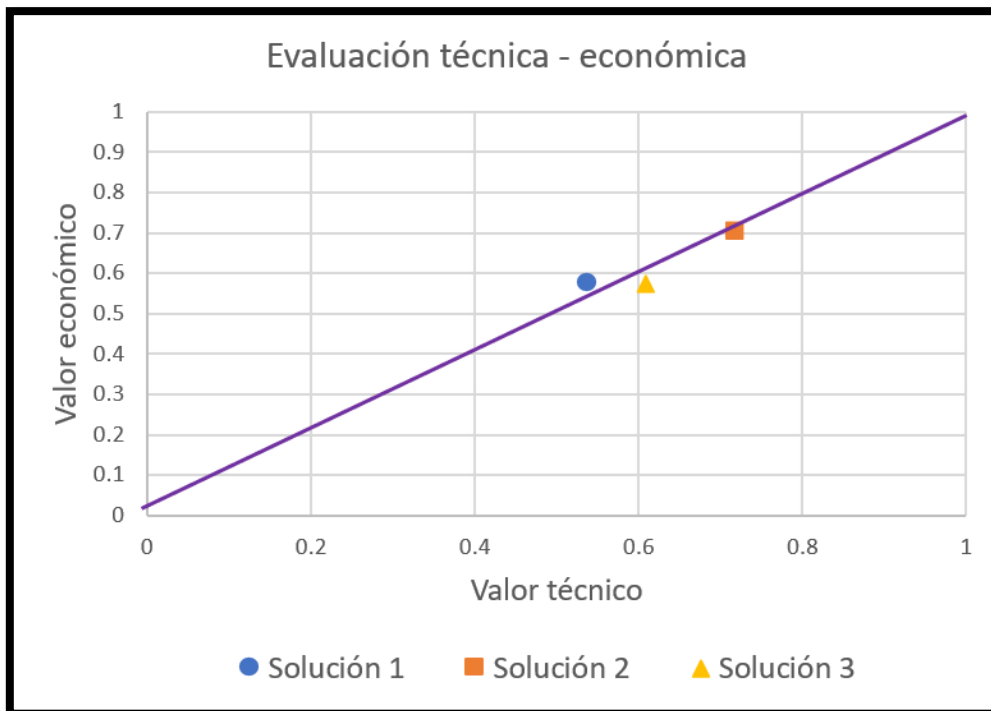


Figura E. Gráfico comparativo de valores técnicos y económicos.

A partir del gráfico mostrado se puede concluir que la solución más óptima es la segunda, ya que su punto está más próximo a la curva ideal y a la esquina superior derecha.

## ANEXO F: MÁQUINA EXTRUSORA – PELETIZADORA FINAL

En la Figura F, se puede observar el modelado 3D final de la máquina, en el cual están integrados los sistemas de suministro de escamas, masterbatch, sistema de corte y fundición, así como, el panel de control y la caja eléctrica – electrónica.

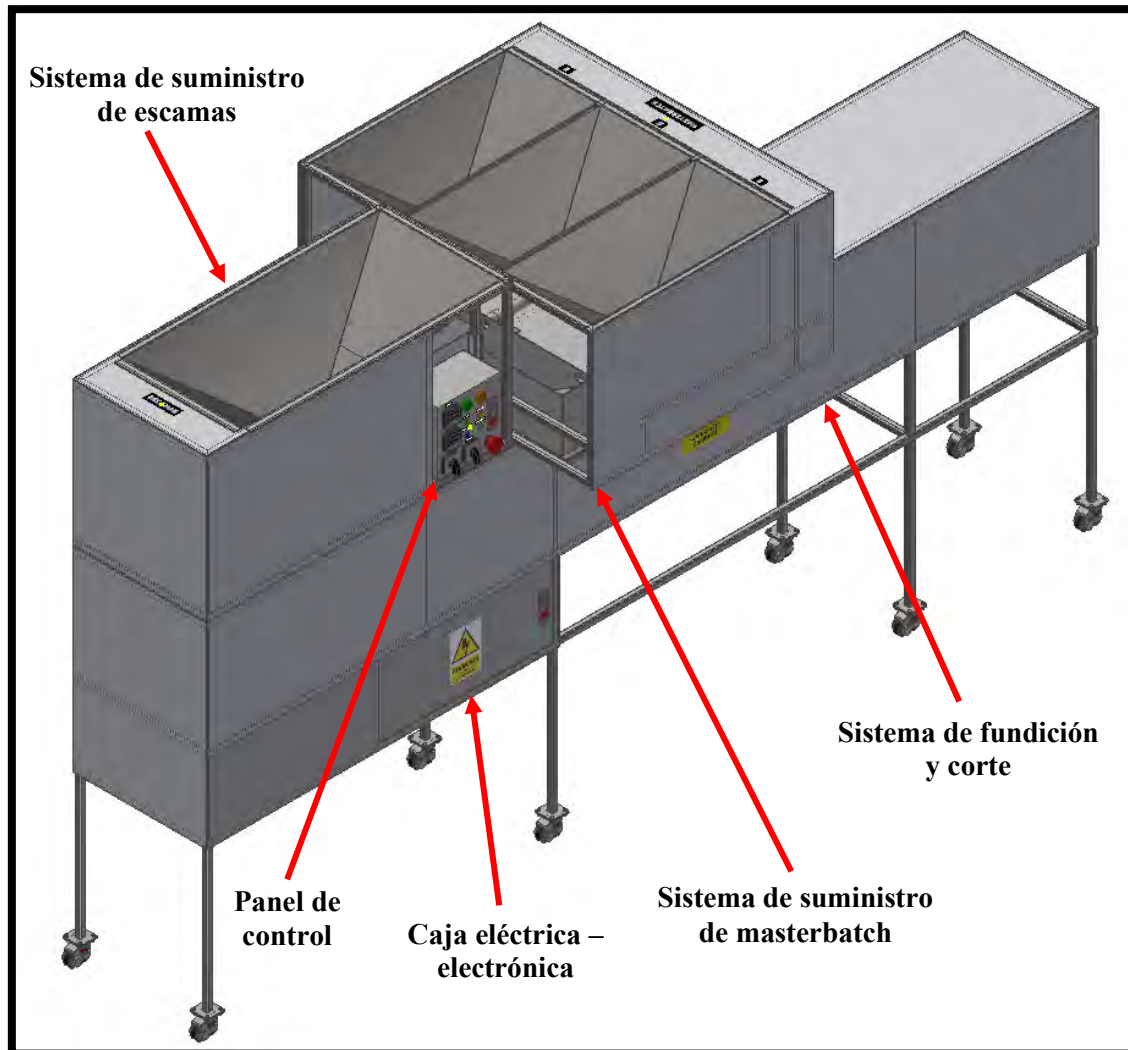


Figura F. Gráfico comparativo de valores técnicos y económicos.

## ANEXO G: DISEÑO DE LA TOLVA DEL SISTEMA DE ESCAMAS

Para determinar las dimensiones de la tolva del sistema de suministros de escamas, primero se realiza el cálculo de la masa de escamas que debe albergar para 10 minutos de trabajo, sabiendo que el flujo de salida deseado  $Q_{salida}$  es  $80 \text{ kg/h}$  :

$$m_{escamas} = Q_{salida} * horas_{trabajo} = 80 * \frac{1}{6} = 13.33 \text{ kg.}$$

Luego, se calcula el volumen que ocuparán las escamas de PET, teniendo en cuenta que estos tienen una densidad de  $400 \text{ kg/m}^3$  (Ambiente Plástico, 2018):

$$V_{escamas} = \frac{m_{escamas}}{\rho_{escamas}} = \frac{13.33}{400} = 0.033 \text{ m}^3.$$

A continuación, en la Figura G.1 se muestra las dimensiones de la tolva en función de su altura, y después se realiza el cálculo de las dimensiones, teniendo en cuenta que el diámetro del tornillo transportador  $\Phi_{transp}$  es  $65 \text{ mm}$ : ( $\Phi_{transp}$  calculado en el Anexo I)

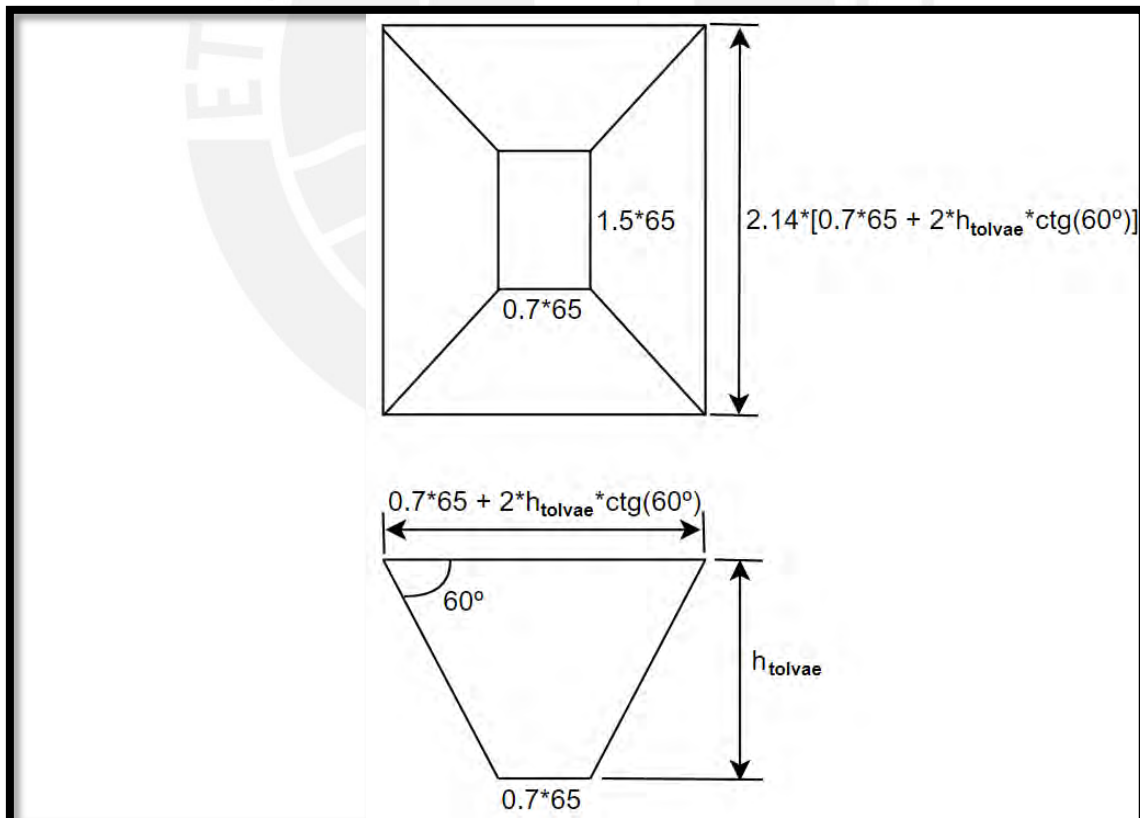


Figura G.1. Dimensiones de la tolva en función de su altura.

$$V_{masterbatch} = V_{pirM} - V_{pirm} \dots (1).$$

Donde:

$$V_{pirM} = \frac{2.14}{3} * (0.7 * 65 + 2 * h_{tolvae} * ctg(60))^2 (h_{tolvae} + 0.35 * 65 * tg(60)) \dots (2).$$

$$V_{pirm} = \frac{1}{3} * (0.7 * 1.5 * 65^2) * (0.35 * 65 * tg(60)) \dots (3).$$

Entonces, reemplazando las ecuaciones (2) y (3) en (1), y, además, resolviendo la ecuación (1), se obtiene:

$$h_{tolvae} = 286.95 \approx 287 \text{ mm.}$$

Finalmente, las dimensiones que debe tener la tolva, para almacenar el volumen requerido, son las mostradas en la Figura G.2:

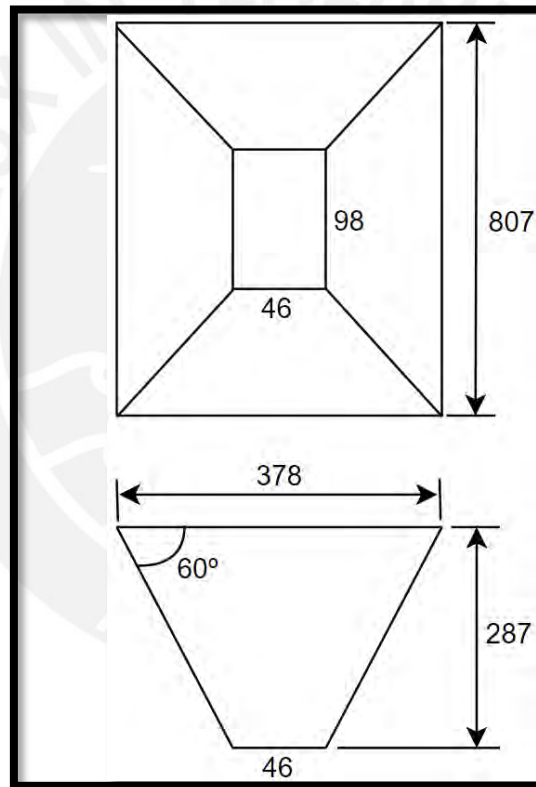


Figura G.2. Dimensiones de la tolva del sistema de suministro de escamas.

## ANEXO H: ANÁLISIS DEL CILINDRO DEL SISTEMA DE ESCAMAS

Para iniciar el cálculo del factor de seguridad y flecha máxima, primero se asume que tendrá un espesor de 2 mm. Luego, se calcula el peso total de las escamas y del cilindro, sabiendo que el cilindro estará hecho de acero ASTM A – 312:

Primero se calcula el peso total de las escamas: (Área de relleno,  $S$ , calculado en el Anexo J)

$$W_{escamas} = S * L_{cilindroe} * \rho_{escamas} * g = 9.61 * 10^{-4} * 0.2 * 400 * 9.81 = 0.75 \text{ N.}$$

Luego, se calcula el peso del cilindro, sabiendo que la densidad del acero,  $\rho_{acero}$ , es  $8030 \text{ kg/m}^3$  (Material Mundial, s.f.).

$$W_{cilindroe} = \left[ \frac{\pi * D_{cilindroe}^2}{4} - \frac{\pi * d_{cilindroe}^2}{4} \right] * L_{cilindroe} * \rho_{acero} * g,$$

$$W_{cilindroe} = \left[ \frac{\pi * 0.0695^2}{4} - \frac{\pi * 0.0655^2}{4} \right] * 0.2 * 8.03 * 10^3 * 9.81 = 6.67 \text{ N.}$$

En la Figura H.1 se muestra la disposición de los apoyos y dimensiones del cilindro; y en la Figura H.2, el diagrama de esfuerzos, para determinar el punto donde el elemento está sometido a esfuerzos críticos:

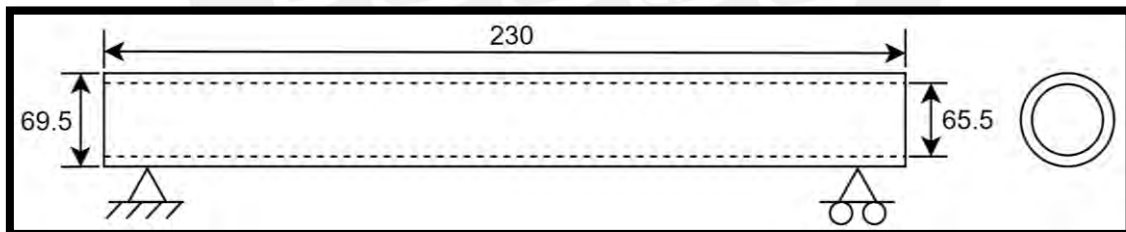


Figura H.1. Apoyos y dimensiones del cilindro del sistema de suministro de escamas.

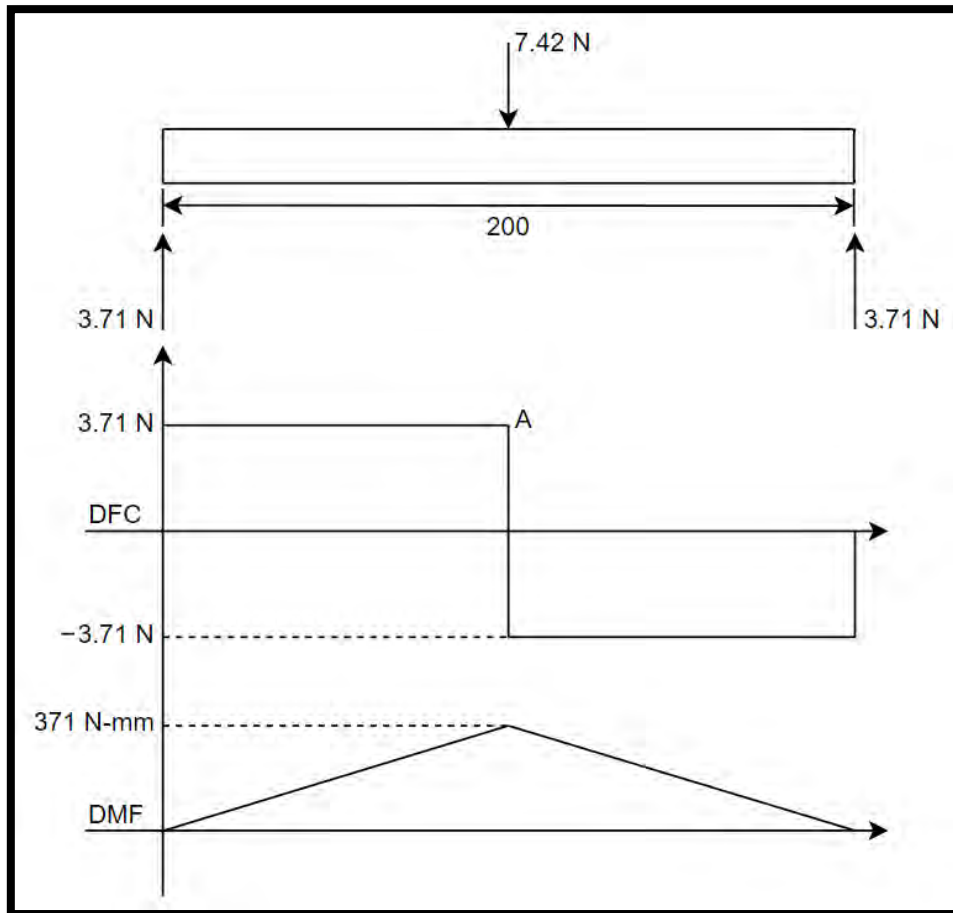


Figura H.2. Diagrama de esfuerzos del cilindro del sistema de suministro de escamas.

Ahora, se calcula el esfuerzo cortante y el esfuerzo de flexión del cilindro en el punto A, ya que, según el diagrama mostrado, ese punto es el que se encuentra sometido a esfuerzos críticos:

Esfuerzo cortante:

$$\tau_c = \frac{3.71}{A_{cilindroe}} = \frac{3.71}{\left(\frac{\pi * 69.5^2}{4} - \frac{\pi * 65.5^2}{4}\right)} = 8.75 * 10^{-3} \text{ MPa.}$$

Esfuerzo de flexión:

$$\sigma_f = \frac{32 * 371 * D_{cilindroe}}{\pi * (D_{cilindroe}^4 - d_{cilindroe}^4)} = \frac{32 * 371 * 69.5}{\pi * (69.5^4 - 65.5^4)} = 0.053 \text{ MPa.}$$

Entonces, el esfuerzo equivalente según Tresca sería:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_f^2 + 4 * \tau_c^2} = \sqrt{0.053^2 + 4 * (8.75 * 10^{-3})^2} = 0.056 \text{ MPa.}$$

Finalmente, al realizar el cálculo del factor de seguridad del cilindro, se obtiene un valor muy grande; asimismo, se realiza el cálculo de la flecha máxima del cilindro, sabiendo que el acero ASTM A – 312 tiene un módulo de elasticidad,  $E$ , igual a 193 GPa (Material Mundial, s.f.):

$$f_{\text{máx}} = \frac{W_{\text{total}} * L_{\text{cilindro}}^3}{48 * E * I_{\text{cilindro}}} = \frac{7.42 * 200^3}{48 * 193000 * \frac{\pi}{4} * (34.75^4 - 32.75^4)} = 2.65 * 10^{-5} \text{ mm.}$$

En conclusión, el espesor elegido es suficiente para soportar los esfuerzos a los que estará sometido el cilindro.



## ANEXO I: DISEÑO DEL TORNILLO TRANSPORTADOR DE ESCAMAS

Para realizar el diseño del tornillo transportador, se utiliza el método que se encuentra en el Tutorial n° 143 de una página de diseño (Ingemecánica, 2023), con el cual, primero se debe determinar el material que se va a transportar, el tamaño de lo que se va a transportar, la distancia que se va a transportar y el flujo máximo de salida. A continuación, se determinan los parámetros mencionados:

Material a transportar:

*Escamas de PET.*

Tamaño escamas:

$$\Phi_{escamas} = 5 \text{ mm}, \quad e_{escamas} = 0.5 \text{ mm}.$$

Longitud a desplazar:

$$L_{transpe} = 215 \text{ mm}.$$

Flujo máximo: (Flujo de salida de la máquina,  $Q_{salida}$ , definido en el Anexo G)

$$Q_{escamas} = Q_{salida} = 80 \text{ kg/h}.$$

Luego, se determina el diámetro del tornillo transportador:

$$\Phi_{transp} = 13 * \Phi_{escamas} = 13 * 5 = 65 \text{ mm}.$$

Ahora, se determina que se va a utilizar un tornillo transportador de paso corto, debido a que es el más utilizado para el transporte de productos granulosos; por lo tanto, el paso del tornillo es:

$$p_{transp} = \frac{2}{3} * \Phi_{transp} = \frac{2}{3} * 65 = 43.33 \approx 44 \text{ mm}.$$

Después, por recomendación de CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association, 2019), el diámetro del eje se calcula utilizando la Figura I.1, mostrada a continuación:

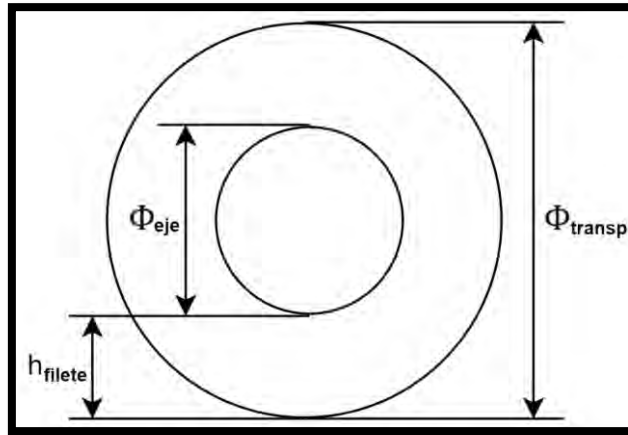


Figura I.1. Dimensiones del tornillo transportador.

$$h_{filete} = \gamma * \Phi_{escamas}$$

Donde:

$\gamma$  = relación de clase (4.5 según CEMA)

Entonces, la altura del filete será:

$$h_{filete} = 4.5 * 5 = 22.5 \text{ mm.}$$

Finalmente, del dibujo mostrado, el diámetro del eje es:

$$\Phi_{eje} = \Phi_{transp} - 2 * h_{filete} = 65 - 2 * 22.5 = 20 \text{ mm.}$$

Asimismo, se determina que el espesor de los filetes será de 2 mm, ya que va a transportar material liviano.

A continuación, para saber si el tornillo diseñado va a soportar todos los esfuerzos a los que estará sometido, se realiza el diagrama de esfuerzos, ya que de esta forma se podrá determinar la zona crítica. En la Figura I.2 se muestra la disposición de los apoyos y dimensiones del tornillo transportador; y en la Figura I.3, el diagrama de esfuerzos:

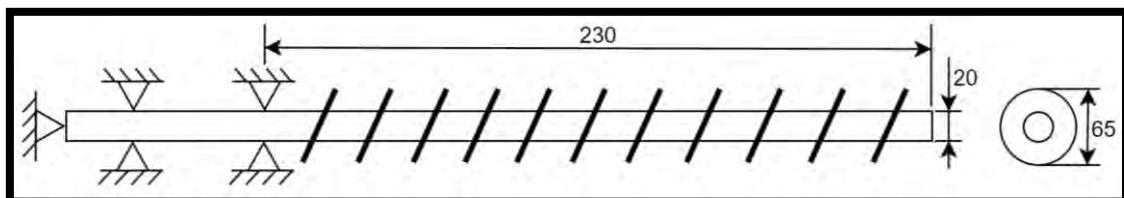


Figura I.2. Apoyos y dimensiones del tornillo transportador del sistema de suministro de escamas.

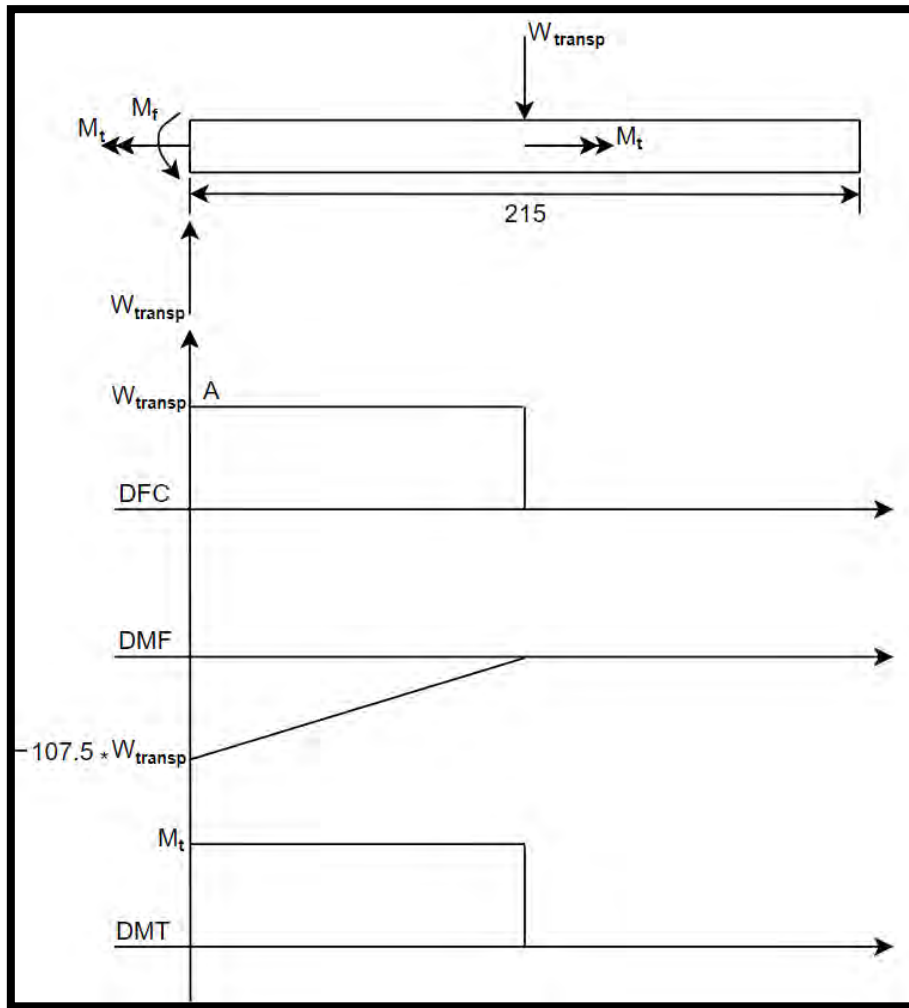


Figura 1.3. Diagrama de esfuerzos del tornillo transportador del sistema de suministro de escamas.

Del diagrama mostrado se observa que el punto A estará sometido a esfuerzos críticos, por tanto, en este punto se realizará el análisis de esfuerzos; para lo cual, primero se calcula el peso total del tornillo y el momento torsor, sabiendo que el eje está hecho de acero ASTM A – 276:

Peso total del tornillo transportador: (Densidad del acero,  $\rho_{acero}$ , calculado en el Anexo L)

$$W_{transp} = \frac{\pi * \Phi_{transp}^2}{4} * L_{transpe} * \rho_{acero} * g,$$

$$W_{transp} = \frac{\pi * 65^2}{4} * 215 * 8.02 * 10^{-6} * 9.81 = 56.13 \text{ N}.$$

Momento torsor: (Velocidad de giro,  $n$ , y potencia del motor,  $P_{motor}$ , calculadas en el Anexo J)

$$M_t = 9550 * \frac{P_{motor}}{n} = 9550 * \frac{0.057}{80.67} = 6.75 \text{ N - m}.$$

Luego, se calcula el esfuerzo cortante, el esfuerzo flector y el esfuerzo torsor:

Esfuerzo cortante:

$$\tau_c = \frac{W_{transp}}{A_{eje}} = \frac{56.13}{\frac{\pi * 20^2}{4}} = 0.18 \text{ MPa.}$$

Esfuerzo de flexión:

$$\sigma_f = \frac{32 * 107.5 * W_{transp}}{\pi * \Phi_{eje}^3} = \frac{32 * 107.5 * 56.13}{\pi * 20^3} = 7.68 \text{ MPa.}$$

Esfuerzo torsor:

$$\tau_t = \frac{16 * M_t}{\pi * \Phi_{eje}^3} = \frac{16 * 6.75 * 10^3}{\pi * 20^3} = 4.3 \text{ MPa.}$$

Entonces, el esfuerzo equivalente según Tresca será:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_f^2 + 4 * (\tau_c^2 + \tau_t^2)} = \sqrt{7.68^2 + 4 * (0.18^2 + 4.3^2)} = 11.54 \text{ MPa}$$

Finalmente, al calcular el factor de seguridad del tornillo transportador, se obtiene un valor muy grande; asimismo, se realiza el cálculo de la flecha máxima del tornillo: Módulo de elasticidad,  $E$ , igual a 200 GPa (Gelson Luz, 2020)

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{5 * W_{transp} * L_{transp}^3}{48 * E * I_{eje}} = \frac{5 * 56.13 * 215^3}{48 * 200000 * \frac{\pi}{4} * 10^4} = 0.037 \text{ mm.}$$

En conclusión, el tornillo transportador diseñado soportará todos los esfuerzos a los que estará sometido.

## ANEXO J: POTENCIA DEL MOTOR DEL SISTEMA DE ESCAMAS

Para el cálculo de la potencia necesaria para transportar las escamas, se continúa utilizando el método presente en la página de diseño Ingemecánica mencionada en el Anexo I. Por lo tanto, primero se determina el área del relleno del canalón  $S$ : (Diámetro del eje,  $\Phi_{eje}$ , y diámetro del tornillo transportador,  $\Phi_{transp}$ , calculados en el Anexo I)

$$S = \lambda * \frac{\pi * (\Phi_{transp}^2 - \Phi_{eje}^2)}{4}$$

Donde:

$\lambda$  = coeficiente de relleno (0.32 según Figura J.1)

Tipo de carga	Coficiente de relleno, $\lambda$
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada y poco abrasiva	0,25
Ligera y poco abrasiva	0,32
Ligera y no abrasiva	0,4

Figura J.1. Coeficiente de relleno de acuerdo al tipo de carga (Ingemecánica, 2023)

Entonces, el área de relleno será:

$$S = 0.32 * \frac{\pi * (0.065^2 - 0.02^2)}{4} = 9.61 * 10^{-4} m^2.$$

Luego, se calcula la velocidad de desplazamiento del material: (Paso del tornillo transportador,  $p_{transp}$ , calculado en el Anexo I)

$$v_{desp} = \frac{p_{transp} * n_{transp}}{60} = \frac{0.043 * n_{transp}}{60}$$

Después, con la fórmula del flujo de material se obtiene la velocidad de giro del motor: (Densidad de las escamas,  $\rho_{escamas}$ , definido en el Anexo G)

$$Q_{escamas} = 3600 * S * v_{desp} * \rho_{escamas} * i.$$

Donde:

$i$  = Coeficiente de inclinación del canalón (1 según Figura J.2)

Inclinación del canalón	0°	5°	10°	15°	20°
$i$	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Figura J.2. Coeficiente de inclinación del canalón (Ingemecánica, 2023)

Por tanto, la velocidad de giro del motor es: (Flujo de escamas,  $Q_{escamas}$ , determinado en el Anexo G)

$$80 = 3600 * 9.61 * 10^{-4} * \frac{0.043 * n_{transp}}{60} * 400 * 1,$$

$$n_{transp} = 80.67 \text{ rpm} \approx 81 \text{ rpm}.$$

Asimismo, para obtener la potencia total necesaria, se calcula la potencia para el desplazamiento horizontal ( $P_H$ ) y la potencia de accionamiento de tornillo en vacío ( $P_N$ ):

Potencia para el desplazamiento horizontal: (Longitud a desplazar,  $L_{transpe}$ , definido en el Anexo F)

$$P_H = c_0 * \frac{Q_{escamas} * L_{transpe}}{367} * 1000.$$

Donde:

$c_0$  = coeficiente de resistencia (1.2 según Figura J.3)

Tipo de material	Valor de $c_0$
Harina, serrín, productos granulados	1,2
Turba, sosa, polvo de carbón	1,6
Antracita, carbón, sal de roca	2,5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4

Figura J.3. Coeficiente de resistencia de acuerdo al tipo de material transportado (Ingemecánica, 2023)

Por consiguiente, la potencia sería:

$$P_H = 1.2 * \frac{80 * 0.215}{367} = 0.056 \text{ kW}.$$

Potencia de accionamiento de tornillo en vacío:

$$P_N = \frac{\Phi_{transp} * L_{transpe}}{20} = \frac{0.065 * 0.215}{20} = 6.99 * 10^{-4} \text{ kW}.$$

Finalmente, la potencia total necesaria para el motor es:

$$P_{motor} = P_H + P_N = 0.056 + 6.99 * 10^{-4} = 0.057 \text{ kW} \approx 0.06 \text{ kW}.$$

Sin embargo, se escoge una potencia de 0.08 kW, ya que puede que no se esté considerando algunos factores, como puede ser un posible atascamiento del material.

## ANEXO K: DISEÑO DE AGUJEROS DE LA MATRIZ DE EXTRUSIÓN

Primero, se convierte el flujo de salida deseado a  $m^3/h$  sabiendo que la densidad del PET fundido es  $1300 \text{ kg/m}^3$  (Sara Madadi, 2014):

$$Q_{salida} = \frac{80 \text{ kg/h}}{1300 \text{ kg/m}^3} = 0.0615 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Luego, se calcula la producción por hora que tendrá un solo agujero del sistema de extrusión, sabiendo que el diámetro de los pellets que se va a fabricar,  $d_{pellets}$ , es  $3 \text{ mm}$ :

$$A_{pellet} = \frac{\pi * d_{pellets}^2}{4} = \frac{\pi * 3^2}{4} = 7.07 \text{ mm}^2.$$

Después, asumiendo una velocidad de extrusión,  $v_{extrusión}$ , igual a  $50 \text{ mm/s}$ , se determina el volumen extruido por hora:

$$\dot{V}_{extruido} = A_{pellet} * v_{extrusión} = 7.07 * 50 = 353.5 \text{ mm}^3/\text{s} = 1.27 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}.$$

Finalmente, se calcula el número de agujeros que debe tener la matriz de extrusión para obtener el flujo de salida deseado:

$$\#agujeros = \frac{Q_{salida}}{\dot{V}_{extruido}} = \frac{0.0615}{1.27 * 10^{-3}} = 49.21 \approx 50 \text{ agujeros}.$$

Asimismo, se determina que la matriz de extrusión tendrá un ancho,  $b$ , de  $30 \text{ mm}$ .

Ahora, se establece que la matriz de extrusión tendrá 2 filas de agujeros, los cuales estarán distribuidos de forma circular; por lo tanto, en cada fila habrá 25 agujeros, y el ángulo de separación entre 2 agujeros de la misma fila será la siguiente:

$$\alpha = \frac{360^\circ}{\#agujeros\_fila} = \frac{360^\circ}{25} = 14.4^\circ.$$

Luego, se calcula la distancia mínima entre 2 filas de agujeros y la distancia mínima entre 2 agujeros que se encuentran en la misma fila:

Distancia entre 2 filas de agujeros:

$$d_1 = 2.2 * d_{pellets} = 2.2 * 3 = 6.6 \text{ mm}.$$

Distancia entre 2 agujeros de la misma fila circular:

$$d_2 = 1.5 * d_{pellets} = 1.5 * 3 = 4.5 \text{ mm}.$$

Después, se pasa a verificar que la distancia real entre 2 agujeros de la misma fila, utilizando el ángulo  $\alpha$  anteriormente calculado, sea mayor que la distancia mínima  $d_2$ ; a continuación, en la Figura K.1 se muestra la distribución de los agujeros en el plato extrusor:

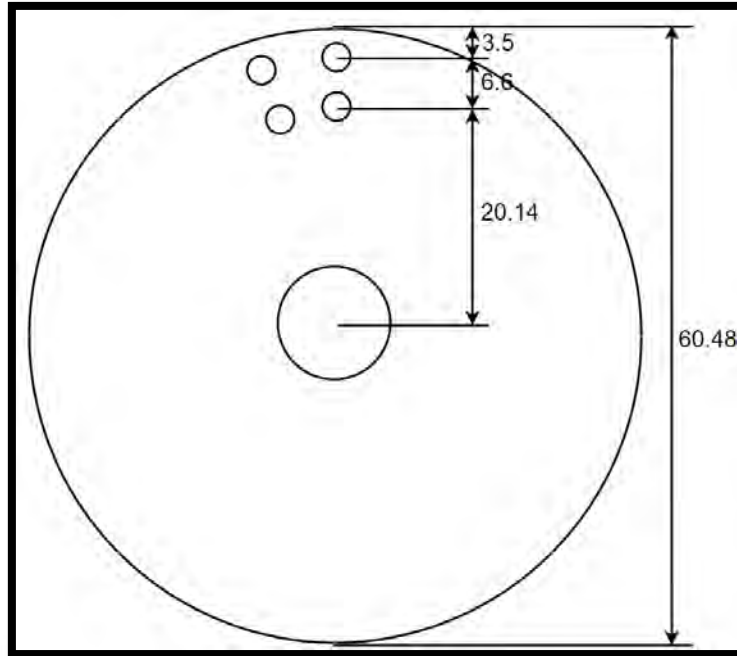


Figura K.1. Distancia de agujeros en el plato extrusor.

Entonces, utilizando geometría se obtiene lo mostrado en la Figura K.2:

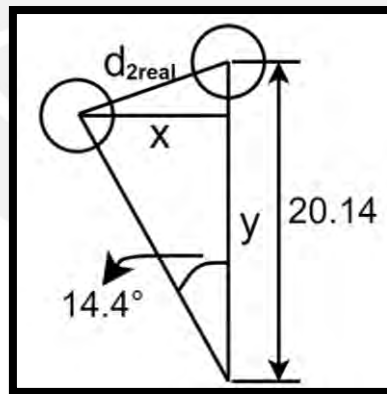


Figura K.2. Distancia real entre agujeros por geometría.

$$x = 20.14 * \sin(14.4^\circ) = 5.01 \text{ mm.}$$

$$y = 20.14 * \cos(14.4^\circ) = 19.51 \text{ mm.}$$

Finalmente, la distancia real es:

$$d_{2real} = \sqrt{x^2 + (20.14 - y)^2} = \sqrt{5.01^2 + (20.14 - 19.51)^2} = 5.05 \text{ mm.}$$

En conclusión, se puede utilizar el ángulo de separación  $\alpha$  calculada, ya que la distancia  $d_{2real}$  es mayor a la distancia mínima  $d_2$ .

A continuación, en las Figuras K.3, K.4 y K.5 se muestran los valores del esfuerzo máximo equivalente, el máximo desplazamiento y el factor de seguridad mínimo respectivamente, los cuales fueron obtenidos al realizar la simulación de análisis de esfuerzos en el Software Autodesk Inventor Professional 2019. En las imágenes se puede observar que la matriz de extrusión, con el material seleccionado, no fallará por los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

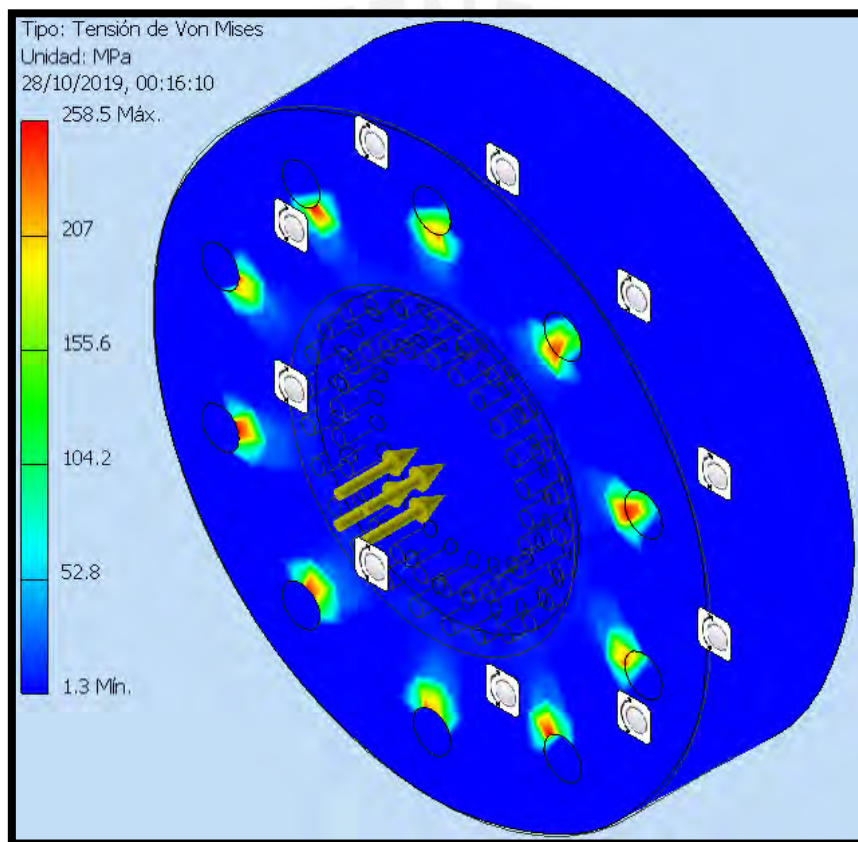


Figura K.3. Tensión de Von Mises máxima en la matriz de extrusión.

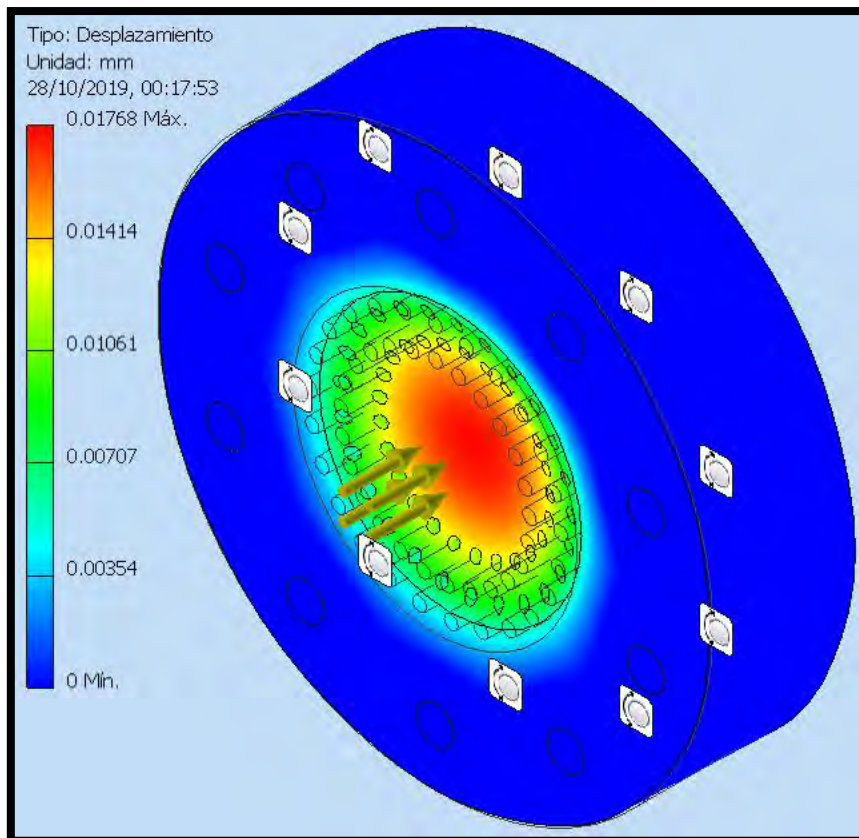


Figura K.4. Deformación máxima de la matriz de extrusión.

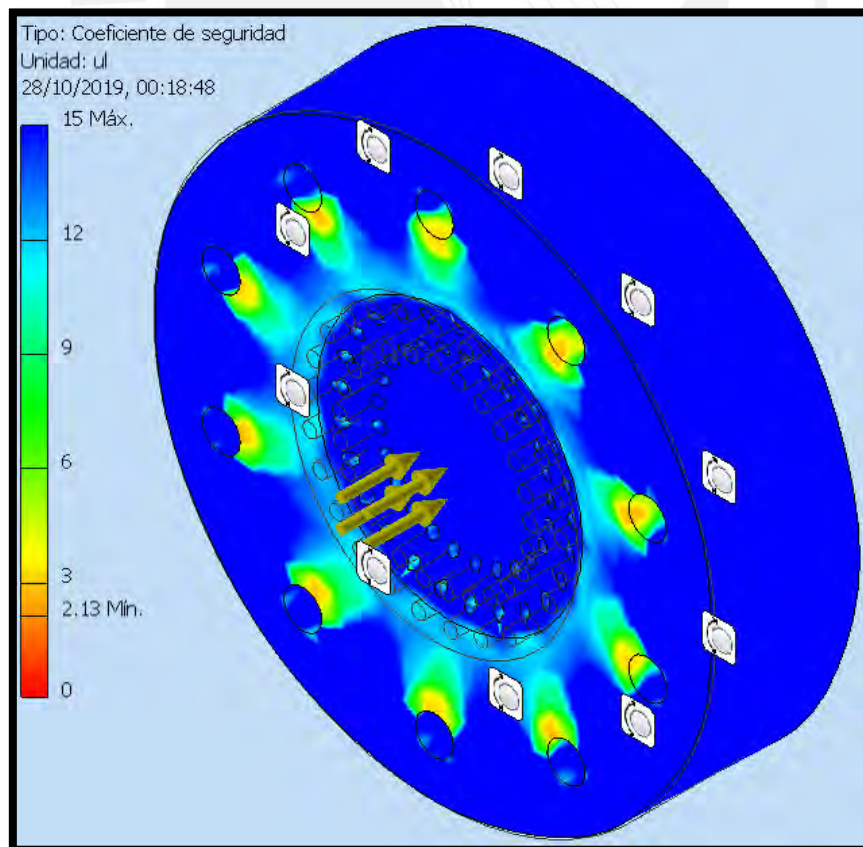


Figura K.5. Coeficiente de seguridad mínimo de la matriz de extrusión.

## ANEXO L: DISEÑO Y ANÁLISIS DEL HUSILLO EXTRUSOR

Para el diseño del husillo de extrusión se utilizará el método presente en el libro llamado "Transformación de plásticos" (Savgorodny, 1973).

En la Figura L.1 se muestra algunos de los parámetros necesarios para su construcción.

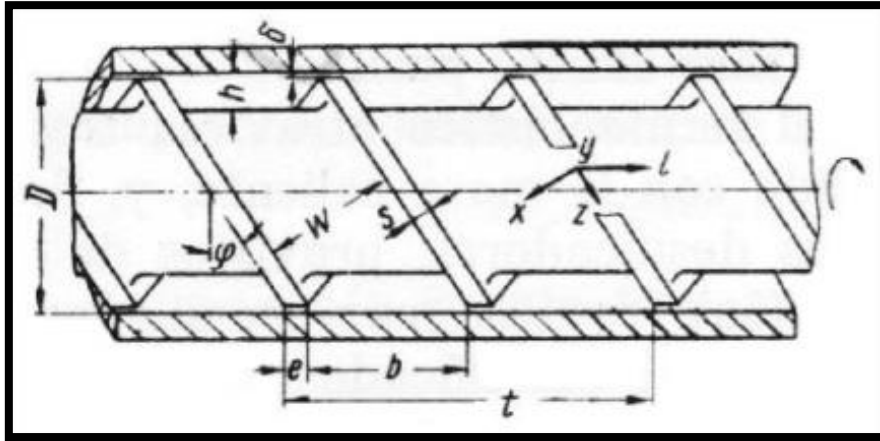


Figura L.1. Vista general de un husillo de extrusión (Savgorodny, 1973)

A continuación, se realiza el cálculo de los parámetros que tendrá el husillo de extrusión. Primero, se determina diseñar un husillo de diámetro de 60 mm para que su longitud total no sea mayor a 1200 mm. Además, por simplicidad, el paso  $t$  del tornillo será igual al diámetro de este.

$$D = t = 60 \text{ mm.}$$

Una vez que se tiene definido el diámetro y el paso del tornillo, se pasa a calcular su ángulo de hélice:

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{t}{\pi * D} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{1}{\pi} \right) = 17.66^\circ.$$

En la Figura L.2 se muestra las zonas que tiene un husillo de extrusión; además, se puede observar que el husillo se encuentra sometido a una mayor presión en la zona de dosificado.

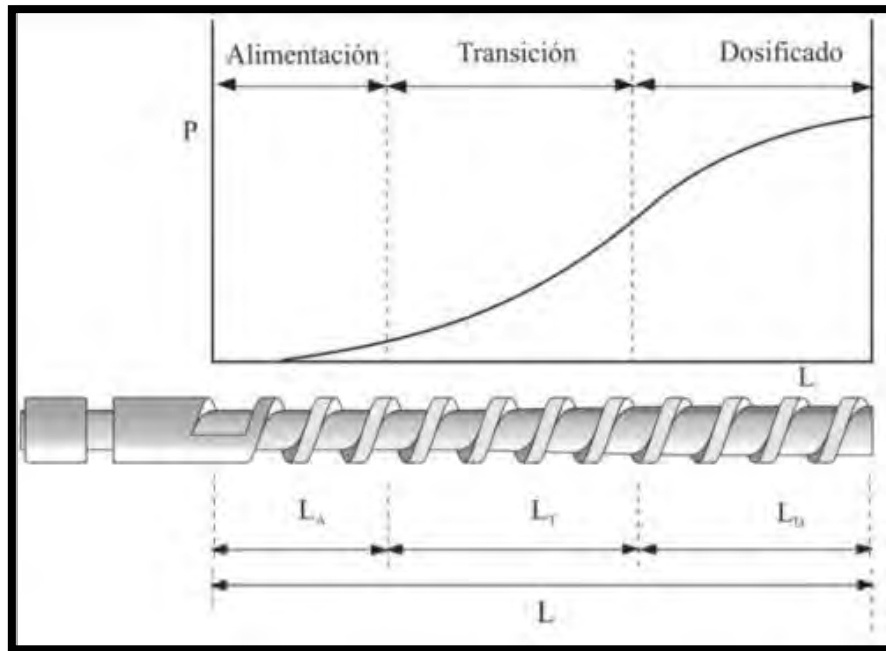


Figura L.2. Zonas del husillo y la presión a la cual se encuentra sometido (Antonio, 2012)

Ahora, se pasa a calcular la longitud de cada zona del husillo:

Para la zona de alimentación:

$$L_A = (4 \dots 6) * D = 4 * 60 = 240 \text{ mm.}$$

Para la zona de compresión o transición:

$$L_T = (10 \dots 14) * D = 10 * 60 = 600 \text{ mm.}$$

Para la zona de dosificación:

$$L_D = (6 \dots 10) * D = 6 * 60 = 360 \text{ mm.}$$

Luego, se calcula la altura del filete en las zonas de alimentación y dosificación:

Para la zona de alimentación:

$$h_A = (0.12 \dots 0.16) * D = 0.16 * 60 = 9.6 \text{ mm.}$$

Para la zona de dosificación:

Para el cálculo de la altura de esta zona se necesita una relación de compresión<sup>40</sup>, la cual varía de acuerdo al material que se va a extruir. A continuación, en la Figura L.3 se muestra la imagen de una tabla que recomienda algunas relaciones de compresión.

<sup>40</sup> La relación de compresión, en términos sencillos, hace referencia a la relación entre la profundidad del canal de la zona de alimentación y la profundidad del canal de la zona de dosificado.

Examples of Screw Types									
Purpose	Polymer	Depth (mm)			Length (diameters)				Compression ratio <sup>a</sup>
		Feed	Transition	Meter	Feed	Trans	Meter	Total	
High output compounding	LDPE	15	15-6.5 T <sup>b</sup>	6.5	6	12	6	24	2.1:1
General purpose	LDPE	15	15-5.5 T	5.5	4	10	6	20	2.4:1
	HDPE								
Film	PS								
	LDPE	15	15-3.0 S	3.0	10	1	9	20	4.3:1
High output compounding	PP powder	—	15-7.9 T	7.9	—	18	2	20	1.8:1
General purpose	PP	—	15-6.0 T	6.0	—	16	—	16	2.2:1
General purpose	PP	—	12.7-5.6 T	5.6	—	10.9	9.1	20	2.1:1
General purpose	POM	15	15-5.0 T	5.0	4	12	4	20	2.7:1
General purpose	PMMA	15	15-4.0 S	4.0	14	1	5	20	3.3:1
Compounding	Nylon 66	—	11.1-9.6 T/S	2.8	—	12+ $\frac{1}{2}$	7.5	20	3.6:1
Film	PET	15	15-3.0 S	3.0	14	1	9	24	4.3:1
Film	UPVC	15	15-7.0 T	7.0	4	12	4	20	1.9:1
Low output compounding	UPVC	15	15-9.0 T	9.0	4	7	4	15	1.5:1

Figura L.3. Relaciones de compresión para algunas resinas (Covas, 1995)

De la tabla mostrada, se elige una relación de compresión  $i$  igual a 3, el cual también se recomienda en el proyecto llamado "Study the Extrusion Process of Two Recycled Materials to Obtain a Materials with Good Properties" (Zahraa Neama, 2021). Luego, con este valor se pasa a calcular la altura del filete:

$$h_D = 0.5 * \left[ D - \sqrt{D^2 - 4 * \frac{h_A}{i} * (D - h_A)} \right],$$

$$h_D = 0.5 * \left[ 60 - \sqrt{60^2 - 4 * \frac{9.6}{3} * (60 - 9.6)} \right] = 2.82 \text{ mm.}$$

Asimismo, el ancho del filete, ancho del canal y la holgura se determinan de la siguiente forma:

Ancho del filete:

$$e = (0.06 \dots 0.1) * D = 0.1 * 60 = 6 \text{ mm.}$$

Ancho del canal:

$$w = (0.8 \dots 1.2) * D = 1.2 * 60 = 72 \text{ mm.}$$

Holgura radial entre el husillo y cilindro:

$$\delta = (0.002 \dots 0.004) * D = 0.004 * 60 = 0.24 \text{ mm.}$$

Finalmente, el cálculo del número de filetes que debe tener el husillo se obtiene de la relación entre su longitud total y diámetro:

$$\#filetes = \frac{L_{total}}{D} = \frac{240 + 600 + 360}{60} = 20 \text{ filetes.}$$

En la Tabla L se muestra los parámetros necesarios para la fabricación del husillo.

**Tabla L: Valores de los parámetros del husillo de extrusión**

D (mm)	t (mm)	e (mm)	$\varphi$ (°)	$\delta$ (mm)	$h_A$ (mm)	$h_D$ (mm)	$L_{total}$ (mm)
60	60	6	17.66	0.24	9.6	2.82	1200

Nota. Elaboración propia

Se determina utilizar el acero ASTM A – 276 (Inacero, s.f.) como material para la fabricación del husillo de extrusión, debido a sus propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión; además, este tipo de acero es de fácil adquisición en el mercado local.

Entonces, sabiendo que el peso por longitud de una barra de 63.5 mm de diámetro, del material elegido, es igual a 25.403 kg/m, el peso aproximado del husillo de 1200 mm de largo será:

$$m_{husillo} = L_{total} * 25.403 = 1.2 * 25.403 = 30.48 \text{ kg.}$$

Ahora, se pasará a realizar el análisis de las fuerzas presentes en el husillo, para determinar el punto donde estará sometido a esfuerzos críticos. A continuación, en la Figura L.4 se puede observar las fuerzas presentes en el husillo extrusor; donde  $P$  es la fuerza axial,  $Mg$  es el momento torsor y  $q$  es la distribución uniforme del peso del husillo.

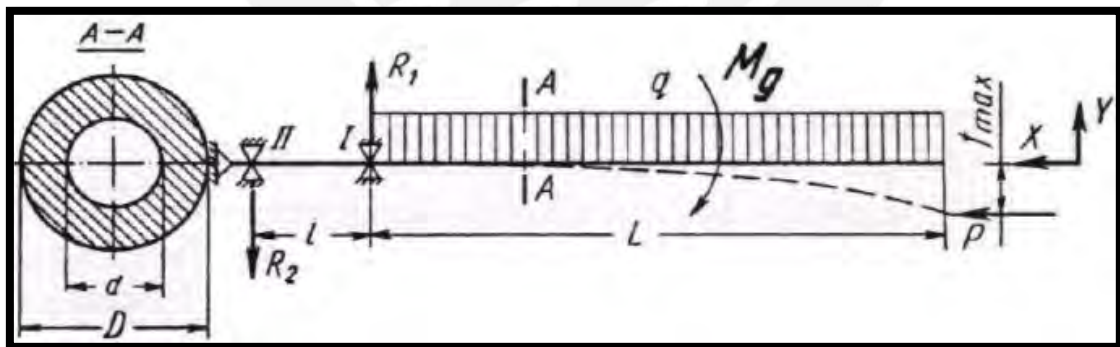


Figura L.4. Fuerzas presentes en el husillo de extrusión (Savgorodny, 1973)

Asimismo, en la Figura L.5 se puede observar el diagrama de esfuerzos de este elemento:

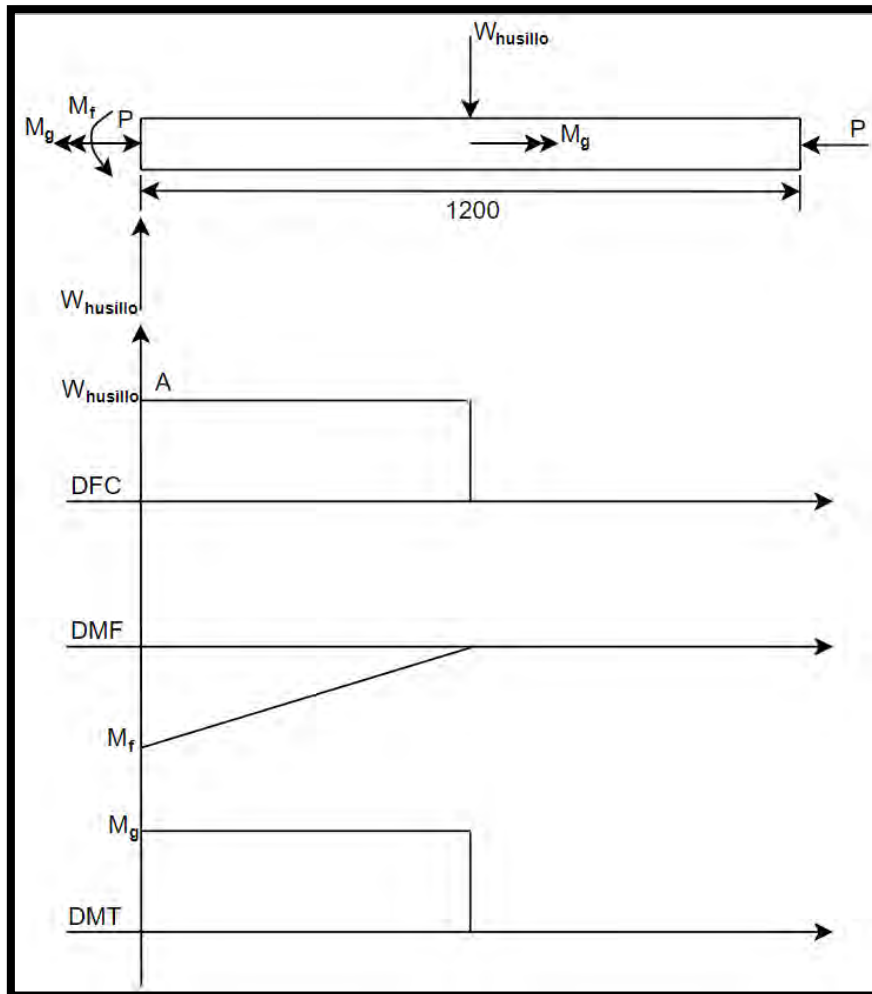


Figura L.5. Diagrama de esfuerzos del husillo de extrusión.

En el diagrama mostrado, se puede observar que el punto A está sometido a fuerzas y momentos críticos; por tal motivo, en este punto se calculará el factor de seguridad para saber si el material seleccionado soportará los esfuerzos a los que estará sometido.

La relación existente entre los diámetros del husillo se calcula de la siguiente forma:

$$u = \frac{d}{D} = \frac{60 - 2 * 2.82}{60} = 0.91.$$

Una vez obtenido la relación entre los diámetros, se calcula el área transversal del husillo:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} * (1 - u^2) = \frac{\pi * 60^2}{4} * (1 - 0.91^2) = 486.04 \text{ mm}^2.$$

Luego, para determinar la presión máxima a la cual estará sometido el husillo extrusor se necesita la viscosidad efectiva del PET; para esto, primero se determina la velocidad de cizallamiento <sup>41</sup>

<sup>41</sup> La velocidad de corte o cizallamiento se refiere a la deformación progresiva que sufre un material fundido, determinado por el proceso al cual va estar sometido.

de acuerdo al proceso que se va a realizar. En la Figura L.6 se puede observar los intervalos de velocidad de cizallamiento del PET para diferentes procesos.

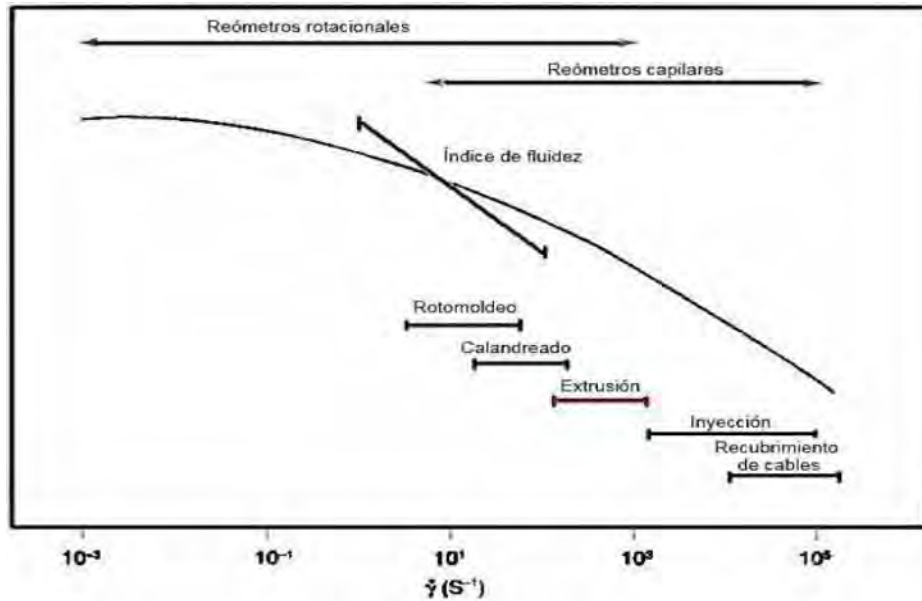


Figura L.6. Gráfico para determinar la velocidad de cizallamiento (Charles, 1995)

De la figura anterior se concluye que la velocidad de cizallamiento del proceso de extrusión estará entre  $100$  y  $1000 \text{ s}^{-1}$ . De este rango de valores se elige una velocidad de cortadura de  $100 \text{ s}^{-1}$ , con el cual se ingresa a la gráfica de la Figura L.7 para obtener la viscosidad efectiva del PET reciclado.

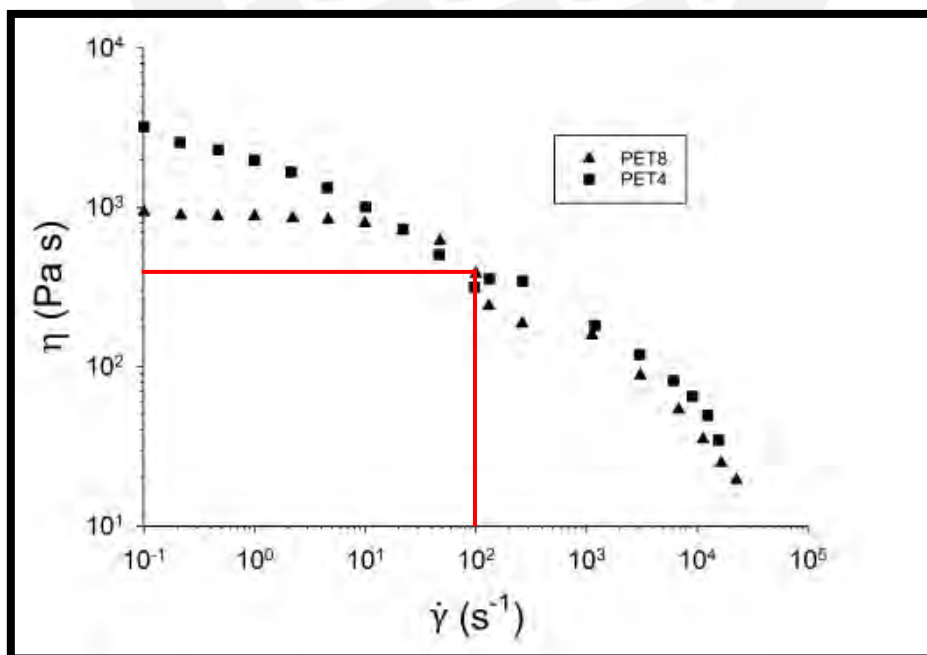


Figura L.7. Gráfico para obtener la viscosidad efectiva del PET reciclado (Ilaria Cusano, 2023)

Del gráfico mostrado se tiene que la viscosidad efectiva del PET es de  $400 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ .

Ahora, se pasa a calcular la presión máxima de la zona de dosificación: (Velocidad de giro,  $n$ , calculado en el Anexo N)

$$p_{m\acute{a}x} = \frac{6 * \pi * D * L_D * n * \mu}{h_D^2 * \tan(\varphi)} * \frac{1}{60} = \frac{6 * \pi * 60 * 360 * 24 * 400}{2.82^2 * \tan(17.66)} * \frac{1}{60} = 25.73 \text{ MPa.}$$

Una vez obtenida la presión máxima, se pasa a calcular la fuerza axial  $P$ ; dicha fuerza se calcula de la siguiente forma:

$$P = A * p_{m\acute{a}x} = 486.04 * 25.73 = 12505.81 \text{ N.}$$

Después, se calcula el momento torsor  $M_g$  utilizando la siguiente fórmula: (Potencia del motor,  $P_{motor}$ , calculada en la sección 4.3.5)

$$M_g = 9550 * \frac{P_{motor}}{n} = 9550 * \frac{3.661}{24} = 1456.77 \text{ N - m.}$$

Además, para el cálculo del momento flector máximo se necesita la densidad del material ASTM A - 276, el cual se calcula de la siguiente forma:

$$\rho_{acero} = \frac{m_{husillo}}{V_{husillo}} = \frac{30.48}{\frac{\pi * 63.5^2}{4} * 1200} = 8.02 * 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}.$$

Una vez obtenida la densidad del acero, se calcula el momento flexor máximo:

$$M_f = \frac{\rho_{acero} * L_{total}^2}{2} * \frac{\pi * D^2}{4} * (1 - u^2) * 9.81,$$

$$M_f = \frac{8.02 * 10^{-6} * 1200^2}{2} * \frac{\pi * 60^2}{4} * (1 - 0.91^2) * 9.81 = 27532.4 \text{ N - mm.}$$

Ahora, se realiza el cálculo del momento resistente respecto al eje neutro:

$$W_0 = \frac{\pi * D^3}{32} * (1 - u^4) = \frac{\pi * 60^3}{32} * (1 - 0.91^4) = 6663.92 \text{ mm}^3.$$

Luego, teniendo en cuenta que el tornillo tendrá un acabado superficial fino y una confiabilidad de 50%, y que su esfuerzo máximo es 515 MPa (Material Mundial, s.f.), se pasa a determinar los coeficientes que afectan la resistencia a la fatiga:

Coefficiente de superficie:  $c_s = 0.93$  (Esfuerzo máximo,  $\sigma_B$ , igual a 515 MPa, y acabado superficial,  $R_t$ , igual a 10  $\mu\text{m}$ )

Coefficiente de tamaño:  $c_t = 0.72$  (Flexión o torsión) y  $c_t = 1$  (compresión) (Diámetro del eje del husillo igual a 40.8 mm)

Coefficiente de temperatura:  $c_{temp} = 1$  (Temperatura de trabajo igual a 180 °C)

Coefficiente de carga:  $c_{carg} = 1$  (Flexión o torsión) y  $c_{carg} = 0.85$  (axial)

Coefficiente de confiabilidad:  $c_c = 1$  (Confiabilidad igual a 50%)

Factor de concentración de esfuerzos:  $\beta = 1$  (Sin cambio de sección)

Por tanto, con los valores hallados anteriormente se pasa a calcular el esfuerzo normal, flector y torsor; dichos esfuerzos se calculan de la siguiente manera:

Esfuerzo normal: (Estático)

$$\sigma_n = \frac{P}{A} = \frac{12505.81}{486.04} = 25.73 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_n = \sigma_{ns} = \sigma_{ni} = \sigma_{nm} = 25.73 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{na} = \sigma'_{na} = 0 \text{ MPa.}$$

Esfuerzo flector: (Alternante puro)

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_0} = \frac{27532.4}{6663.92} = 4.13 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{fs} = 4.13 \text{ MPa} \quad \wedge \quad \sigma_{fi} = -4.13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{fm} = \frac{\sigma_{fs} + \sigma_{fi}}{2} = \frac{4.13 + (-4.13)}{2} = 0 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{fa} = \frac{\sigma_{fs} - \sigma_{fi}}{2} = \frac{4.13 - (-4.13)}{2} = 4.13 \text{ MPa.}$$

$$\sigma'_{fa} = \frac{\beta}{c_s * c_t * c_{temp} * c_{carg} * c_c} * \sigma_{fa} = \frac{1}{0.93 * 0.72 * 1 * 1 * 1} * 4.13 = 6.17 \text{ MPa}$$

Esfuerzo torsor: (Estático)

$$\tau_t = \frac{16 * M_g}{\pi * D^3 * (1 - u^4)} = \frac{16 * 1456.77 * 10^3}{\pi * 60^3 * (1 - 0.91^4)} = 109.31 \text{ MPa.}$$

$$\tau_t = \tau_{ts} = \tau_{ti} = \tau_{tm} = 109.31 \text{ MPa.}$$

$$\tau_{ta} = \tau'_{ta} = 0 \text{ MPa.}$$

Finalmente, se calcula el esfuerzo equivalente según Tresca:

$$\sigma_{meq} = \sqrt{(\sigma_{nm}^2 + \sigma_{fm}^2) + 4 * \tau_{tm}^2} = \sqrt{(25.73^2 + 0^2) + 4 * 109.31^2} = 220.13 \text{ MPa.}$$

$$\sigma'_{aeq} = \sqrt{(\sigma'_{na}^2 + \sigma'_{fa}^2) + 4 * \tau'_{ta}^2} = \sqrt{(0^2 + 6.17^2) + 4 * 0^2} = 6.17 \text{ MPa.}$$

Entonces, sabiendo que el esfuerzo de fluencia,  $\sigma_{Alt}$ , del acero ASTM A – 276, es igual a 205 MPa (Material Mundial, s.f.), el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{1}{\frac{\sigma'_{aeq}}{\sigma_{Alt}} + \frac{\sigma_{meq}}{\sigma_B}} = \frac{1}{\frac{6.17}{205} + \frac{220.13}{515}} = 2.19.$$

Asimismo, se pasa a calcular la flecha máxima del husillo: (Módulo de elasticidad,  $E$ , definido en el Anexo I)

$$y_{m\acute{a}x} = \frac{5 * W_{husillo} * L_{total}^3}{48 * E * I_{husillo}} = \frac{5 * \rho_{acero} * \frac{\pi * D^2}{4} * (1 - u^2) * L_{total} * 9.81 * L_{total}^3}{48 * E * \frac{\pi * D^4}{64} * (1 - u^4)},$$

$$y_{m\acute{a}x} = \frac{5 * 8.02 * 10^{-6} * \frac{\pi * 60^2}{4} * (1 - 0.91^2) * 1200 * 9.81 * 1200^3}{48 * 200000 * \frac{\pi * 60^4}{64} * (1 - 0.91^4)} = 0.21 \text{ mm.}$$

Igualmente, se realiza el análisis de pandeo, para lo cual primero se calcula el radio de inercia de la sección A – A mostrada, anteriormente, en la Figura 39:

$$R_i = \frac{D}{4} * \sqrt{1 + u^2} = \frac{60}{4} * \sqrt{1 + 0.91^2} = 20.28 \text{ mm.}$$

Luego, se realiza el cálculo de la esbeltez utilizando la siguiente fórmula:

$$\lambda = \frac{\alpha_p * L_{total}}{R_i}.$$

Donde:

$\alpha_p$  = Coeficiente de pandeo (2 por ser de tipo empotrado – libre)

Entonces, reemplazando los valores se obtiene:

$$\lambda = \frac{2 * 1200}{20.28} = 118.34.$$

Después, utilizando el método europeo (Tetmajer modificado), se realiza el cálculo del esfuerzo equivalente de pandeo, teniendo en cuenta un factor de seguridad,  $FS$ , igual a 2:

$$\sigma_p = \frac{\pi^2 * E}{FS * \lambda^2} = \frac{\pi^2 * 200000}{2 * 118.34^2} = 70.48 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, como el esfuerzo  $\sigma_p$  es mayor que el esfuerzo  $\sigma_n$ , el husillo extrusor no fallará por pandeo.

En conclusión, el material elegido para el husillo no fallará por los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

A continuación, en las Figuras L.8, L.9 y L.10 se muestran los valores del esfuerzo máximo equivalente, el máximo desplazamiento y el factor de seguridad mínimo, respectivamente, los cuales fueron obtenidos al realizar la simulación de análisis de esfuerzos en el Software Autodesk Inventor Professional 2019. En las imágenes se puede observar que el husillo extrusor, con el material seleccionado, no fallará por los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

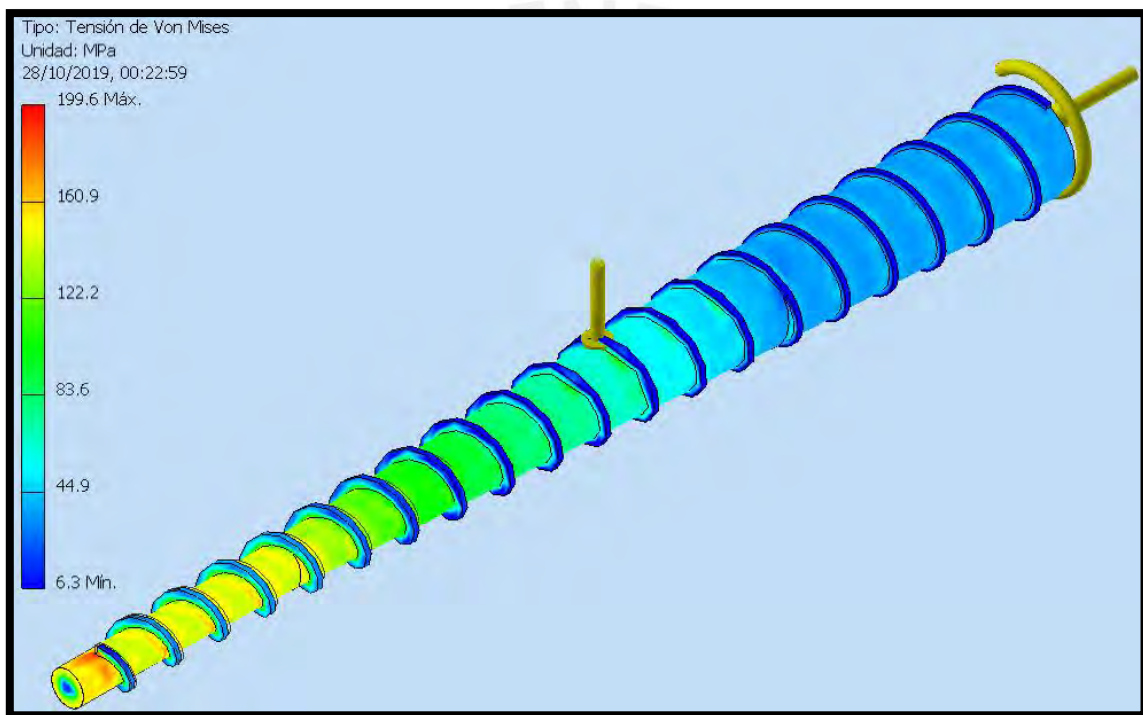


Figura L.8. Tensión de Von Mises máxima en el husillo extrusor.

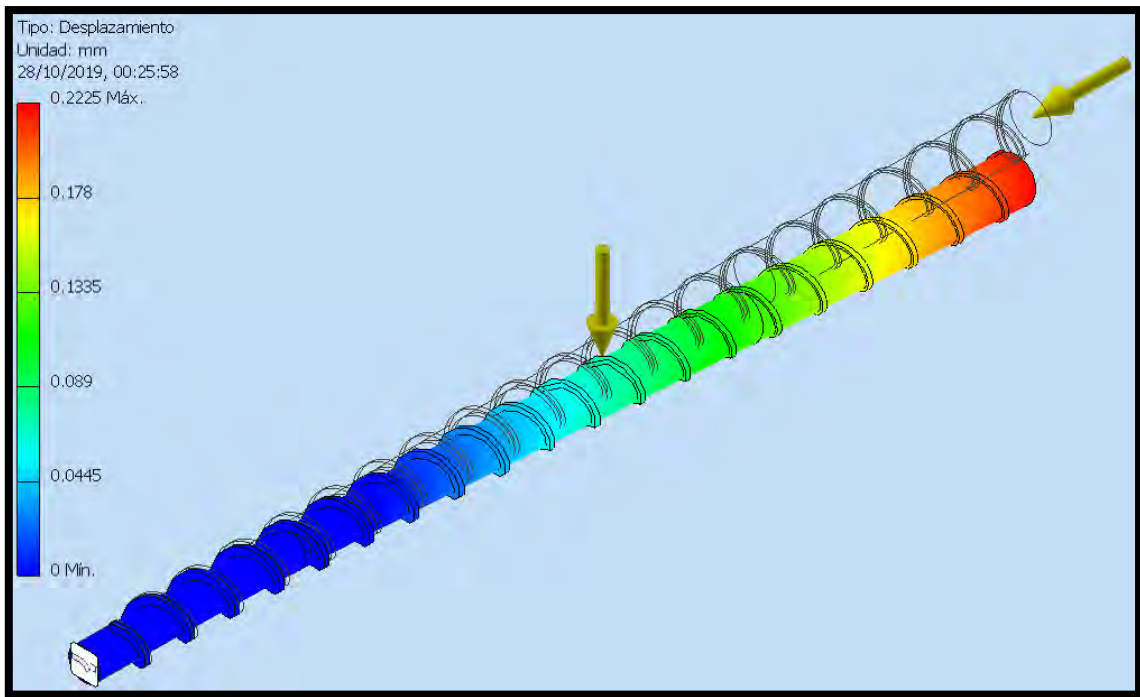


Figura L.9. Deformación máxima del husillo extrusor.

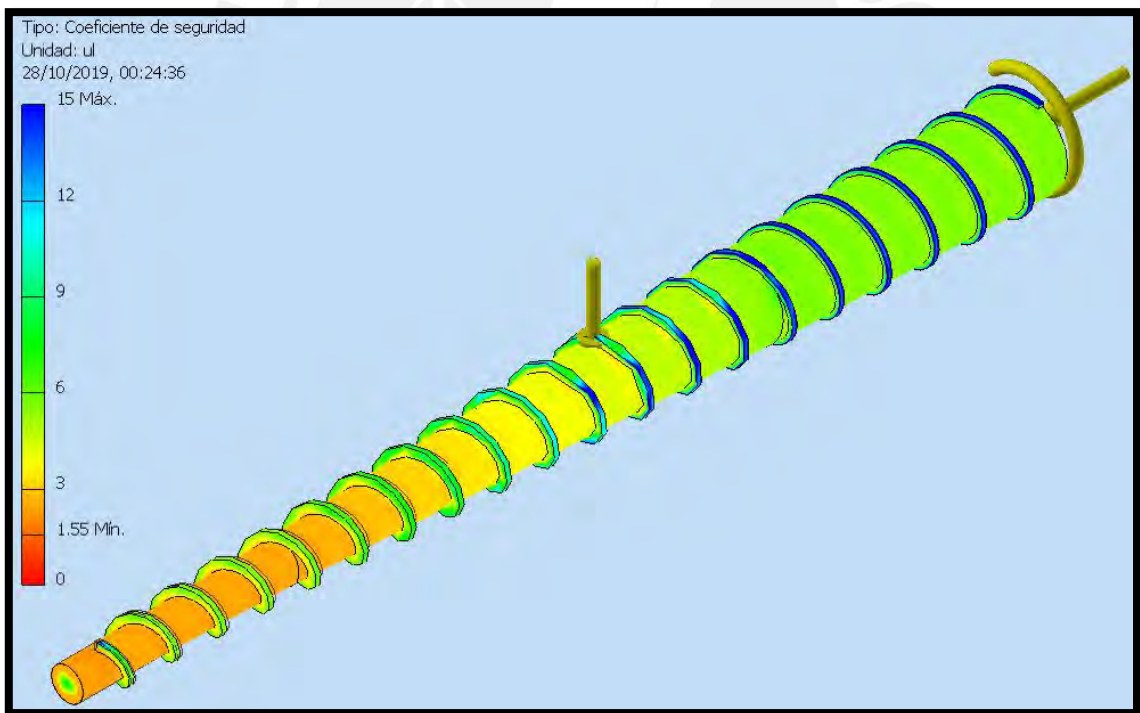


Figura L.10. Coeficiente de seguridad mínimo del husillo extrusor.

## ANEXO M: DISEÑO Y ANÁLISIS DE LA CÁMARA DE FUNDICIÓN

Para comenzar con el diseño y determinar si la cámara de fundición soporta los esfuerzos a los que se encuentra sometido, primero se calcula el espesor mínimo recomendado por Savgorodny, sabiendo que estará hecho de acero ASTM A – 312 (HGA, 2021): (Presión máxima,  $p_{m\acute{a}x}$ , diámetro del husillo,  $D$ , holgura radial,  $\delta$ , y esfuerzo máximo,  $\sigma_B$ , determinados en el Anexo L)

$$\frac{\sigma_B}{FS} = \frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{p_{m\acute{a}x} * \left(\frac{D + 2 * \delta}{2}\right)}{e_{m\acute{i}nimo}}$$

$$\frac{515}{2.5} = \frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{25.73 * \left(\frac{60 + 2 * 0.24}{2}\right)}{e_{m\acute{i}nimo}}$$

$$e_{m\acute{i}nimo} = 3.27 \approx 4 \text{ mm.}$$

A continuación, en la Figura M.1 se muestra las dimensiones de la cámara de fundición.

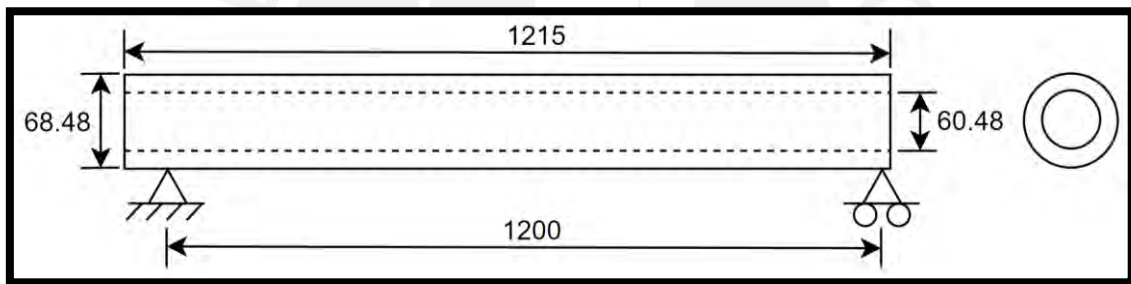


Figura M.1. Apoyos y dimensiones de la cámara de fundición.

Luego, se calcula el peso total del PET fundido y de la cámara de fundición:

Peso total del PET fundido: (Altura en la zona de alimentación,  $h_A$ , calculado en el Anexo L, y densidad del PET,  $\rho_{PET}$ , definido en el Anexo K)

$$W_{PET} = \left[ \frac{\pi * d_{c\acute{a}mara}^2}{4} - \frac{\pi * (D - 2 * h_A)^2}{4} \right] * L_{c\acute{a}mara} * \rho_{PET} * g,$$

$$W_{PET} = \left[ \frac{\pi * 60.48^2}{4} - \frac{\pi * (60 - 2 * 9.6)^2}{4} \right] * 1200 * 1300 * 10^{-9} * 9.81,$$

$$W_{PET} = 23.59 \text{ N.}$$

Peso de la cámara de fundición: (Densidad del acero,  $\rho_{acero}$ , calculada en el Anexo L)

$$W_{c\acute{a}mara} = \left[ \frac{\pi * D_{c\acute{a}mara}^2}{4} - \frac{\pi * d_{c\acute{a}mara}^2}{4} \right] * L_{c\acute{a}mara} * \rho_{acero} * g,$$

$$W_{cámara} = \left[ \frac{\pi * (60.48 + 2 * 4)^2}{4} - \frac{\pi * 60.48^2}{4} \right] * 1200 * 8.02 * 10^{-6} * 9.81$$

$$W_{cámara} = 76.5 \text{ N.}$$

Ahora, se realiza el diagrama de esfuerzos de la cámara de fundición, para conocer el punto donde está sometido a esfuerzos críticos; a continuación, en la Figura M.2 se muestra dicho diagrama.

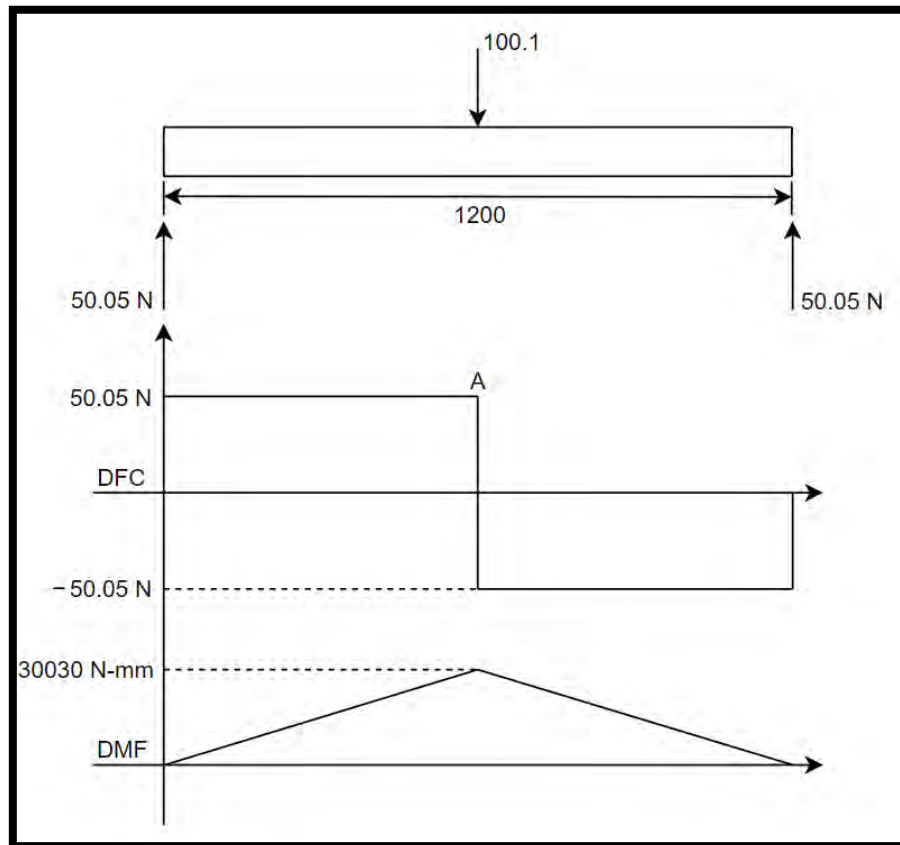


Figura M.2. Diagrama de esfuerzos de la cámara de fundición.

Después, se calcula el esfuerzo cortante y el esfuerzo de flexión de la cámara en el punto A, ya que, según el diagrama mostrado, ese punto es el que está sometido a esfuerzos críticos:

Esfuerzo cortante:

$$\tau_c = \frac{50.05}{A_{cámara}} = \frac{50.05}{\left[ \frac{\pi * (60.48 + 2 * 4)^2}{4} - \frac{\pi * 60.48^2}{4} \right]} = 0.062 \text{ MPa.}$$

Esfuerzo de flexión:

$$\sigma_f = \frac{32 * 30030 * D_{cámara}}{\pi * [D_{cámara}^4 - d_{cámara}^4]} = \frac{32 * 30030 * (60.48 + 2 * 4)}{\pi * [(60.48 + 2 * 4)^4 - 60.48^4]} = 2.43 \text{ MPa.}$$

Entonces, con los esfuerzos calculados, se realiza el cálculo del esfuerzo equivalente según

Tresca:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_f^2 + 4 * \tau_c^2} = \sqrt{2.43^2 + 4 * 0.062^2} = 2.43 \text{ MPa.}$$

Finalmente, al calcular el factor de seguridad de la cámara de 4 mm de espesor, se obtiene un factor de seguridad muy grande; asimismo, se realiza el cálculo de la flecha máxima de este elemento: (Módulo de elasticidad,  $E$ , definido en el Anexo H)

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{W_{total} * L_{c\acute{a}mara}^3}{48 * E * I_{c\acute{a}mara}} = \frac{(23.59 + 76.5) * 1200^3}{48 * 193000 * \frac{\pi}{4} * (34.24^4 - 30.24^4)} = 0.044 \text{ mm.}$$

En conclusión, la cámara de fundición, con el espesor y el material elegido, soporta los esfuerzos a los que se encuentra sometido.



## ANEXO N: POTENCIA DEL MOTOR DEL SISTEMA DE EXTRUSIÓN

A continuación, y según el libro de Transformación de plásticos (Savgorodny, 1973), se realiza el cálculo de los tres coeficientes del sistema considerando el número de entradas  $m$  igual a 1:

Para el coeficiente de arrastre: (Diámetro del husillo extrusor,  $D$ , altura de la zona de alimentación,  $h_A$ , paso del husillo,  $t$ , ancho del filete,  $e$ , y ángulo de hélice,  $\varphi$ , calculados en el Anexo L)

$$\alpha = \frac{\pi * m * D * h_A * \left(\frac{t}{m} - e\right) * \cos^2(\varphi)}{2},$$

$$\alpha = \frac{\pi * 1 * 60 * 9.6 * \left(\frac{60}{1} - 6\right) * \cos^2(17.66)}{2} = 44361.54 \text{ mm}^3.$$

Para el coeficiente de presión: (Altura de la zona de dosificación,  $h_D$ , y longitud total del husillo,  $L_{total}$ , definidos en el Anexo L)

$$\beta = \frac{m * h_D^3 * \left(\frac{t}{m} - e\right) * \sin(\varphi) * \cos(\varphi)}{12 * L_{total}},$$

$$\beta = \frac{1 * 2.82^3 * \left(\frac{60}{1} - 6\right) * \sin(17.66) * \cos(17.66)}{12 * 1200} = 24.31 * 10^{-3} \text{ mm}^3.$$

Para el coeficiente de fugas: (Holgura radial,  $\delta$ , calculada en el Anexo L)

$$\gamma = \frac{\pi^2 * D^2 * \delta^3 * \tan(\varphi)}{10 * e * L_{total}} = \frac{\pi^2 * 60^2 * 0.24^3 * \tan(17.66)}{10 * 4 * 1200} = 3.26 * 10^{-3} \text{ mm}^3.$$

Luego, se determina la constante total del cabezal de extrusión  $K$ ; para hallar dicha constante se debe hallar la constante  $K_i$  de diferentes zonas sucesivas que tienen diferente configuración dentro del cilindro de extrusión; sin embargo, para el sistema de extrusión diseñado solo se tiene la matriz de extrusión de pellets. Por lo tanto, el valor de la constante del cabezal de extrusión será igual a: (Número de agujeros,  $\#agujeros$ , diámetro de pellets fabricados,  $d_{pellets}$ , y ancho de la matriz de extrusión,  $b$ , definidos en el Anexo K)

$$K = \frac{\pi * \#agujeros * d_{pellets}^4}{128 * b} = \frac{\pi * 50 * 3^4}{128 * 30} = 3.31 \text{ mm}^3.$$

Finalmente, el flujo volumétrico total de extrusión se calcula de la siguiente forma: (Flujo de salida,  $Q_{salida}$ , calculado en el Anexo K)

$$Q_{salida} = \left( \frac{\alpha * K}{K + \beta + \gamma} \right) * n.$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$0.0615 * 10^9 = \left( \frac{44361.54 * 3.31}{3.31 + 24.31 * 10^{-3} + 3.26 * 10^{-3}} \right) * n,$$

$$n = 1420.61 \frac{rev}{h} * \frac{1 h}{60 min} = 23.68 rpm \approx 24 rpm.$$

Asimismo, la potencia que se requiere para el sistema de extrusión es:

$$n = \frac{\kappa^2 * P_{motor}}{\pi * D^3}.$$

Donde:

$\kappa$  = factor de proporcionalidad (por lo general 66.7)

Reemplazando los valores de los parámetros se obtiene:

$$24 = \frac{66.7^2 * P_{motor}}{\pi * 60^3},$$

$$P_{motor} = 3660.69 W \approx 3.7 kW.$$

## ANEXO O: POTENCIA DE LAS RESISTENCIAS CALENTADORAS

Para determinar la potencia que debe tener la resistencia del sistema de extrusión, primero se realiza el cálculo del volumen total de PET extruido por segundo: (Volumen extruido por segundo,  $\dot{V}_{extruido}$ , y número de agujeros,  $\#agujeros$ , calculados en el Anexo K)

$$\dot{V}_{extruidoT} = \dot{V}_{extruido} * \#agujeros = 353.5 * 50 = 17675 \text{ mm}^3/\text{s}.$$

Luego, se calcula la masa extruida de PET por segundo: (Densidad del PET fundido,  $\rho_{PET}$ , definido en el Anexo K)

$$\dot{m}_{PET} = \rho_{PET} * \dot{V}_{extruidoT} = 1300 * 17675 * \frac{1}{1000^3} = 0.023 \text{ kg/s} = 23 \text{ g/s}.$$

Seguido a esto, sabiendo que el calor específico del PET es 1.69 J/g.°C (MatWeb, s.f.), se pasa a calcular la potencia necesaria para alcanzar la temperatura de 250 °C desde la temperatura ambiente de 20 °C:

$$P_{total} = Ce * \dot{m}_{PET} * \Delta T = 1.69 * 23 * (290 - 20) = 10494.9 \text{ W} \approx 12 \text{ kW}.$$

Finalmente, como se determina utilizar 6 resistencias a lo largo de las zonas de transición y dosificado, la potencia que debe tener cada resistencia sería:

$$P_{resistencia} = \frac{P_{total}}{6} = 2 \text{ kW}.$$

## ANEXO P: ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL EJE DE LA PORTACUCHILLAS

Primero, para simplificación de cálculo, se asume que el eje tendrá un diámetro de 20 mm; luego, para saber si el diámetro elegido soportará todos los esfuerzos a los que se encuentra sometido, primero se realiza el diagrama de fuerzas y momentos para determinar el punto crítico. A continuación, en la Figura P.1 se puede observar las dimensiones del eje de la porta cuchillas y la distancia al agujero más alejado:

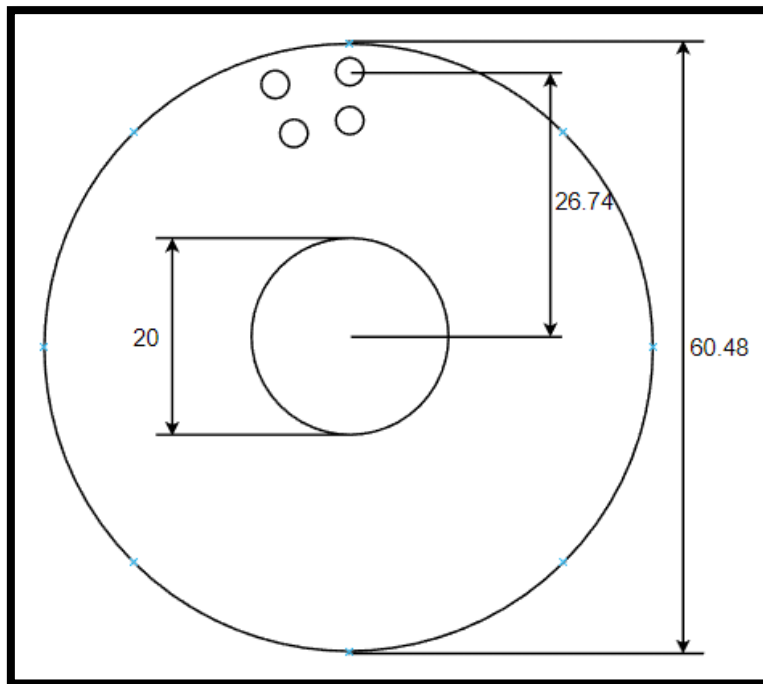


Figura P.1. Distancia del eje al agujero más alejado.

Asimismo, en la Figura P.2 se puede observar la disposición de los soportes del eje de la porta cuchillas.

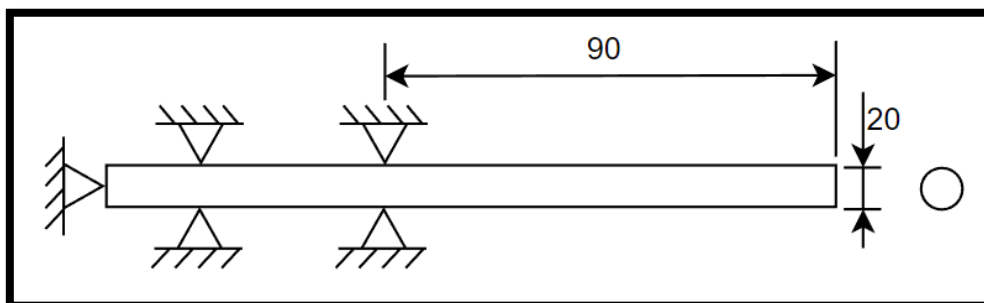


Figura P.2. Apoyos y dimensiones del eje de la porta cuchillas.

Además, en la Figura P.3 se muestra el diagrama de esfuerzos del eje de la porta cuchillas, para ubicar el punto crítico:

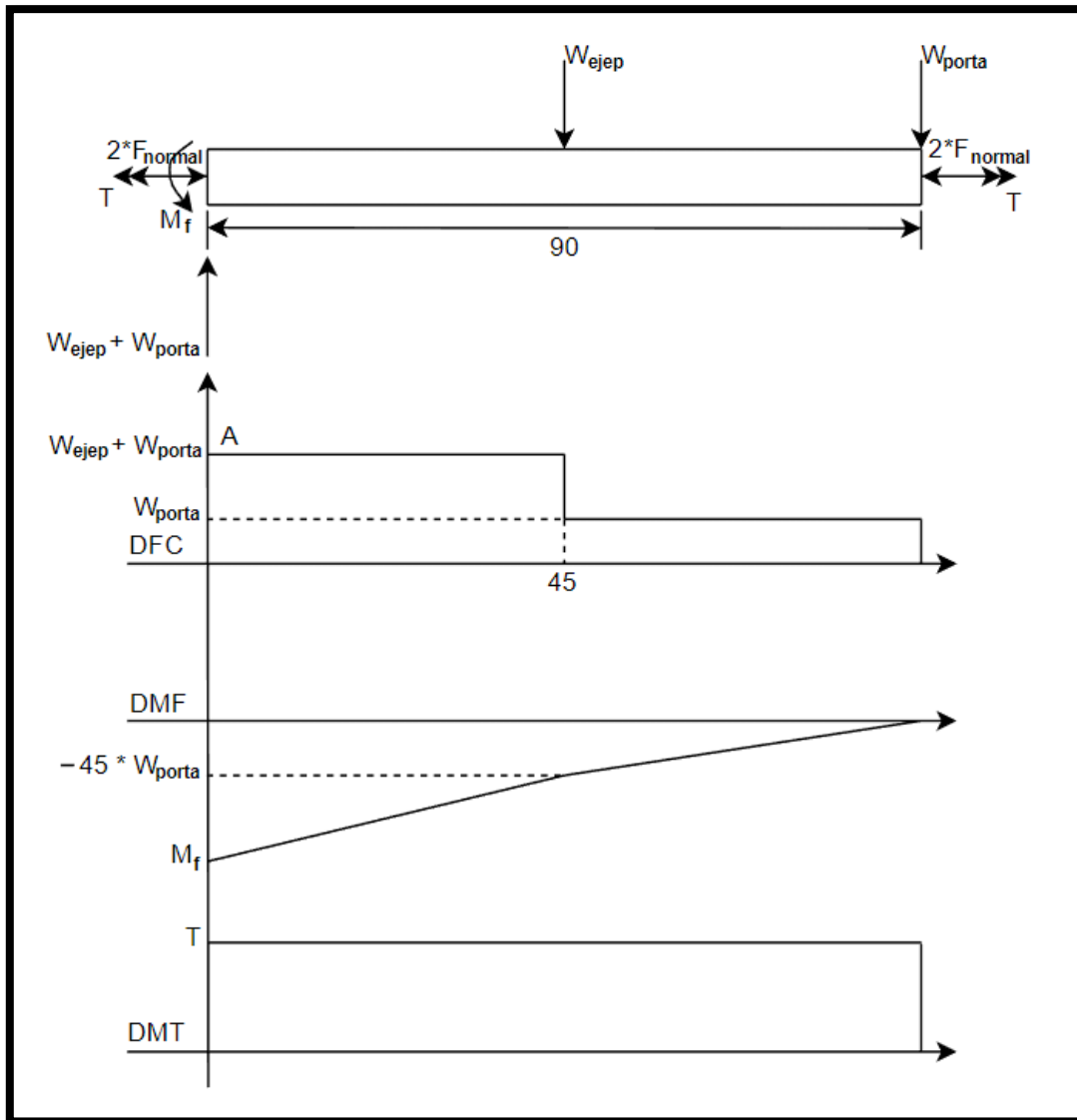


Figura P.3. Diagrama de esfuerzos del eje de la porta cuchillas.

Entonces, de la figura mostrada se deduce que el punto A está sometido a esfuerzos críticos. Luego, se pasa a calcular el peso del eje y de la porta cuchillas, sabiendo que ambos están hechos de acero ASTM A – 276 (Jnacero, s.f.):

Peso del eje: (Densidad del acero,  $\rho_{acero}$ , calculada en el Anexo L)

$$W_{ejep} = \frac{\pi * \Phi_{ejep}^2}{4} * L_{ejep} * \rho_{acero} * g = \frac{\pi * 20^2}{4} * 90 * 8.02 * 10^{-6} * 9.81 = 2.22 \text{ N.}$$

Por lo tanto, el momento flector máximo es:

$$M_f = 45 * W_{ejep} = 45 * 2.22 = 99.9 \text{ N} - \text{mm.}$$

Ahora, sabiendo que el esfuerzo de cizalladura del PET reciclado es 22.75 MPa (Maldonado, 2011), se pasa a calcular la fuerza de corte necesaria para cortar 2 pellets a la vez: (Área del pellet,  $A_{pellet}$ , calculado en el Anexo K)

$$F_{corte} = \tau_{PET} * 2 * A_{pellet} = 22.75 * 2 * 7.07 = 321.69 \text{ N.}$$

Asimismo, se calcula la fuerza de fricción que se genera por la presión de los filamentos a la cuchilla de corte, sabiendo que la presión máxima que ejerce el filamento es 25.73 MPa: (Presión máxima,  $p_{m\acute{a}x}$ , calculada en el Anexo L)

$$F_{normal} = p_{m\acute{a}x} * 4 * A_{pellet} = 25.73 * 4 * 7.07 = 727.64 \text{ N.}$$

Por lo tanto, la fuerza de fricción que se aplica a las cuchillas es: (Coeficiente de fricción entre el acero y el PET,  $\mu_{PET}$ , igual a 0.22)

$$F_{fricci\acute{o}n} = F_{normal} * \mu_{PET} = 727.64 * 0.22 = 160.08 \text{ N.}$$

Después, teniendo en cuenta que se tendrá dos cuchillas y una distancia al pellet más lejano de 26.74 mm, se calcula el torque que genera la fuerza de corte y fricción:

$$T = 2 * (F_{corte} + F_{fricci\acute{o}n}) * dist_{pellet},$$

$$T = 2 * (321.69 + 160.08) * 26.74 = 25.77 * 10^3 \text{ N} - \text{mm.}$$

Luego, teniendo en cuenta que el tornillo tendrá un acabado superficial fino y una confiabilidad de 50%, se pasa a determinar los coeficientes que afectan la resistencia a la fatiga:

Coeficiente de superficie:  $c_s = 0.93$  (Esfuerzo máximo,  $\sigma_B$ , igual a 515 MPa, y acabado superficial,  $R_t$ , igual a 10  $\mu\text{m}$ )

Coeficiente de tamaño:  $c_t = 0.84$  (Flexión o torsión) y  $c_t = 1$  (compresión) (Diámetro del eje portacuchillas igual a 20 mm)

Coeficiente de temperatura:  $c_{temp} = 1$  (Temperatura de trabajo igual a 180 °C)

Coeficiente de carga:  $c_{carg} = 1$  (Flexión o torsión) y  $c_{carg} = 0.85$  (axial)

Coeficiente de confiabilidad:  $c_c = 1$  (Confiabilidad igual a 50%)

Factor de concentración de esfuerzos:  $\beta = 1$  (Sin cambio de sección)

Por tanto, con los valores hallados anteriormente se pasa a calcular el esfuerzo normal, flector y torsor; dichos esfuerzos se calculan de la siguiente forma:

Esfuerzo normal: (Estático)

$$\sigma_n = \frac{2 * F_{normal}}{\frac{\pi * \Phi_{eje}^2}{4}} = \frac{2 * 727.64}{\frac{\pi * 20^2}{4}} = 4.63 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_n = \sigma_{ns} = \sigma_{ni} = \sigma_{nm} = 4.63 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{na} = \sigma'_{na} = 0 \text{ MPa.}$$

Esfuerzo flector: (Alternante puro)

$$\sigma_f = \frac{32 * M_f}{\pi * \Phi_{eje}^3} = \frac{32 * 99.9}{\pi * 20^3} = 0.13 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{fs} = 0.51 \text{ MPa y } \sigma_{fi} = -0.13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{fm} = \frac{\sigma_{fs} + \sigma_{fi}}{2} = \frac{0.13 + (-0.13)}{2} = 0 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{fa} = \frac{\sigma_{fs} - \sigma_{fi}}{2} = \frac{0.13 - (-0.13)}{2} = 0.13 \text{ MPa.}$$

$$\sigma'_{fa} = \frac{\beta}{c_s * c_t * c_{temp} * c_{carg} * c_c} * \sigma_{fa} = \frac{1}{0.93 * 0.84 * 1 * 1 * 1} * 0.13 = 0.17 \text{ MPa}$$

Esfuerzo torsor: (Estático)

$$\tau_t = \frac{16 * T}{\pi * \Phi_{eje}^3} = \frac{16 * 25.77 * 10^3}{\pi * 20^3} = 16.41 \text{ MPa.}$$

$$\tau_t = \tau_{ts} = \tau_{ti} = \tau_{tm} = 16.41 \text{ MPa.}$$

$$\tau_{ta} = \tau'_{ta} = 0 \text{ MPa.}$$

Finalmente, se calcula el esfuerzo equivalente según Tresca:

$$\sigma_{meq} = \sqrt{(\sigma_{nm}^2 + \sigma_{fm}^2) + 4 * \tau_{tm}^2} = \sqrt{(4.63^2 + 0^2) + 4 * 16.41^2} = 33.14 \text{ MPa.}$$

$$\sigma'_{aeq} = \sqrt{(\sigma'_{na}^2 + \sigma'_{fa}^2) + 4 * \tau'_{ta}^2} = \sqrt{(0^2 + 0.17^2) + 4 * 0^2} = 0.17 \text{ MPa.}$$

Entonces, el factor de seguridad es: (Esfuerzo de fluencia,  $\sigma_{Alt}$ , definido en el Anexo L)

$$FS = \frac{1}{\frac{\sigma'_{aeq}}{\sigma_{Alt}} + \frac{\sigma_{meq}}{\sigma_B}} = \frac{1}{\frac{0.17}{205} + \frac{33.14}{515}} = 15.34.$$

Además, la flecha máxima del eje es: (Módulo de elasticidad,  $E$ , definido en el Anexo I)

$$y_{m\acute{a}x} = \frac{5 * W_{eje p} * L_{eje p}^3}{48 * E * \frac{\pi * r_{eje p}^4}{4}}$$

$$y_{m\acute{a}x} = \frac{5 * 2.22 * 90^3}{48 * 200000 * \frac{\pi * 10^4}{4}} = 1.073 * 10^{-4} \text{ mm.}$$

Igualmente, se realiza el análisis de pandeo, para lo cual primero se calcula el radio de inercia de la sección circular del eje de la porta cuchillas:

$$R_i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi * r_{eje p}^4}{4}}{\frac{\pi * \phi_{eje p}^2}{4}}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi * 10^4}{4}}{\frac{\pi * 20^2}{4}}} = 5 \text{ mm.}$$

Luego, se realiza el cálculo de la esbeltez utilizando la siguiente fórmula:

$$\lambda = \frac{\alpha_p * L_{eje p}}{R_i}$$

Donde:

$\alpha_p$  = Coeficiente de pandeo (2 por ser de tipo empotrado – libre)

Entonces, reemplazando los valores se obtiene:

$$\lambda = \frac{2 * 90}{5} = 36.$$

Después, utilizando el método europeo (Tetmajer modificado), se realiza el cálculo del esfuerzo equivalente de pandeo, teniendo en cuenta un factor de seguridad,  $FS$ , igual a 2:

$$\sigma_p = \frac{479.2 - 2.82 * \lambda}{FS} = \frac{479.2 - 2.82 * 36}{2} = 188.84 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, como el esfuerzo  $\sigma_p$  es mayor que el esfuerzo  $\sigma_n$ , el eje de la porta cuchillas no fallará por pandeo.

En conclusión, el eje de 20 mm de diámetro será suficiente para soportar los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

A continuación, en las Figuras P.4, P.5 y P.6 se muestran los valores del esfuerzo máximo equivalente, el máximo desplazamiento y el factor de seguridad mínimo respectivamente, los cuales fueron obtenidos al realizar la simulación de análisis de esfuerzos en el Software Autodesk

Inventor Professional 2019. En las figuras se puede observar que el eje portacuchillas, con el material seleccionado, no fallará por los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

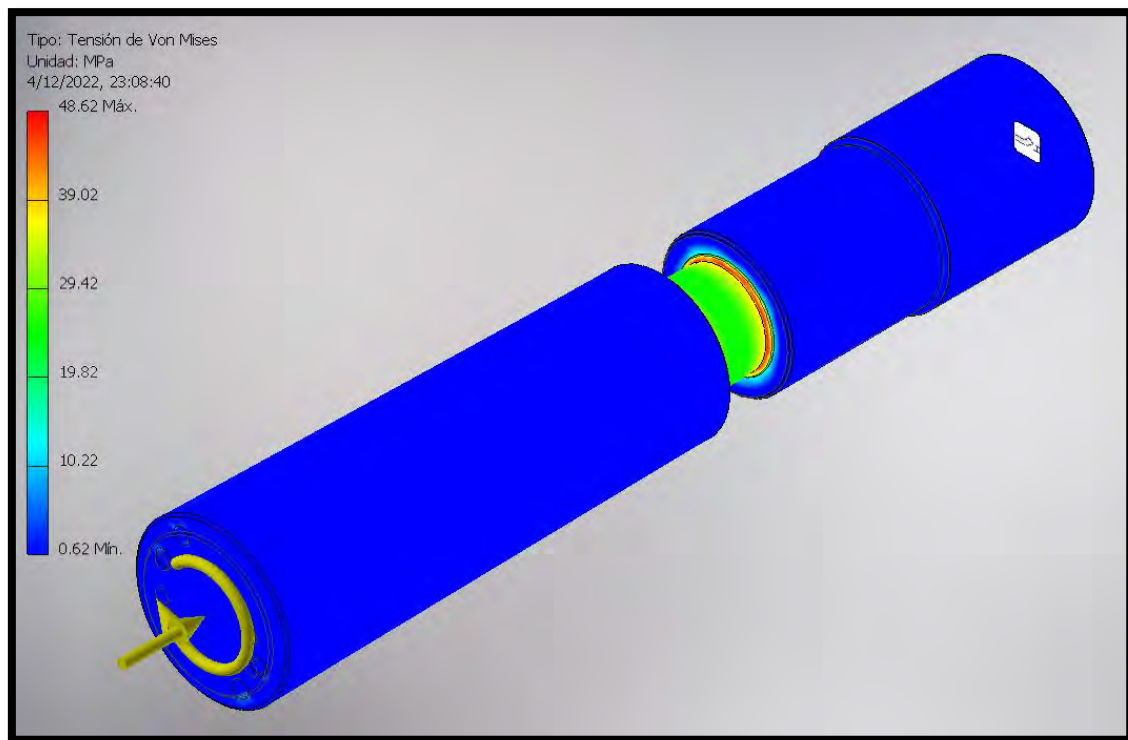


Figura P.4. Tensión de Von Misses máxima en el eje portacuchillas.

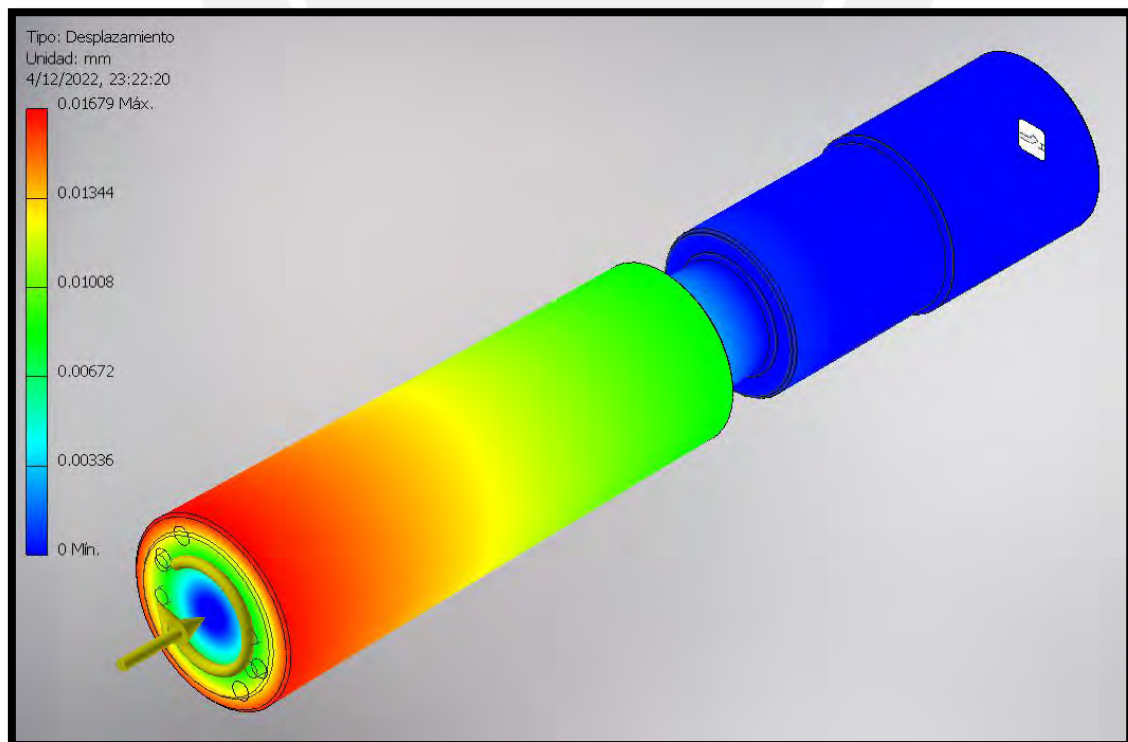


Figura P.5. Deformación máxima del eje portacuchillas.

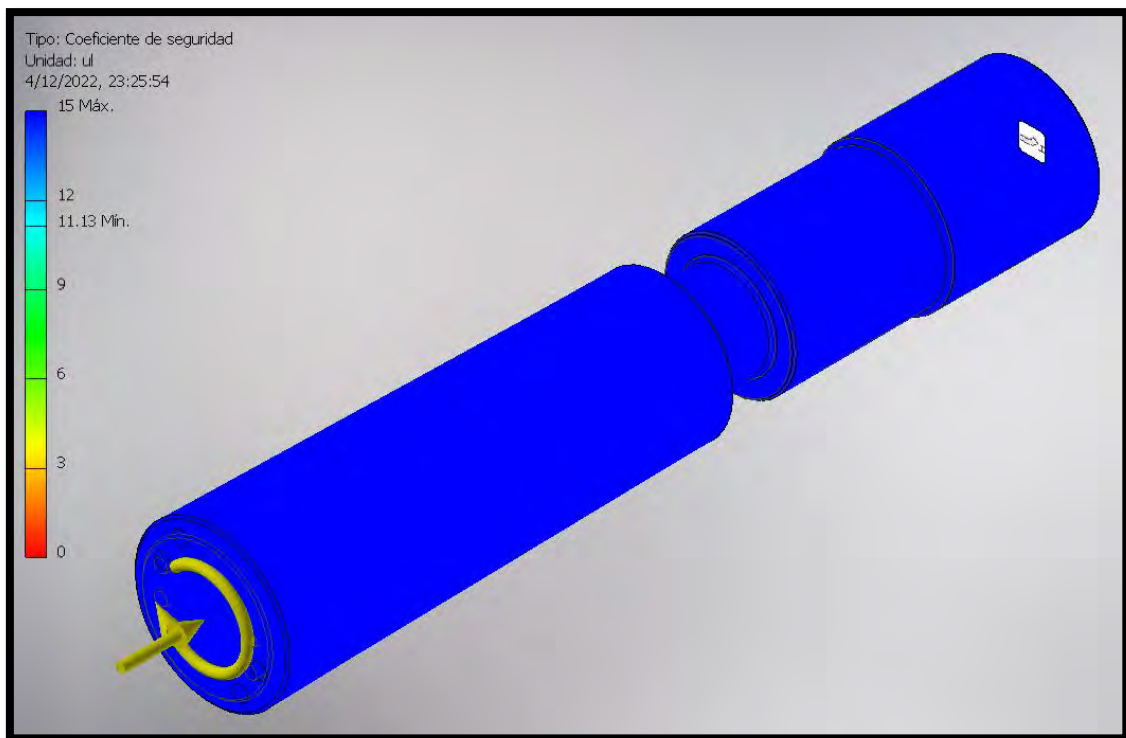


Figura P.6. Coeficiente de seguridad mínimo del eje portacuchillas.

## ANEXO Q: ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE LA CUCHILLA DE CORTE

Como ya se tiene definido el espesor, ahora se verificará si el espesor elegido será suficiente para soportar todos los esfuerzos a los que estará sometido. A continuación, en la Figura Q.1 se puede observar la disposición de su soporte, y en la Figura Q.2 su diagrama de esfuerzos, para determinar el punto crítico:

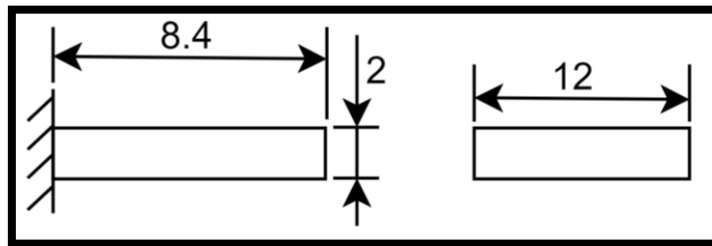


Figura Q.1. Apoyo y dimensiones de la cuchilla de corte.

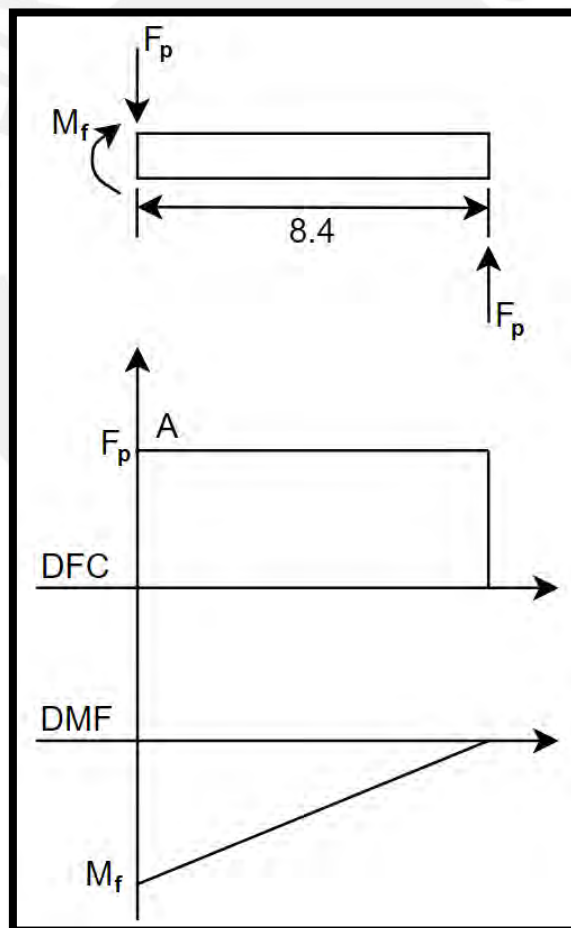


Figura Q.2. Diagrama de esfuerzos de la cuchilla de corte.

Entonces, del diagrama mostrado, se deduce que el punto A es el punto crítico de la cuchilla.

Luego se pasa a calcular la fuerza de empuje que ejercen los filamentos extruidos, sabiendo que

la presión máxima que ejercen es 25.73 MPa, calculada en el Anexo L: (Área del pellet,  $A_{pellet}$ , calculada en el Anexo K)

$$F_p = p_{m\acute{a}x} * 2 * A_{pellet} = 25.73 * 2 * 7.07 = 363.82 \text{ N}$$

Por tanto, los esfuerzos de flexión y cortante son:

Esfuerzo de flexión:

$$\sigma = \frac{M_f * c}{I} = \frac{363.82 * 8.4 * \frac{2}{2}}{\frac{12 * 2^3}{12}} = 382.01 \text{ MPa.}$$

Esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{F_p}{A_{cuchilla}} = \frac{363.82}{12 * 3} = 10.11 \text{ MPa.}$$

Luego, el esfuerzo equivalente según Tresca es:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 4 * \tau^2} = \sqrt{382.01^2 + 4 * 10.11^2} = 382.54 \text{ MPa.}$$

Finalmente, se calcula el factor de seguridad:

$$FS = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{eq}} = \frac{1385}{382.54} = 3.62.$$

Asimismo, la flecha máxima es:

$$y_{m\acute{a}x} = \frac{F_p * L^3}{3 * E_{acero D-2} * \frac{b * h^3}{12}} = \frac{363.82 * 8.4^3}{3 * 198000 * \frac{12 * 2^3}{12}} = 0.045 \text{ mm.}$$

En conclusión, las cuchillas, con el material y espesor elegido, soporta los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

A continuación, en las Figuras Q.3, Q.4 y Q.5 se muestran los valores del esfuerzo máximo equivalente, el máximo desplazamiento y el factor de seguridad mínimo respectivamente, los cuales fueron obtenidos al realizar la simulación de análisis de esfuerzos en el Software Autodesk Inventor Professional 2019. En las figuras se puede observar que la cuchilla de corte, con el material seleccionado, no fallará por los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

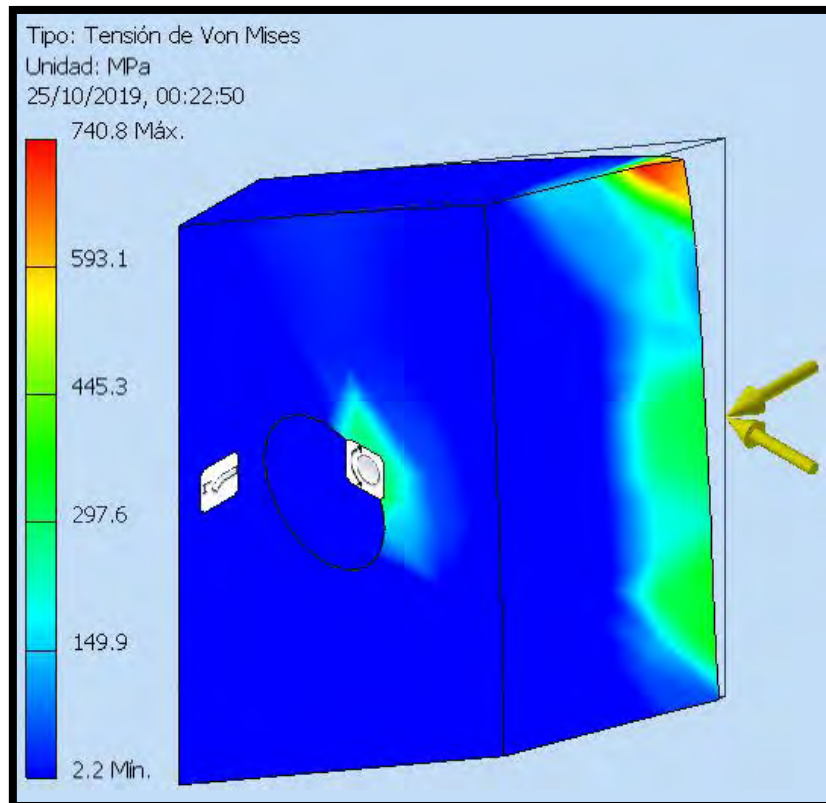


Figura Q.3. Tensión de Von Misses máxima en la cuchilla de corte.

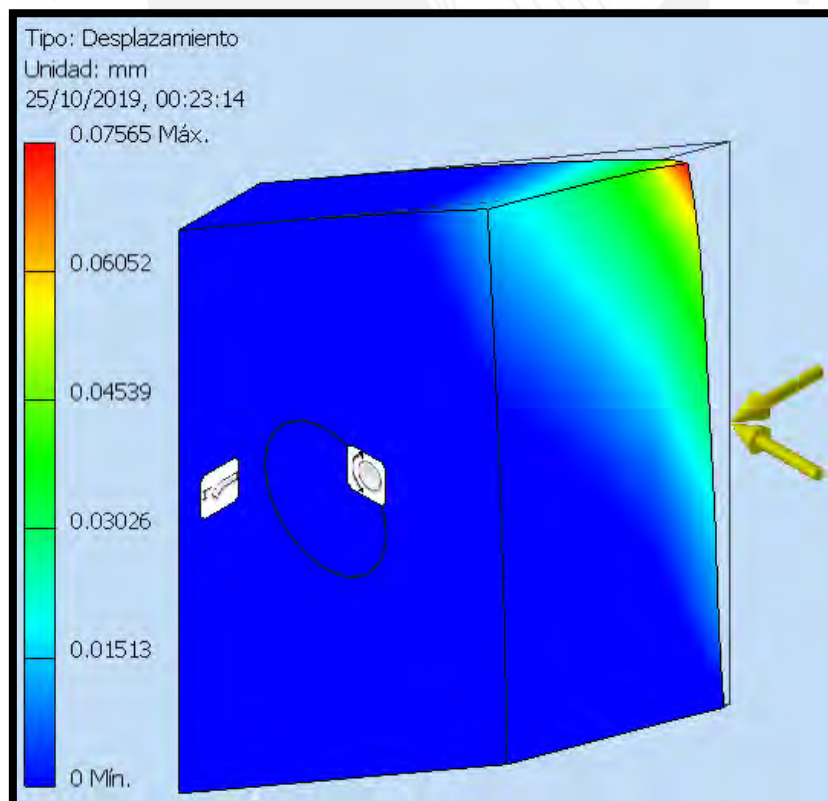


Figura Q.4. Deformación máxima de la cuchilla de corte.

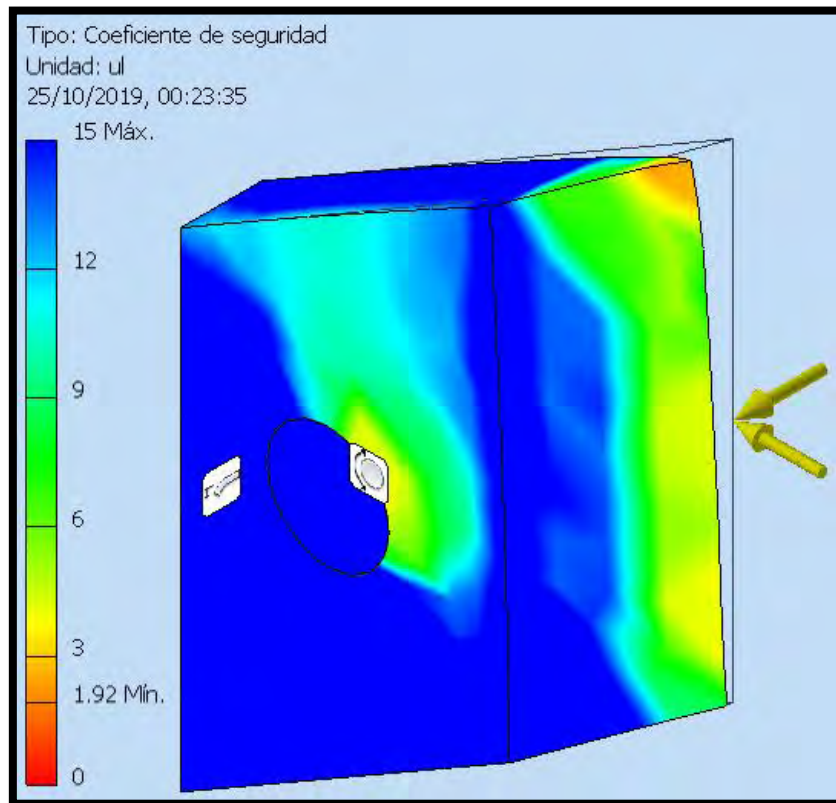


Figura Q.5. Coeficiente de seguridad mínimo de la cuchilla de corte.

## ANEXO R: POTENCIA DEL MOTOR DEL SISTEMA DE CORTE

Para el cálculo de la potencia que necesita el sistema de corte, se debe calcular la velocidad de giro del motor para que la longitud de los pellets,  $l_{pellet}$ , sea de 3 mm. Para calcular esta velocidad, se debe obtener el tiempo necesario que necesita la cuchilla para dar una revolución. A continuación, se realiza el cálculo de los parámetros necesarios para obtener el tiempo mencionado:

Primero, se pasa a calcular el volumen que tiene cada pellet extruido: (Área del pellet,  $A_{pellet}$ , calculado en el Anexo K)

$$V_{pellet} = A_{pellet} * l_{pellet} = 7.07 * 3 = 21.21 \text{ mm}^3.$$

Ahora, se calcula el tiempo que necesita el sistema de extrusión para extruir un pellet con la longitud deseada: (Volumen extruido por hora,  $\dot{V}_{extruido}$ , calculado en el Anexo K)

$$t_{extrusión} = \frac{V_{pellet}}{\dot{V}_{extruido}} * 3600 = \frac{21.21 * 10^{-9}}{1.27 * 10^{-3}} * 3600 = 0.06 \text{ s}.$$

Como se va a utilizar dos cuchillas separadas 180° entre sí, el tiempo necesario para que la cuchilla vuelva a llegar al mismo punto sería el doble, entonces:

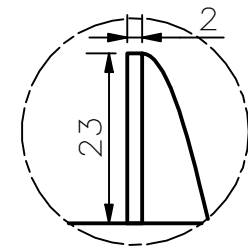
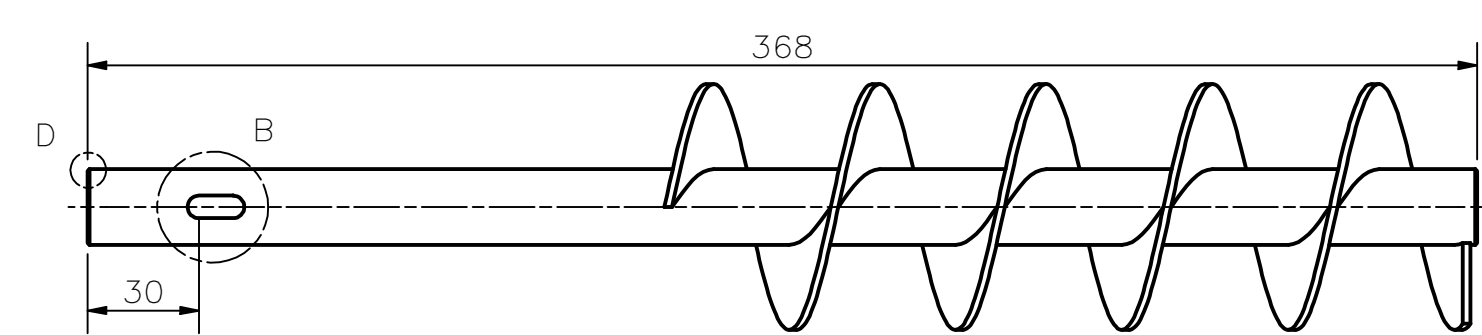
$$t_{giro} = 2 * t_{extrusión} = 2 * 0.06 = 0.12 \text{ s}.$$

Luego, se calcula la velocidad de giro que debe tener el motor para dar una revolución cada 0.12 s:

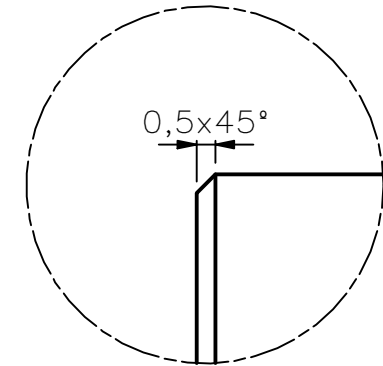
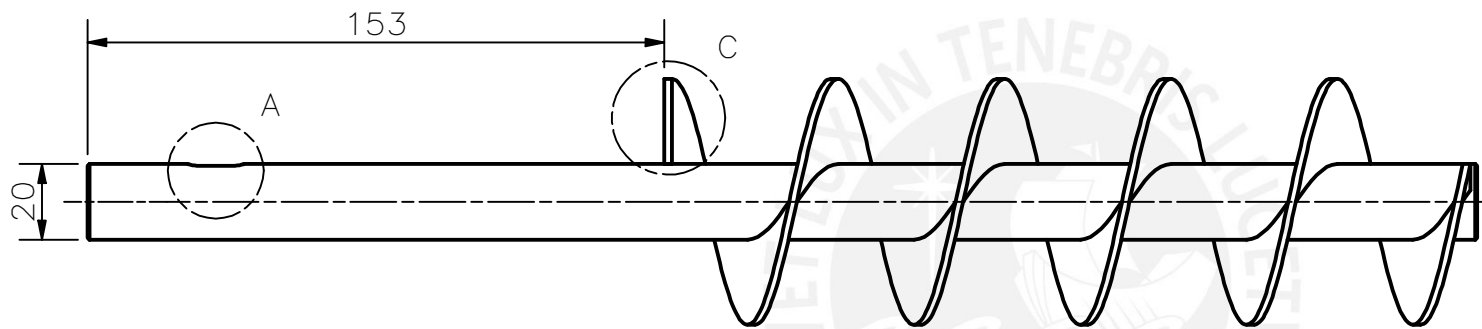
$$n = \frac{1}{t_{giro}} * 60 = \frac{1}{0.12} * 60 = 500 \text{ rpm}.$$

Finalmente, la potencia del motor para el sistema de corte sería: (Torque generado por la fuerza de corte y fricción,  $T$ , calculado en el Anexo P)

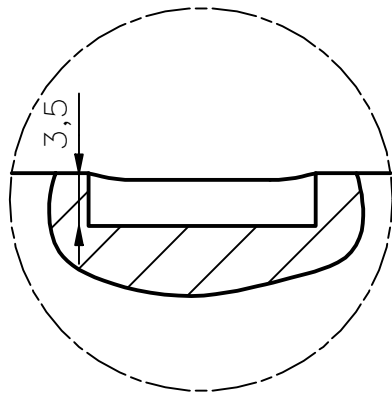
$$P_{motor} = T * n * \frac{2\pi}{60} = 25.77 * 500 * \frac{2\pi}{60} = 1349.31 \text{ W} \approx 1.4 \text{ kW}.$$



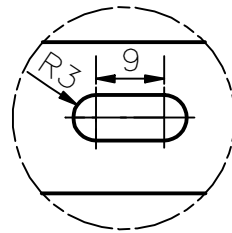
DETALLE C  
ESCALA 1 : 1



DETALLE D  
ESCALA 5 : 1



DETALLE A  
ESCALA 2 : 1

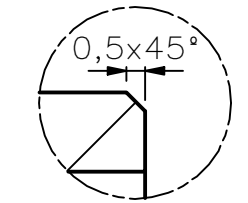
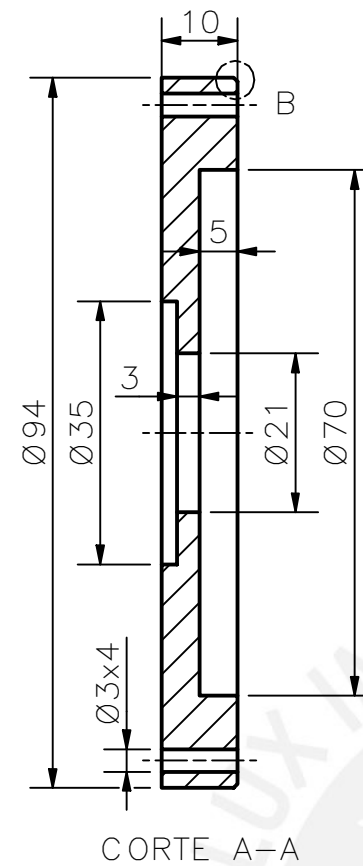
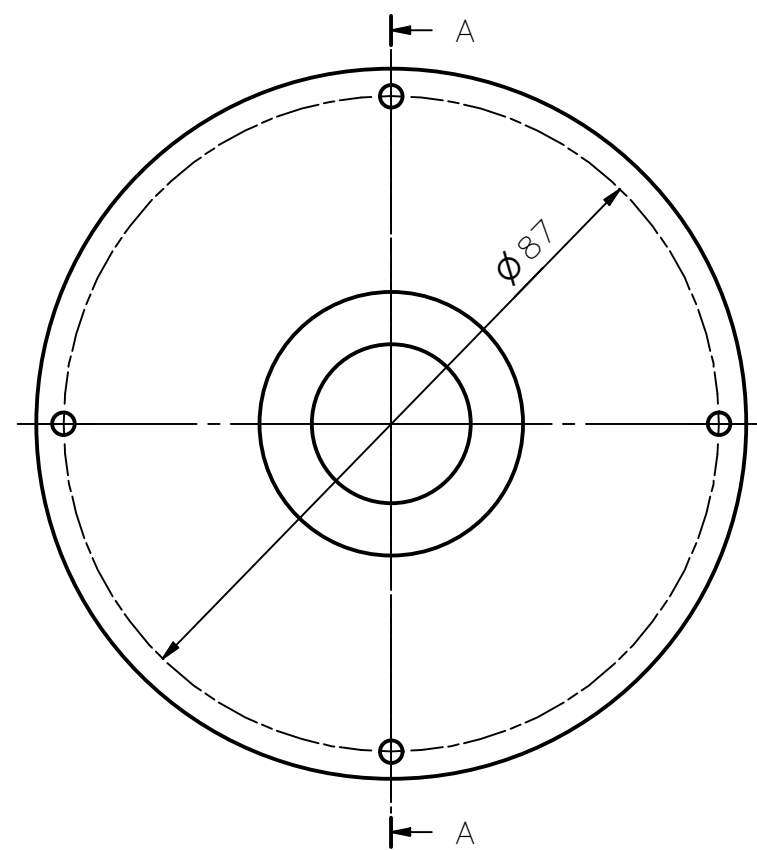


DETALLE B  
ESCALA 1 : 1

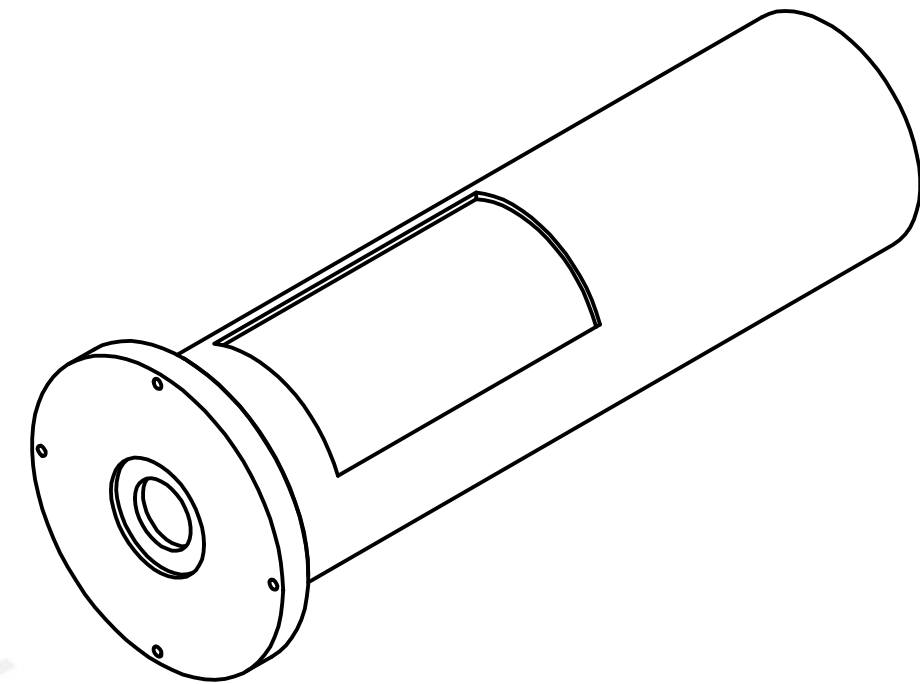
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A276
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	TORNILLO ESCAMAS	1:2
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

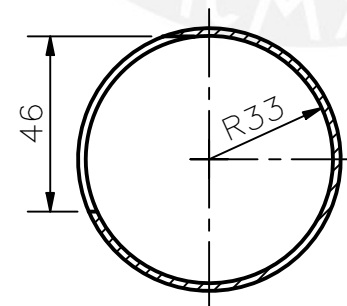
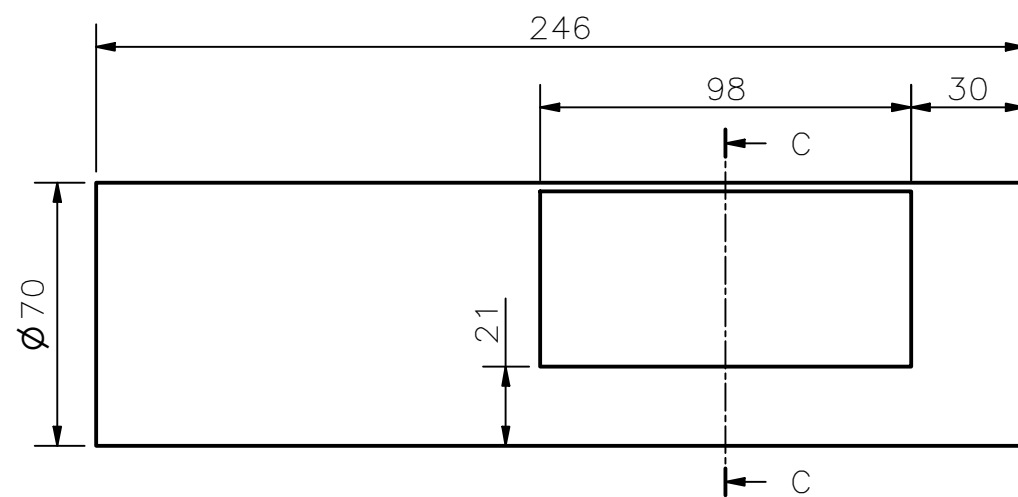
LÁMINA:  
PD1 – A4



DETALLE B  
ESCALA 5 : 1



ITEM: TAPA CILINDRO ESCAMAS  
CANTIDAD: 1  
MATERIAL: ASTM A 105  
ESCALA: 1:1

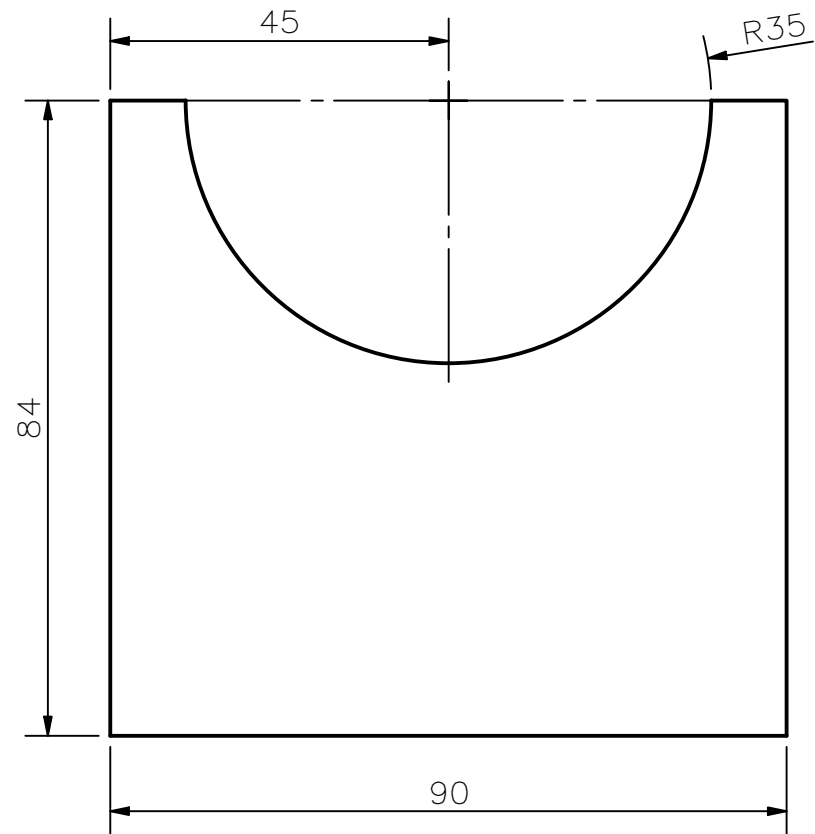


CORTE C-C

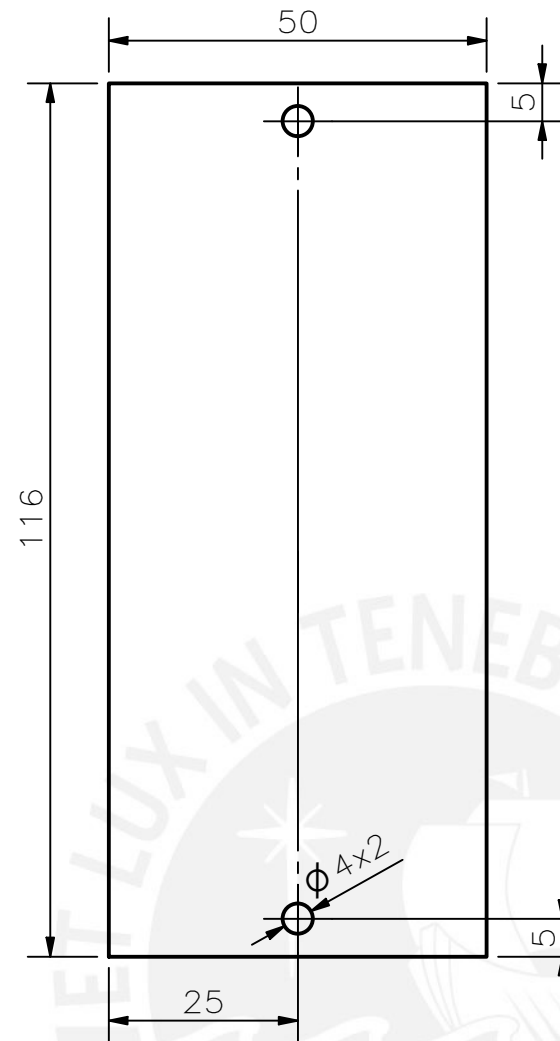
ITEM: CILINDRO ESCAMAS  
CANTIDAD: 1  
MATERIAL: ASTM A312  
ESCALA: 1:2

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	CILINDRO Y TAPA ESCAMAS	
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD2 – A3

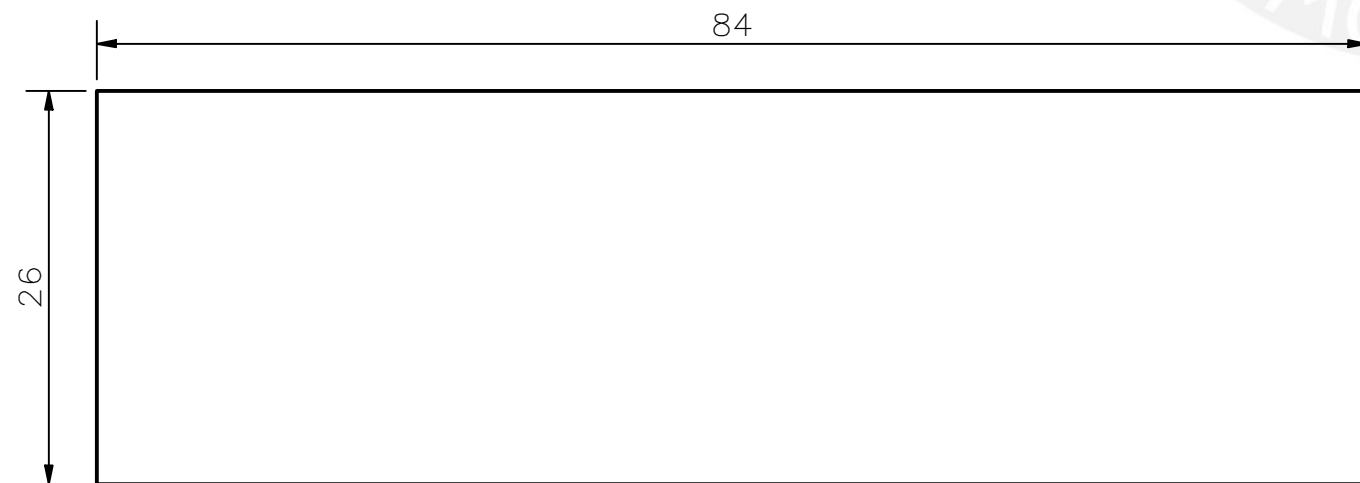
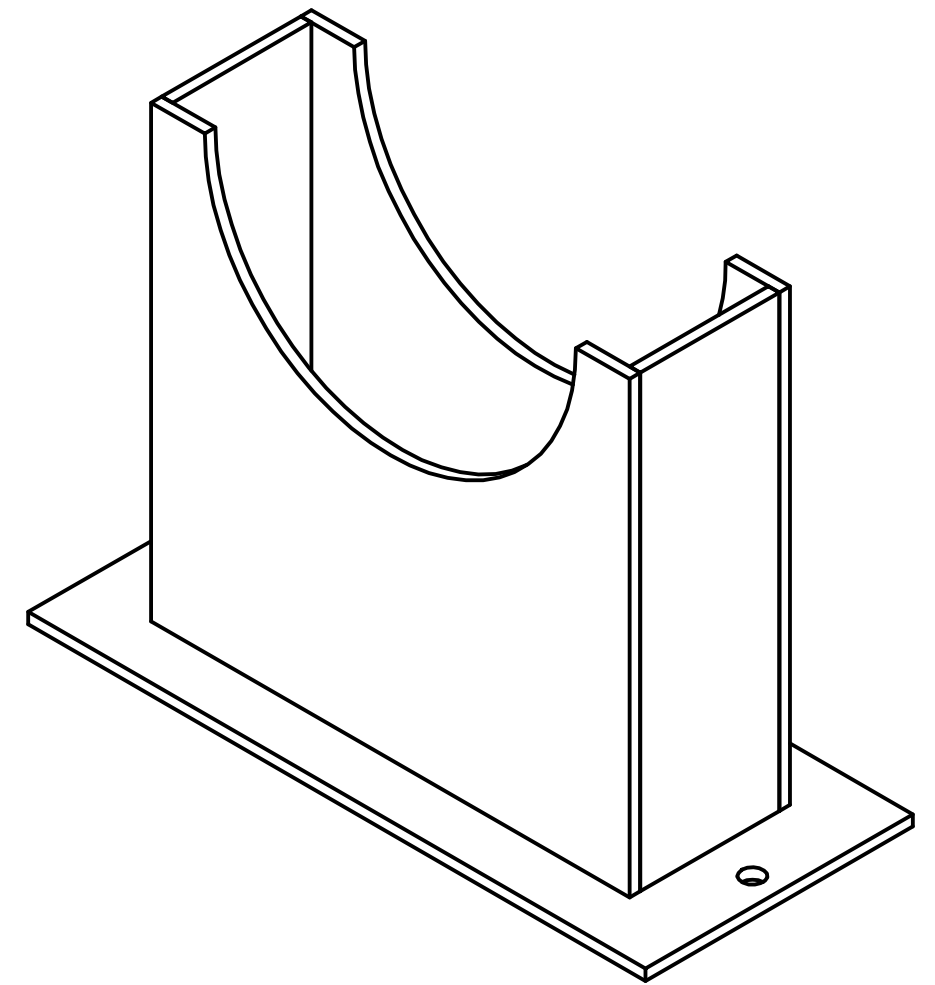
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ITEM: SOPORTE 1 ESCAMAS  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 2 mm



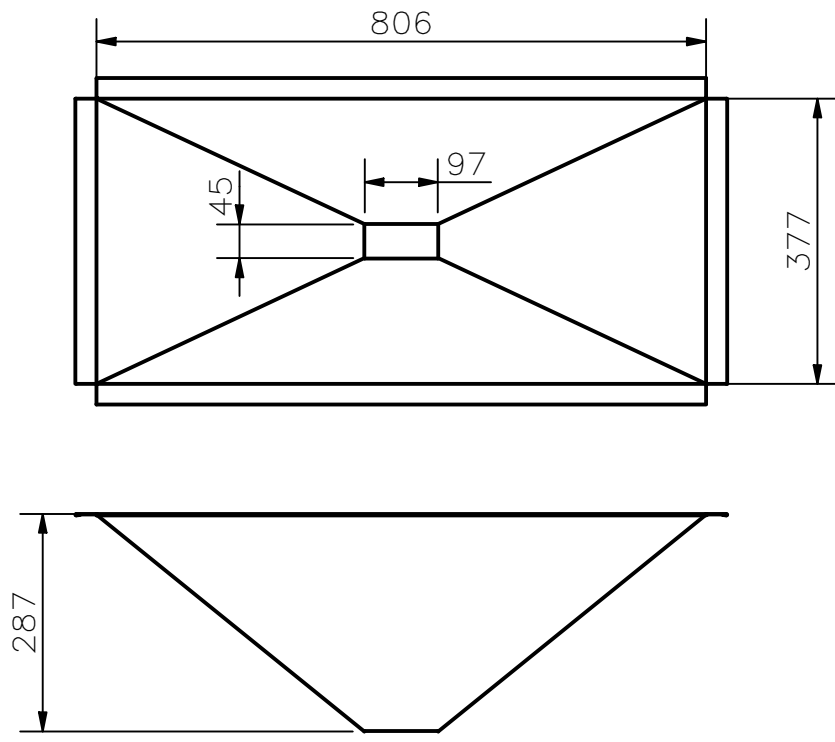
ITEM: BASE SOPORTE ESCAMAS  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 2 mm



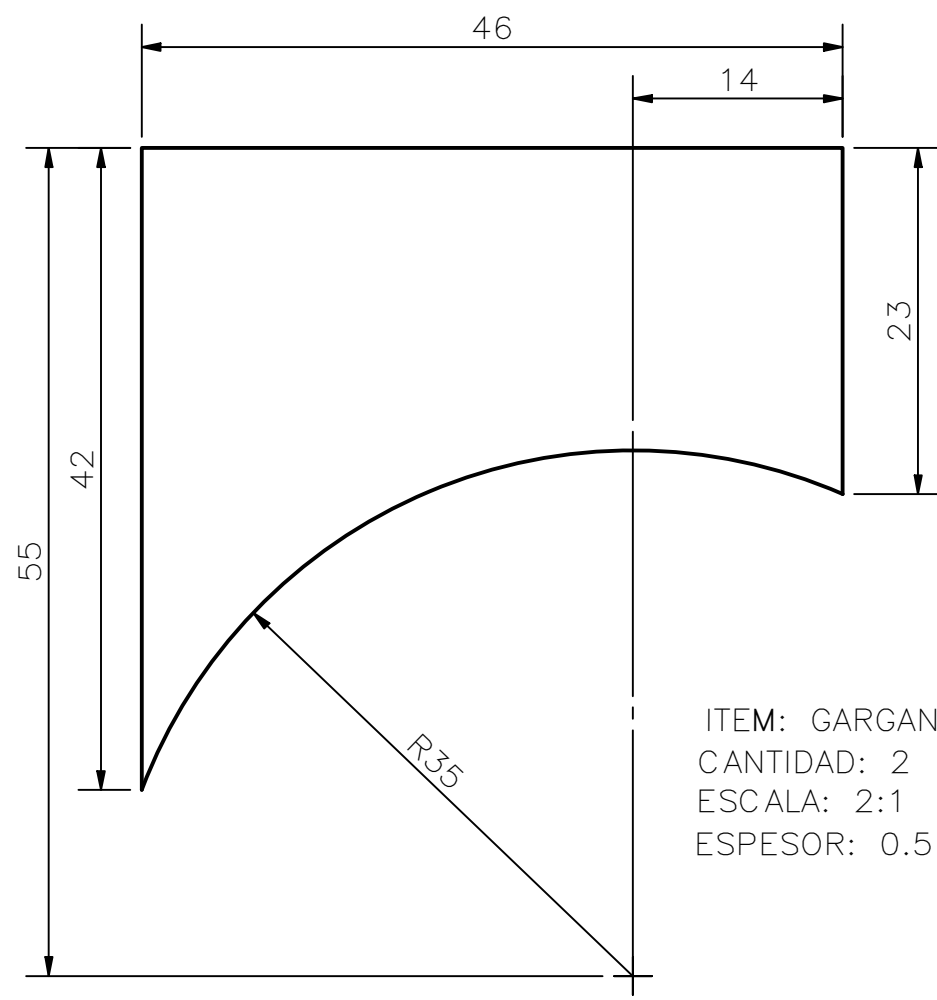
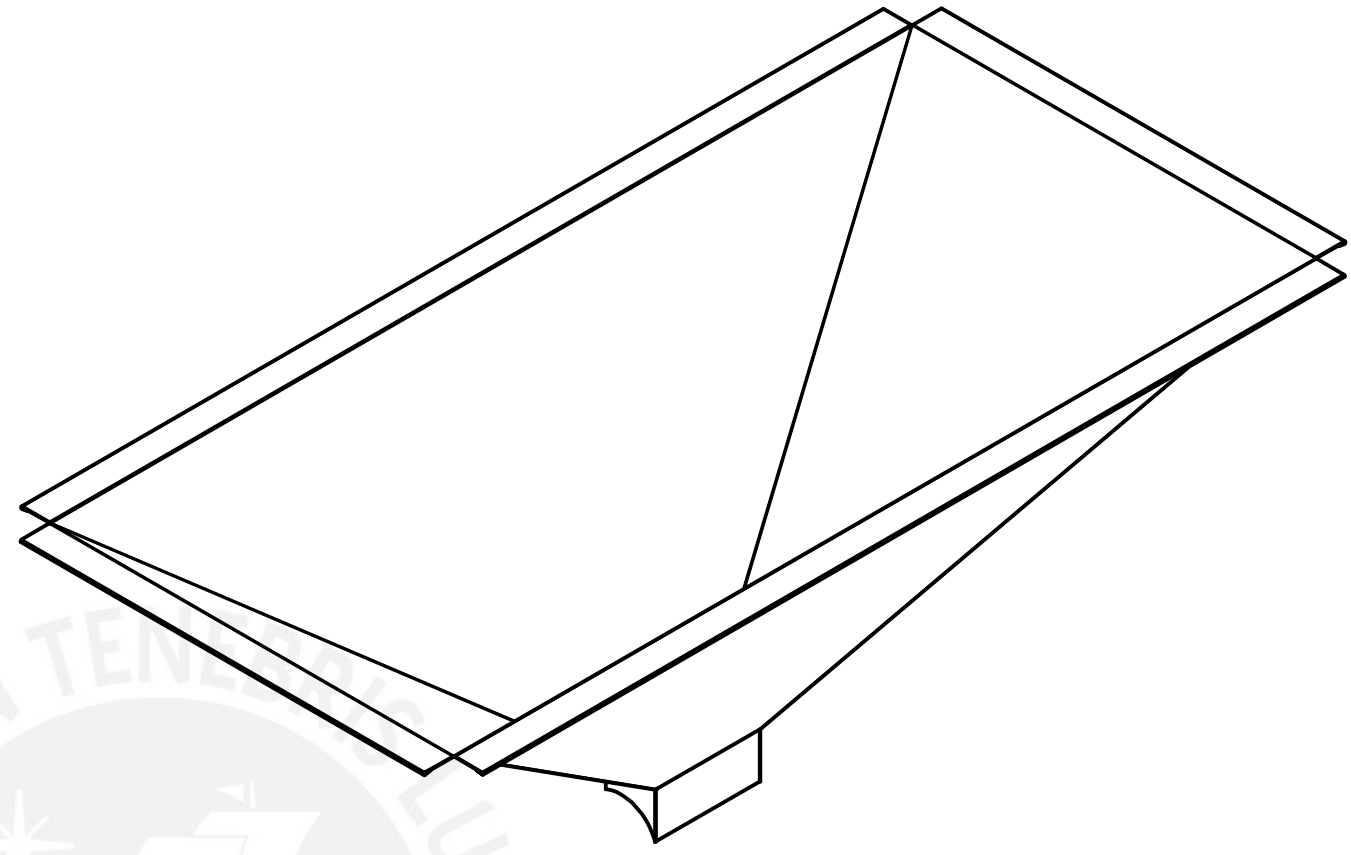
ITEM: SOPORTE 2 ESCAMAS  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 2:1  
 ESPESOR: 2 mm

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	SOPORTE CILINDRO ESCAMAS	
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD3 – A3

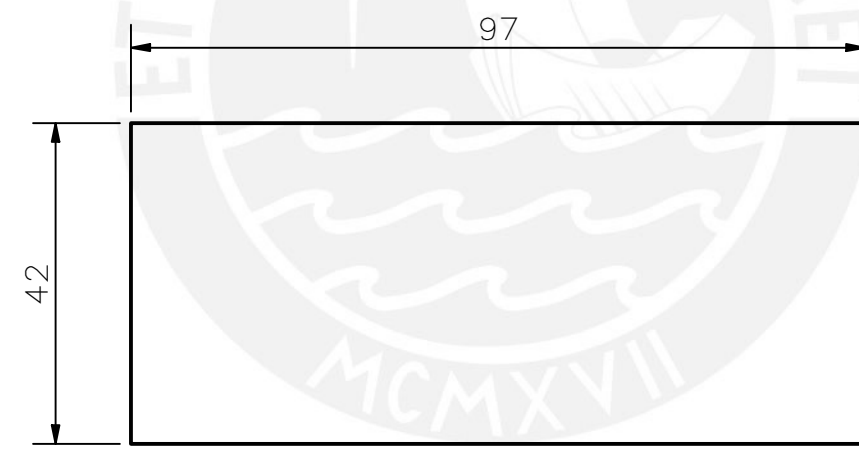
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



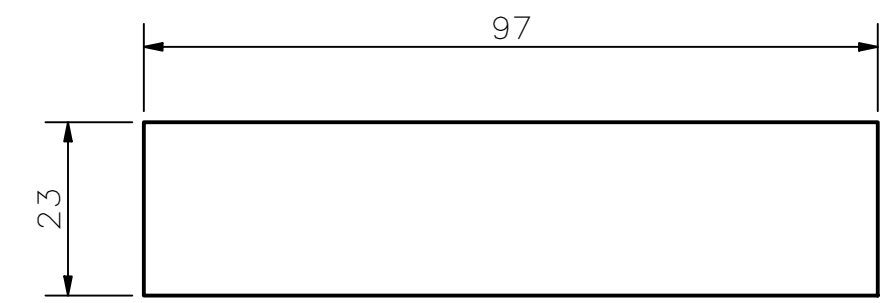
ITEM: TOLVA ESCAMAS  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:10  
 ESPESOR: 0.5 mm



ITEM: GARGANTA 2 ESCAMAS  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 2:1  
 ESPESOR: 0.5 mm



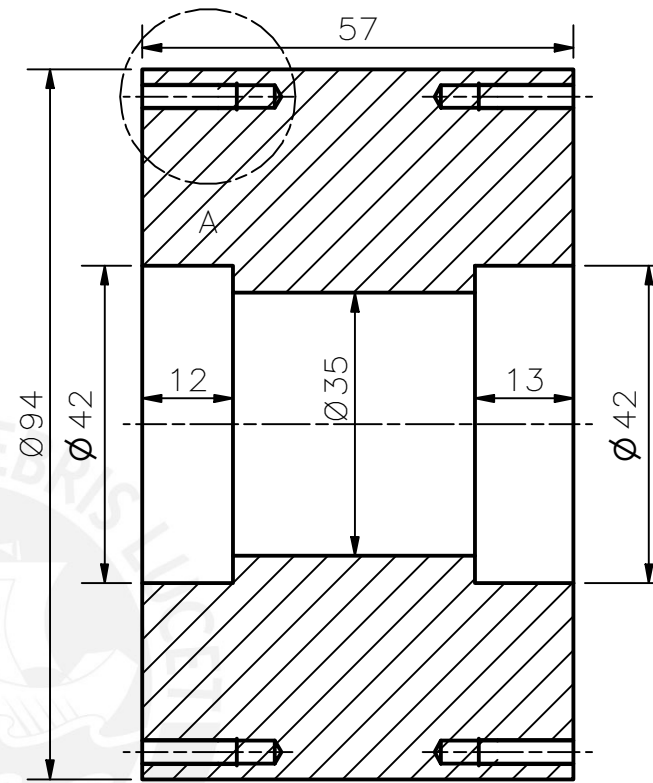
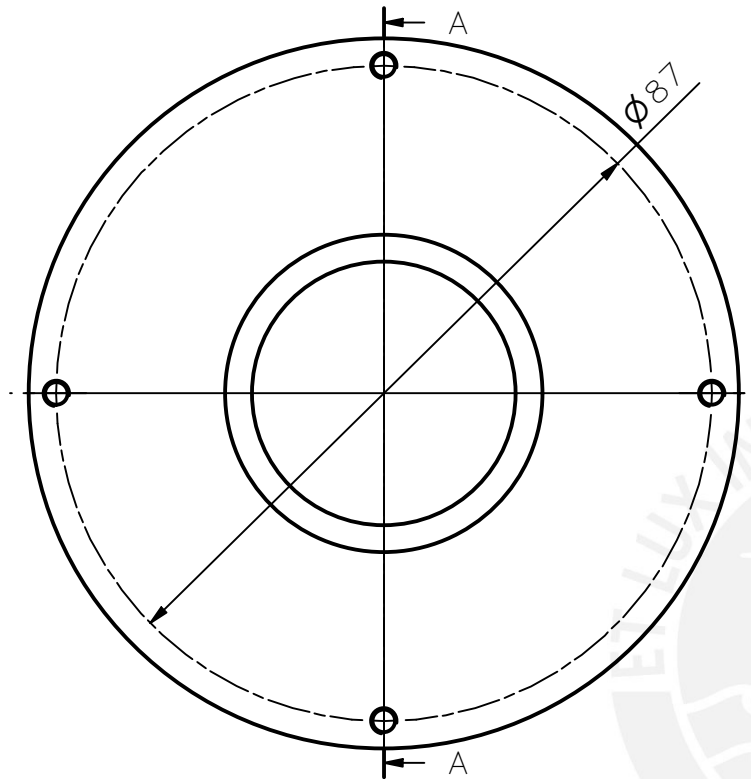
ITEM: GARGANTA 3 ESCAMAS  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 0.5 mm



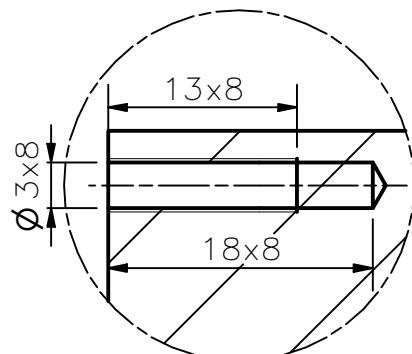
ITEM: GARGANTA 1 ESCAMAS  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:10  
 ESPESOR: 0.5 mm

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		INOX 304
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	TOLVA Y GARGANTA ESCAMAS	
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD4 – A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



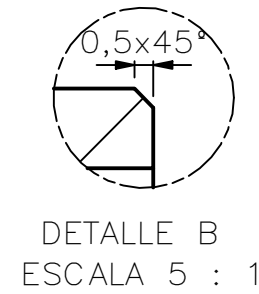
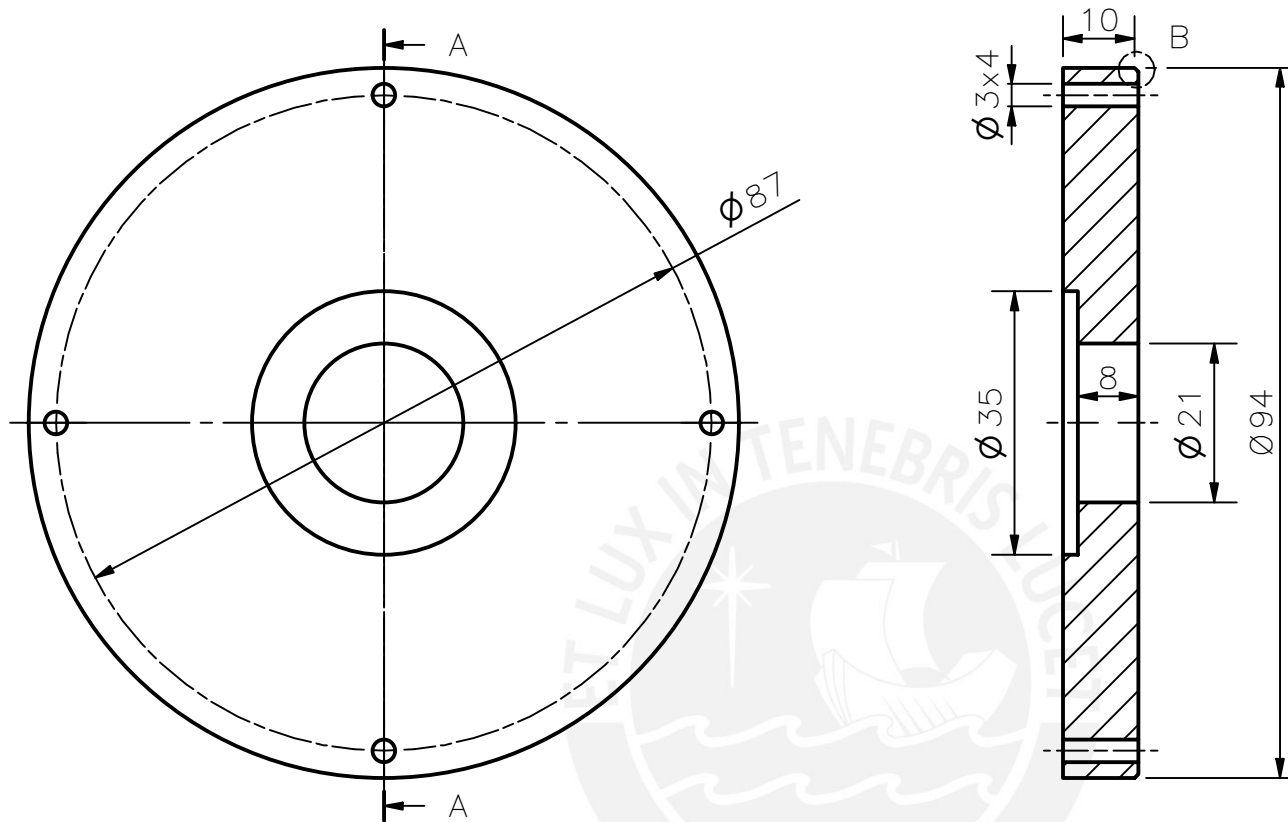
CORTE A-A



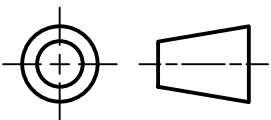
DETALLE A  
ESCALA 2 : 1

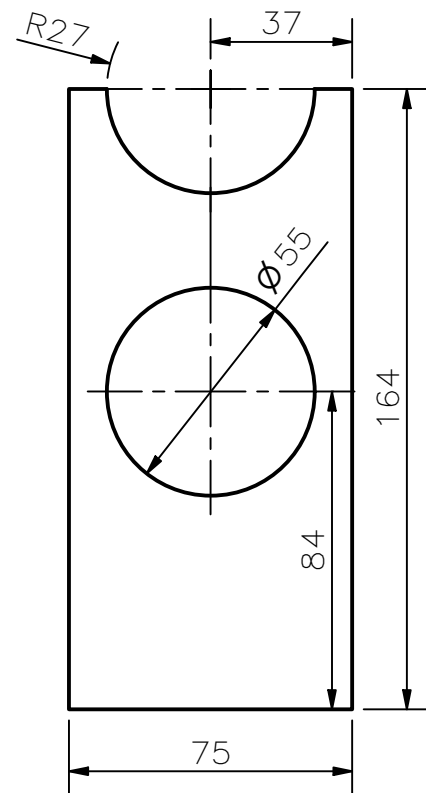
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A 105
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO APOYO RODAMIENTOS ESCAMAS	ESCALA 1:1
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD5 – A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

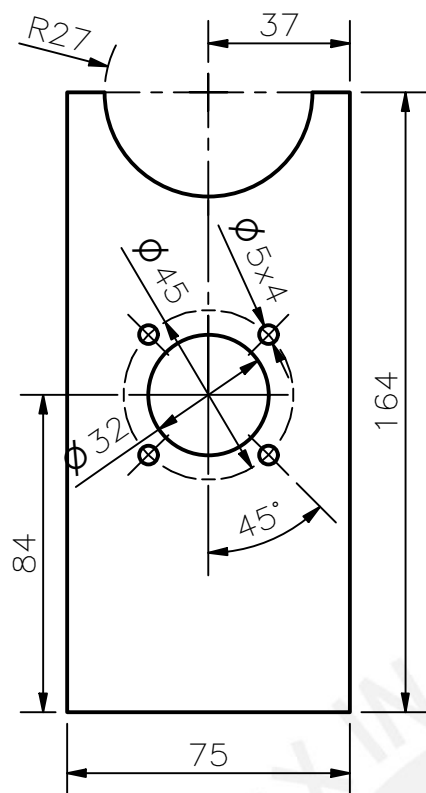


CORTE A-A

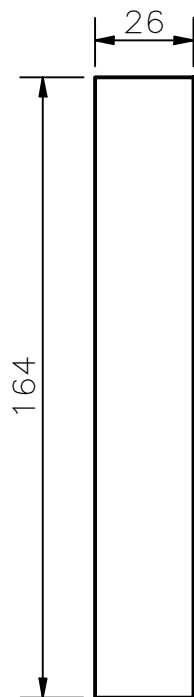
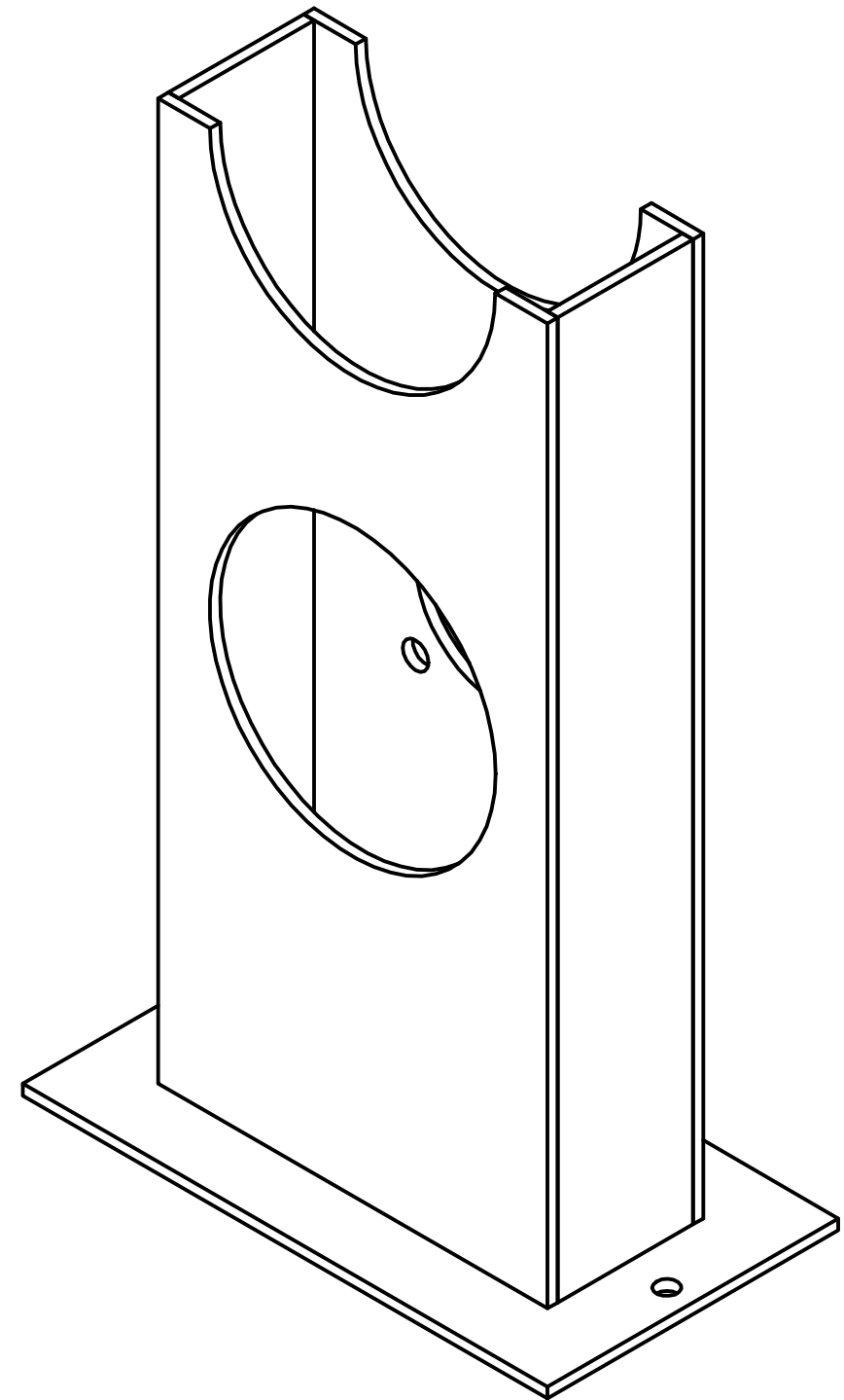
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A 105			
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO <b>TAPA RODAMIENTOS ESCAMAS</b>	ESCALA 1:1			
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05			
<table border="1"> <tr> <td>COTA NOMINAL</td> <td>COTA MÁXIMA</td> <td>COTA MÍNIMA</td> </tr> </table>		COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA	LÁMINA: PD6 – A4
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA			



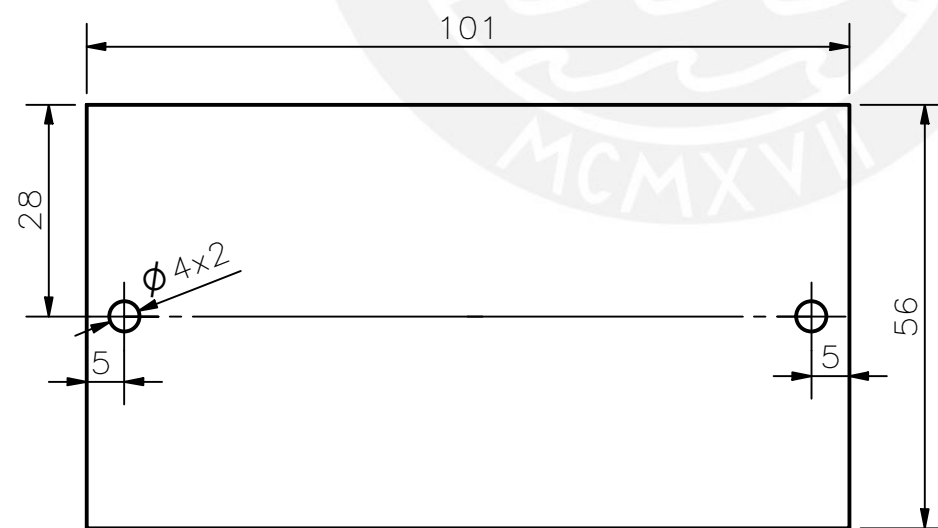
ITEM: SOPORTE 1 MOTOR ESCAMAS  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:2  
 ESPESOR: 2 mm



ITEM: SOPORTE 2 MOTOR ESCAMAS  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:2  
 ESPESOR: 2 mm

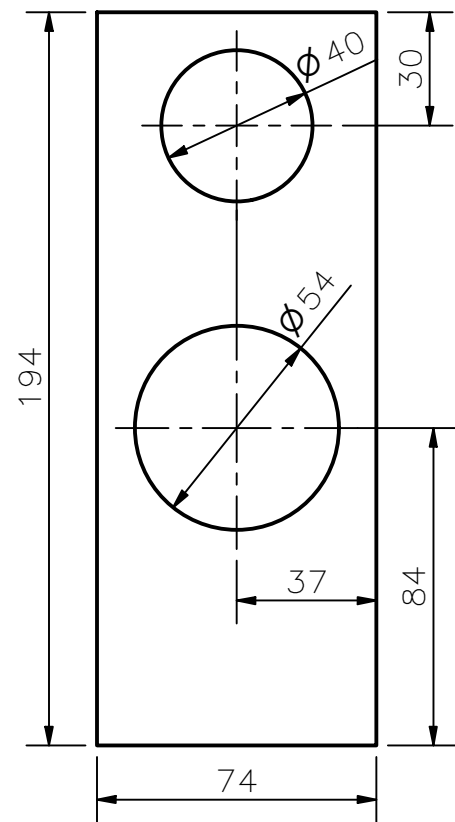


ITEM: SOPORTE 3 MOTOR ESCAMAS  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 1:2  
 ESPESOR: 2 mm

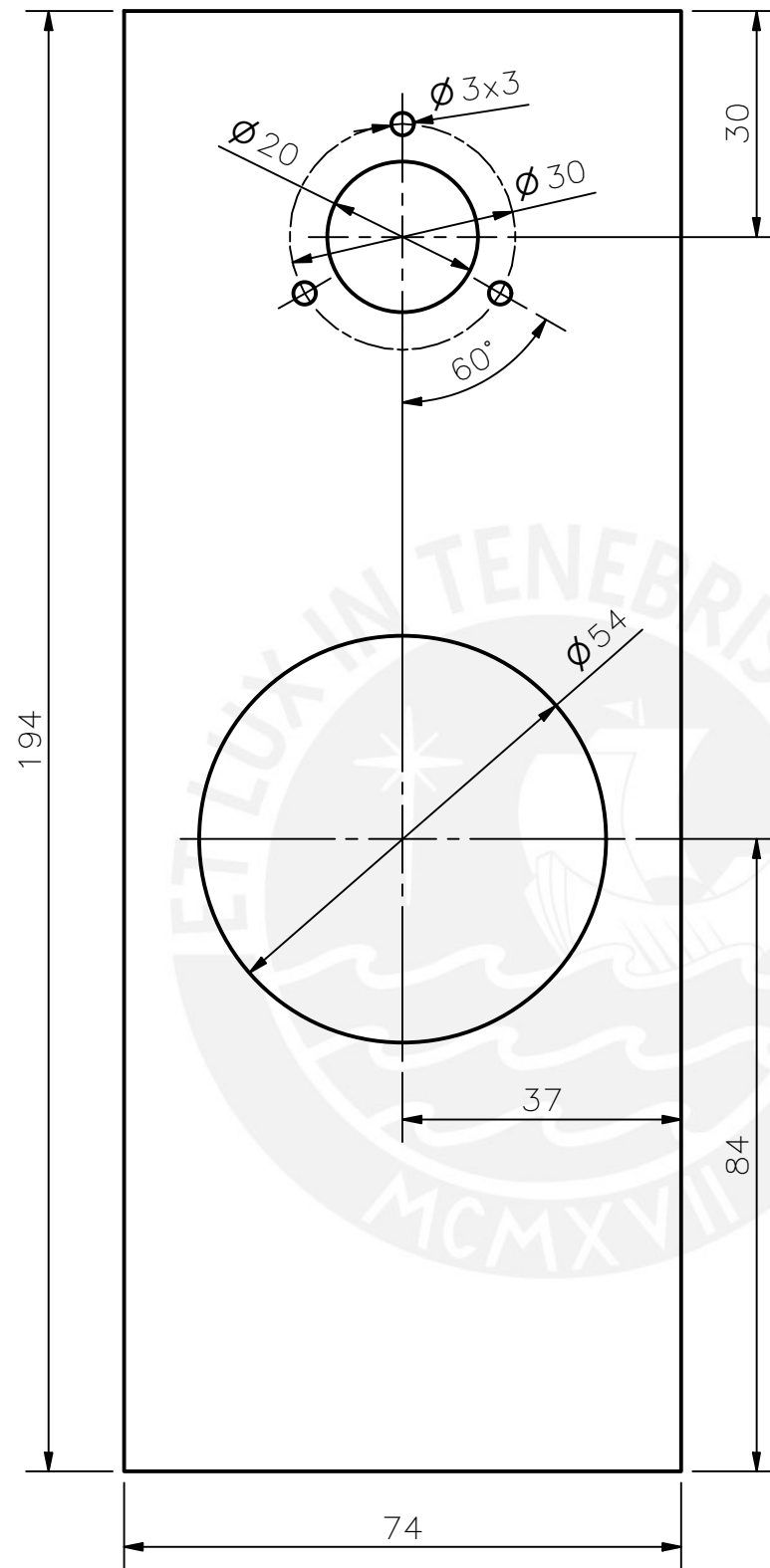


ITEM: BASE SOPORTE MOTOR ESCAMAS  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 2 mm

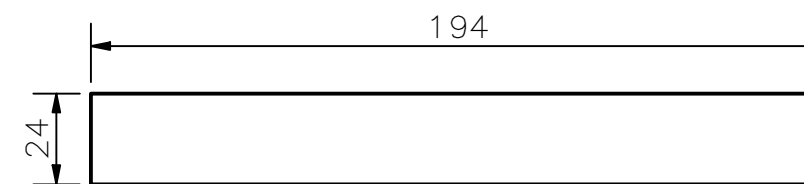
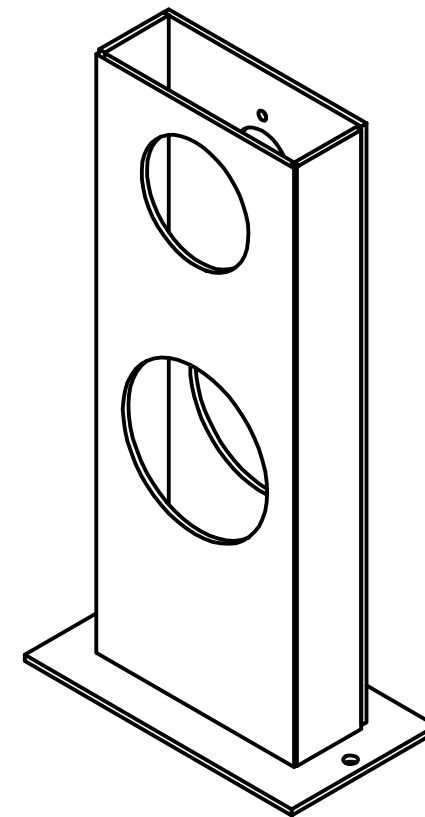
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO <b>SOPORTE MOTOR ESCAMAS</b>	ESCALA
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD7 – A3



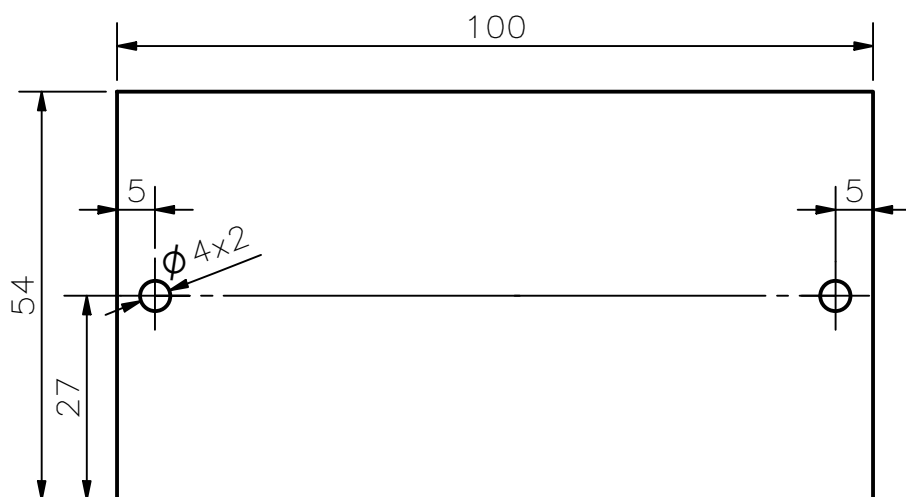
ITEM: SOPORTE 1 ENCODER ESCAMAS  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:2  
 ESPESOR: 2 mm



ITEM: SOPORTE 2 ENCODER ESCAMAS  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 2 mm



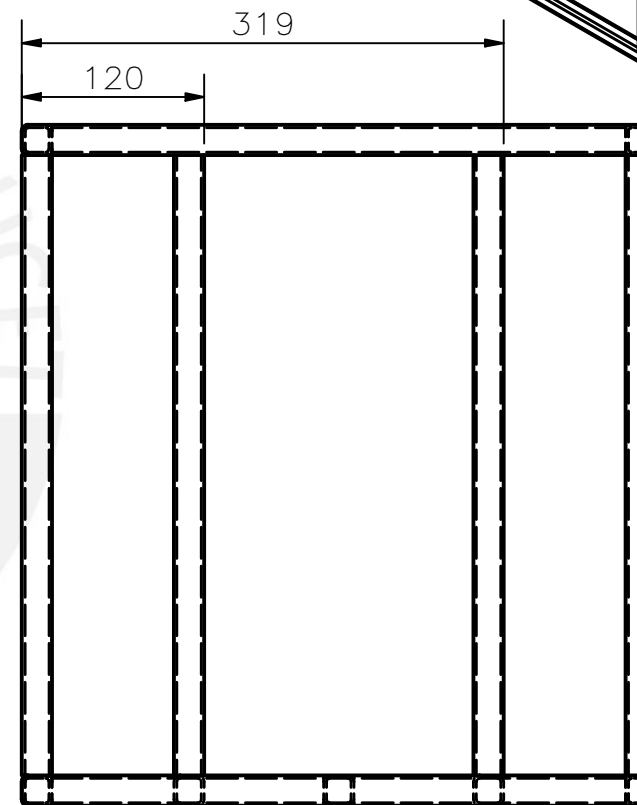
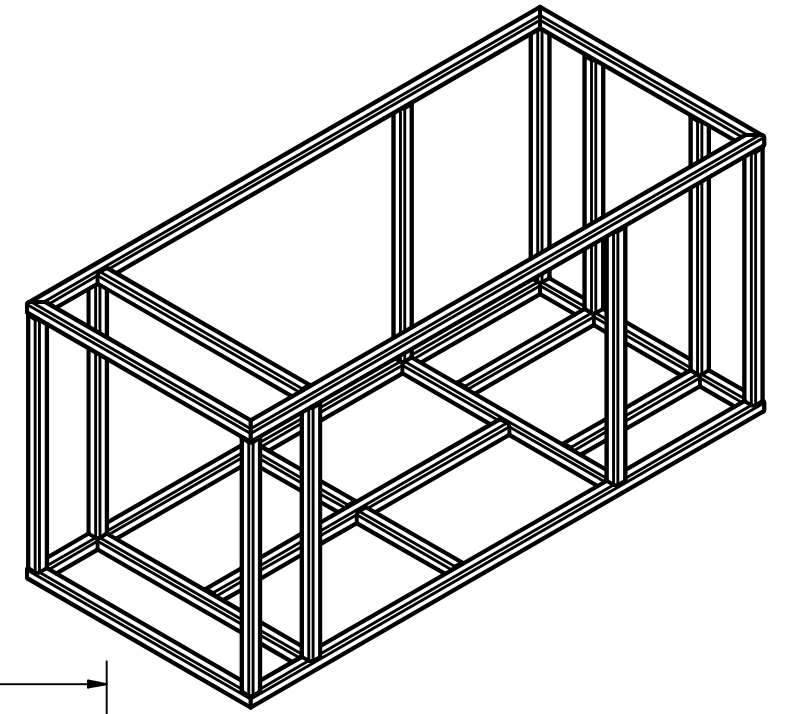
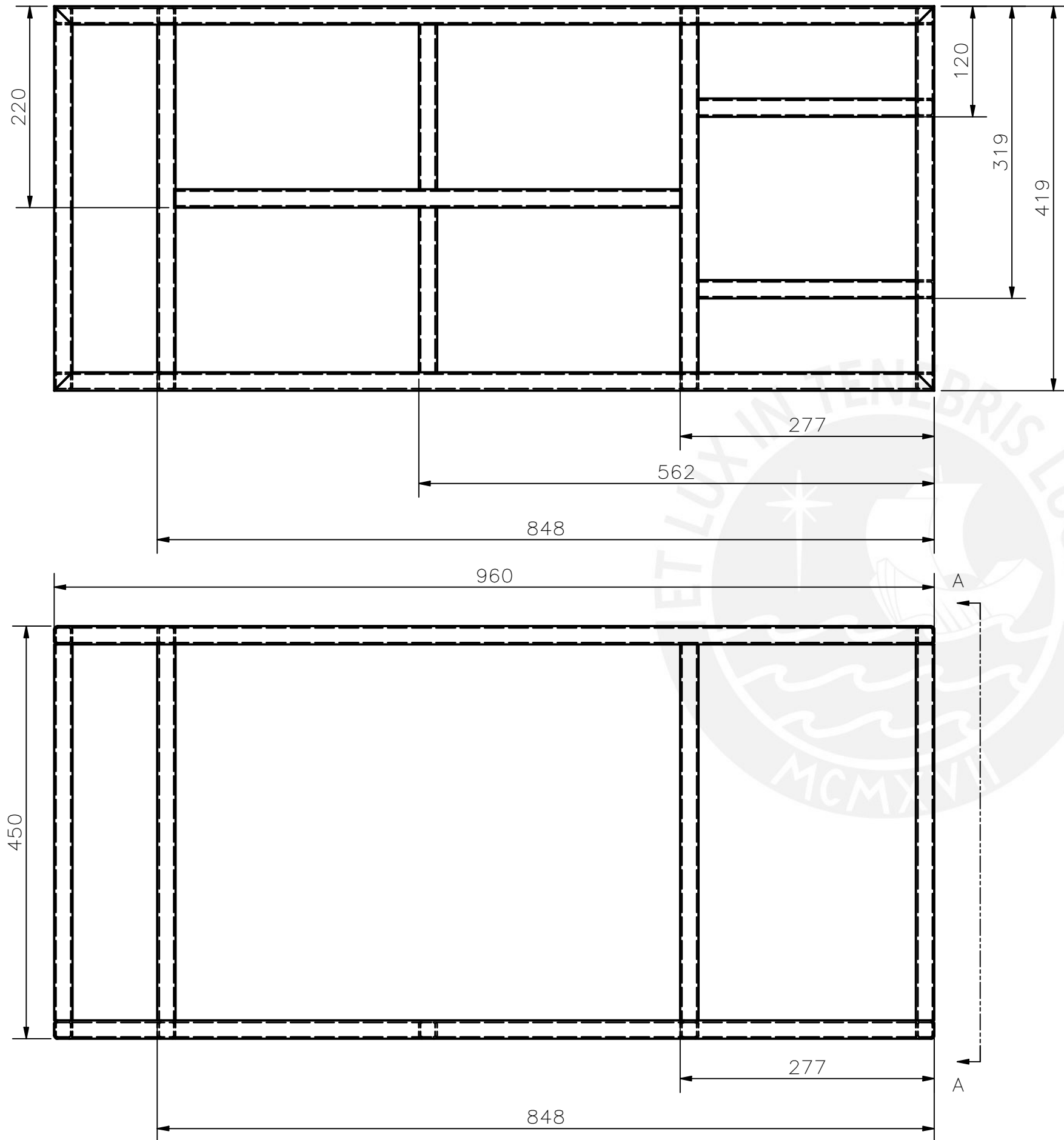
ITEM: SOPORTE 3 ENCODER ESCAMAS  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 1:2  
 ESPESOR: 2 mm



ITEM: BASE SOPORTE ENCODER ESCAMAS  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 2 mm

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	SOPORTE ENCODER ESCAMAS	
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD8 – A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

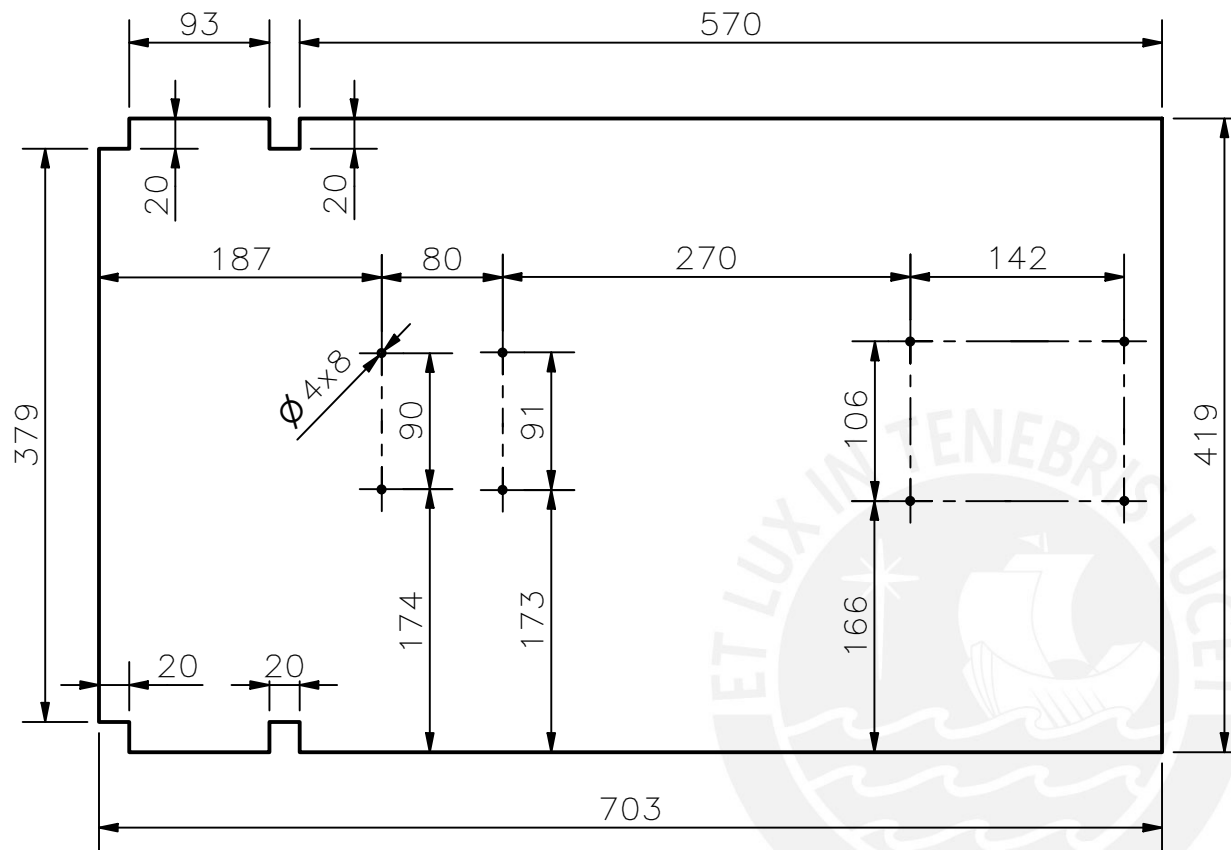


VISTA A-A

PERFIL: CUADRADO HUECO  $\square$  20x20x2

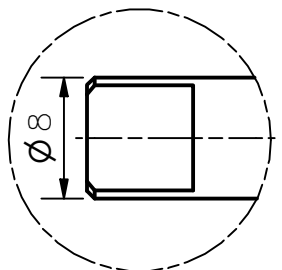
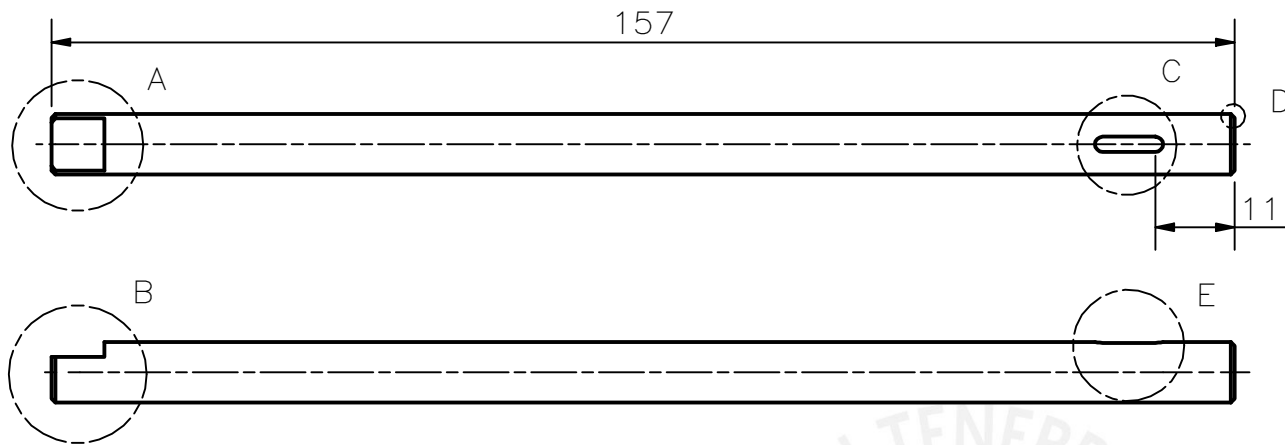
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	ESTRUCTURA SISTEMA ESCAMAS	1:5
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD9 – A3

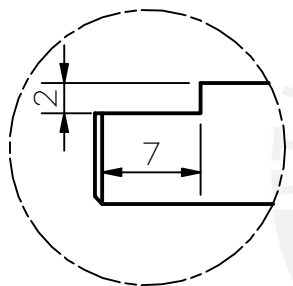


ESPESOR: 2 mm

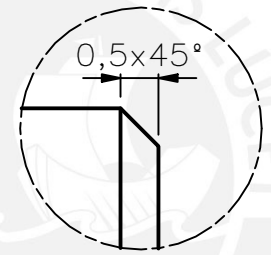
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO <b>BASE SISTEMA ESCAMAS</b>	ESCALA 1:5
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD10 – A4



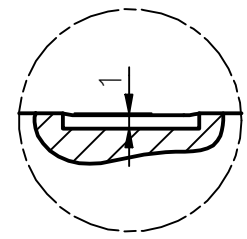
DETALLE A  
ESCALA 2 : 1



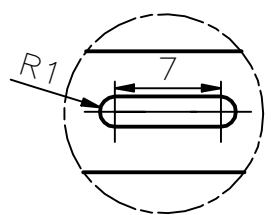
DETALLE B  
ESCALA 2 : 1



DETALLE D  
ESCALA 10 : 1



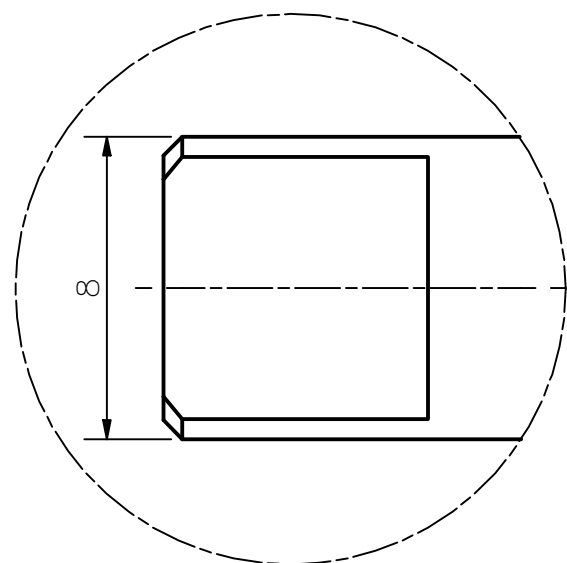
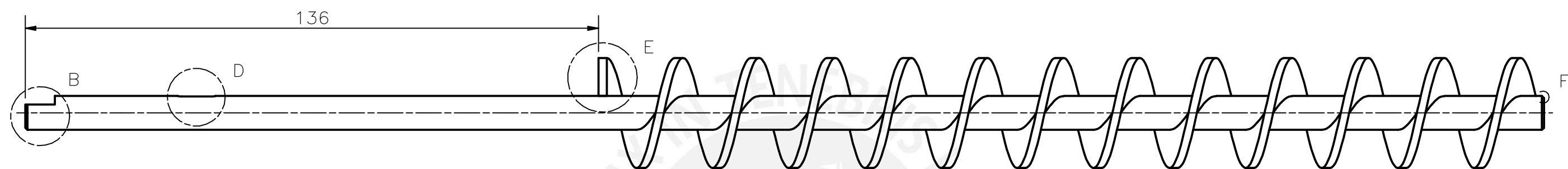
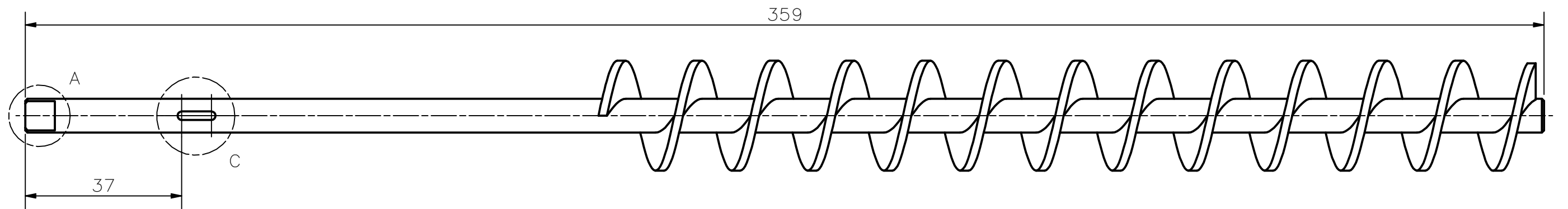
DETALLE E  
ESCALA 2 : 1



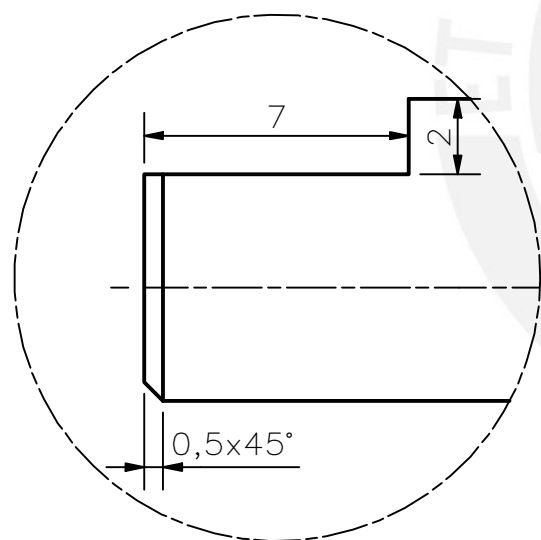
DETALLE C  
ESCALA 2 : 1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A276
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	<b>EJE ENCODER ESCAMAS</b>	<b>1:1</b>
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD11 – A4

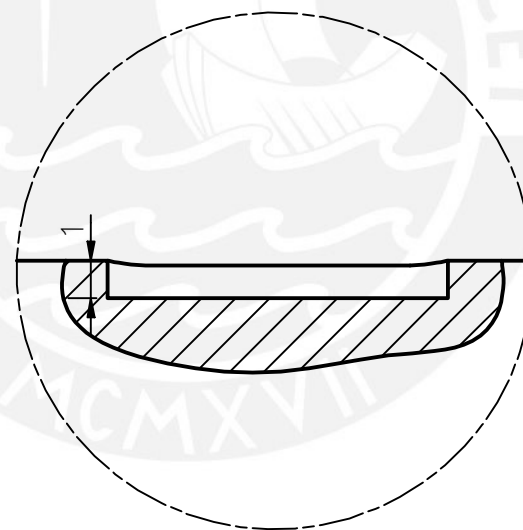
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



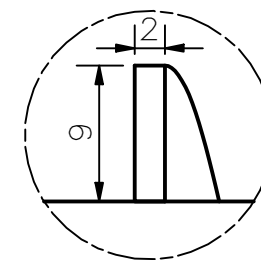
DETALLE A  
ESCALA 5 : 1



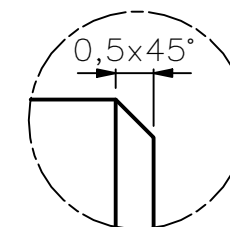
DETALLE B  
ESCALA 5 : 1



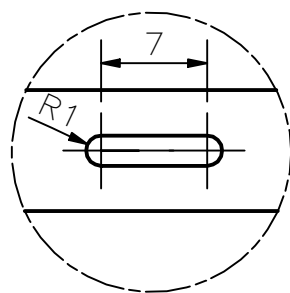
DETALLE D  
ESCALA 5 : 1



DETALLE E  
ESCALA 2 : 1



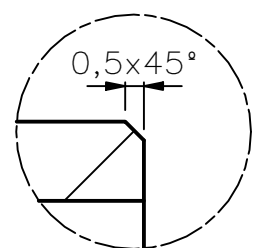
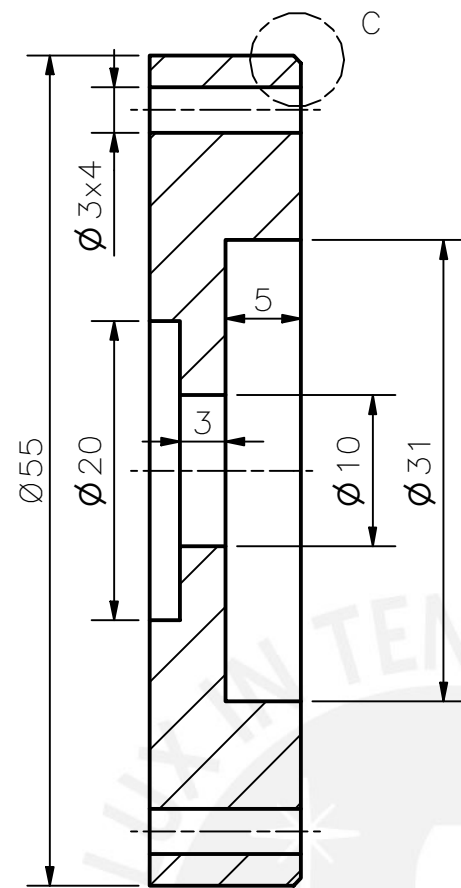
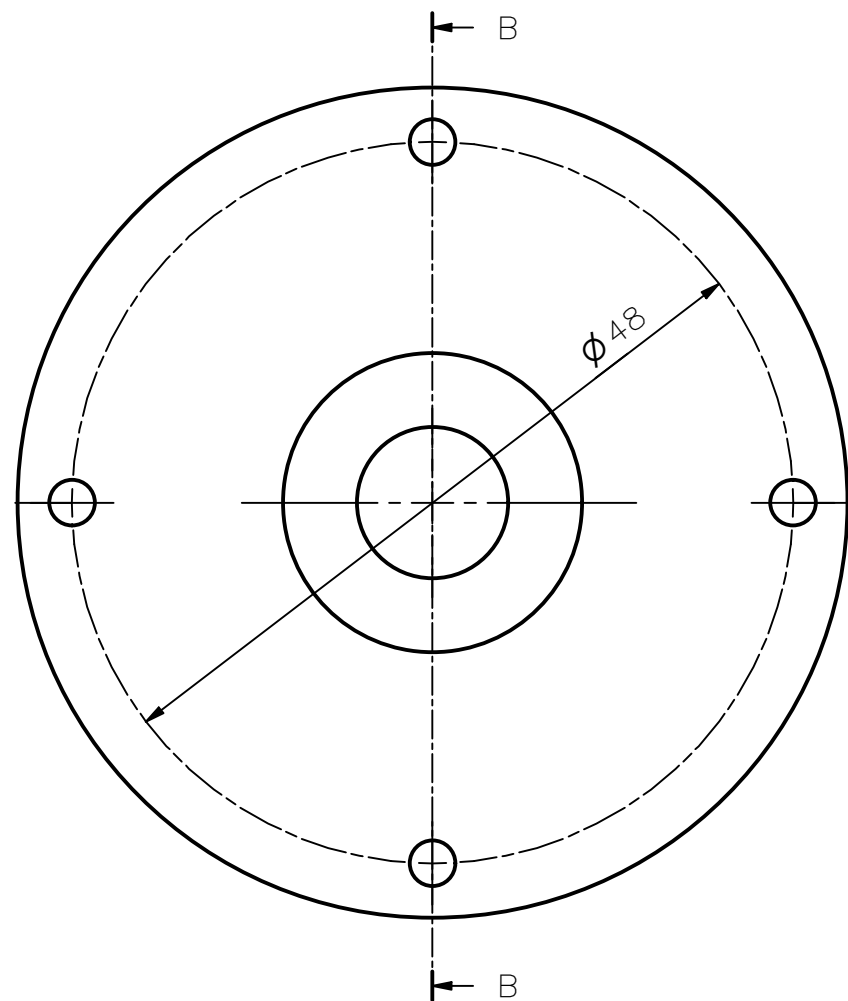
DETALLE F  
ESCALA 10 : 1



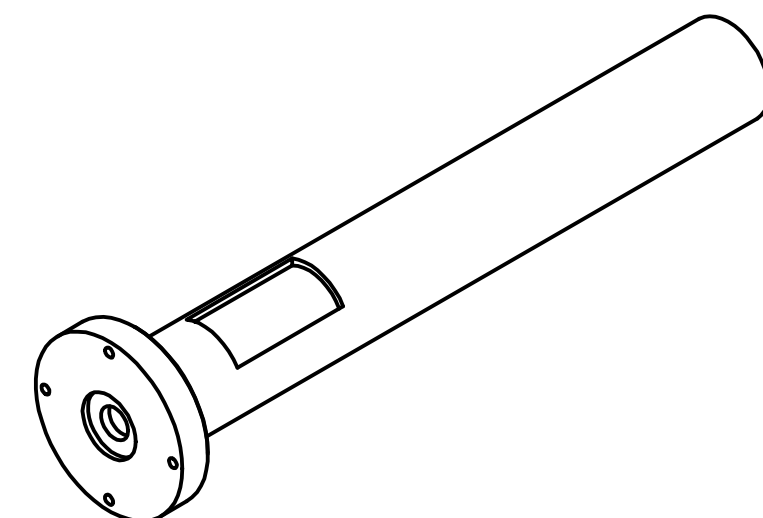
DETALLE C  
ESCALA 2 : 1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A276
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO <b>TORNILLO MASTERBATCH</b>	ESCALA 1:1
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD12 – A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

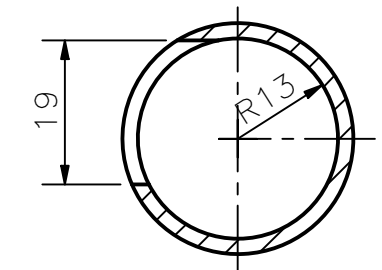
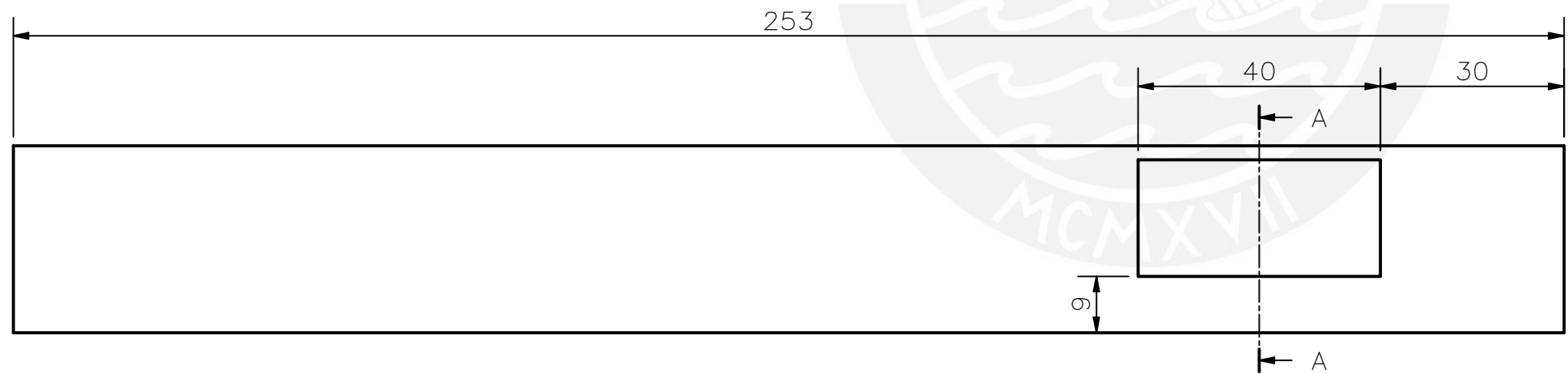


DETALLE C  
ESCALA 5 : 1



ITEM: TAPA CILINDRO MASTERBATCH  
CANTIDAD: 1  
MATERIAL: ASTM A 105  
ESCALA: 2:1

CORTE B-B

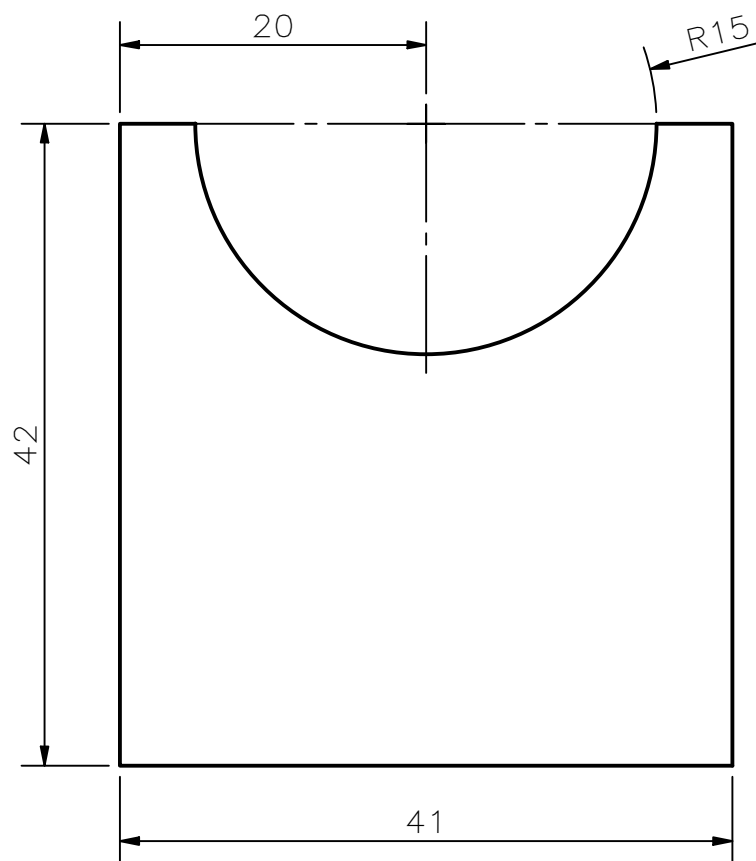


CORTE A-A

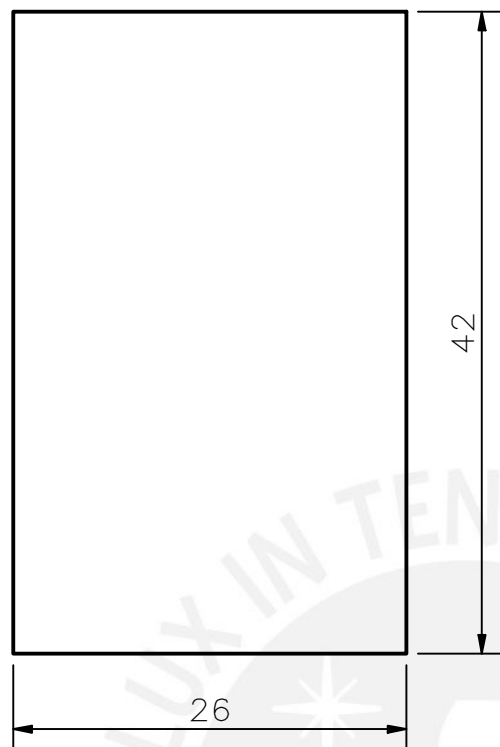
ITEM: CILINDRO MASTERBATCH  
CANTIDAD: 1  
MATERIAL: ASTM A312  
ESCALA: 1:1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	<b>CILINDRO Y TAPA MASTERBATCH</b>	
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD13 – A3

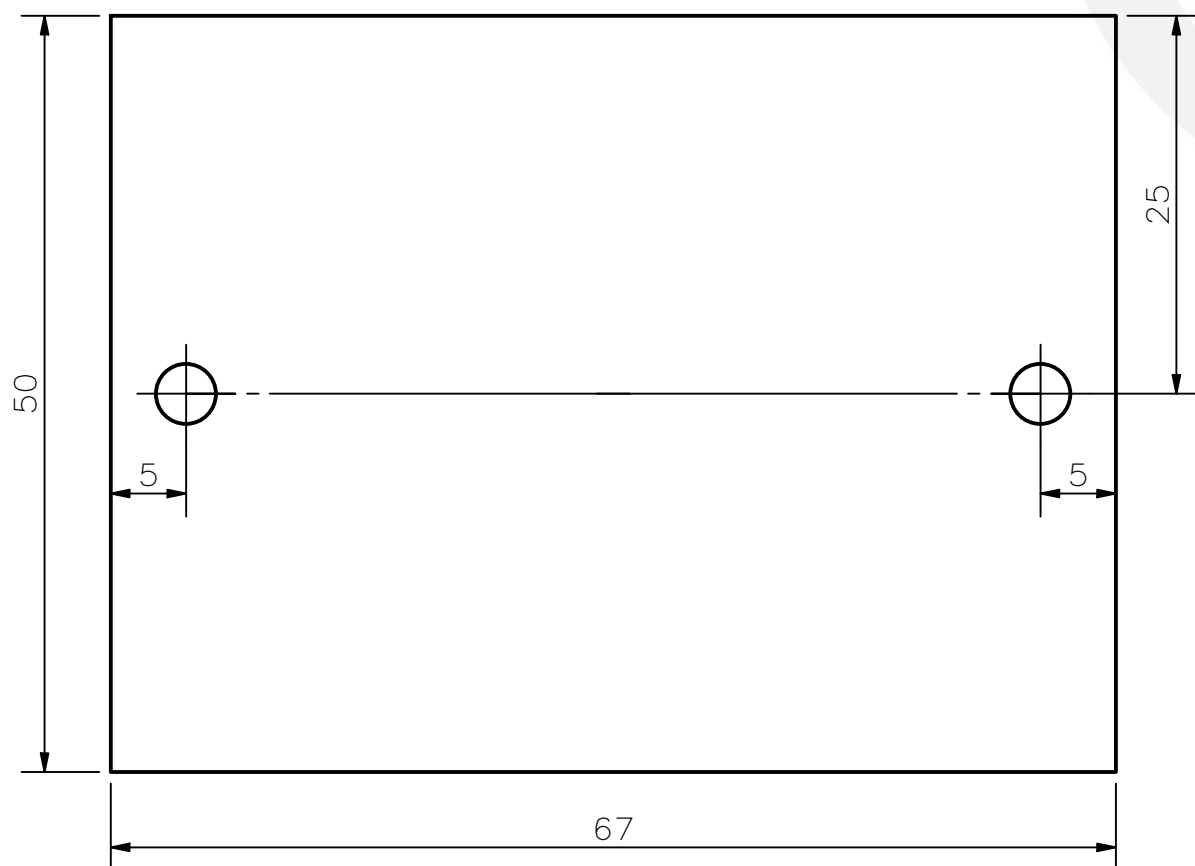
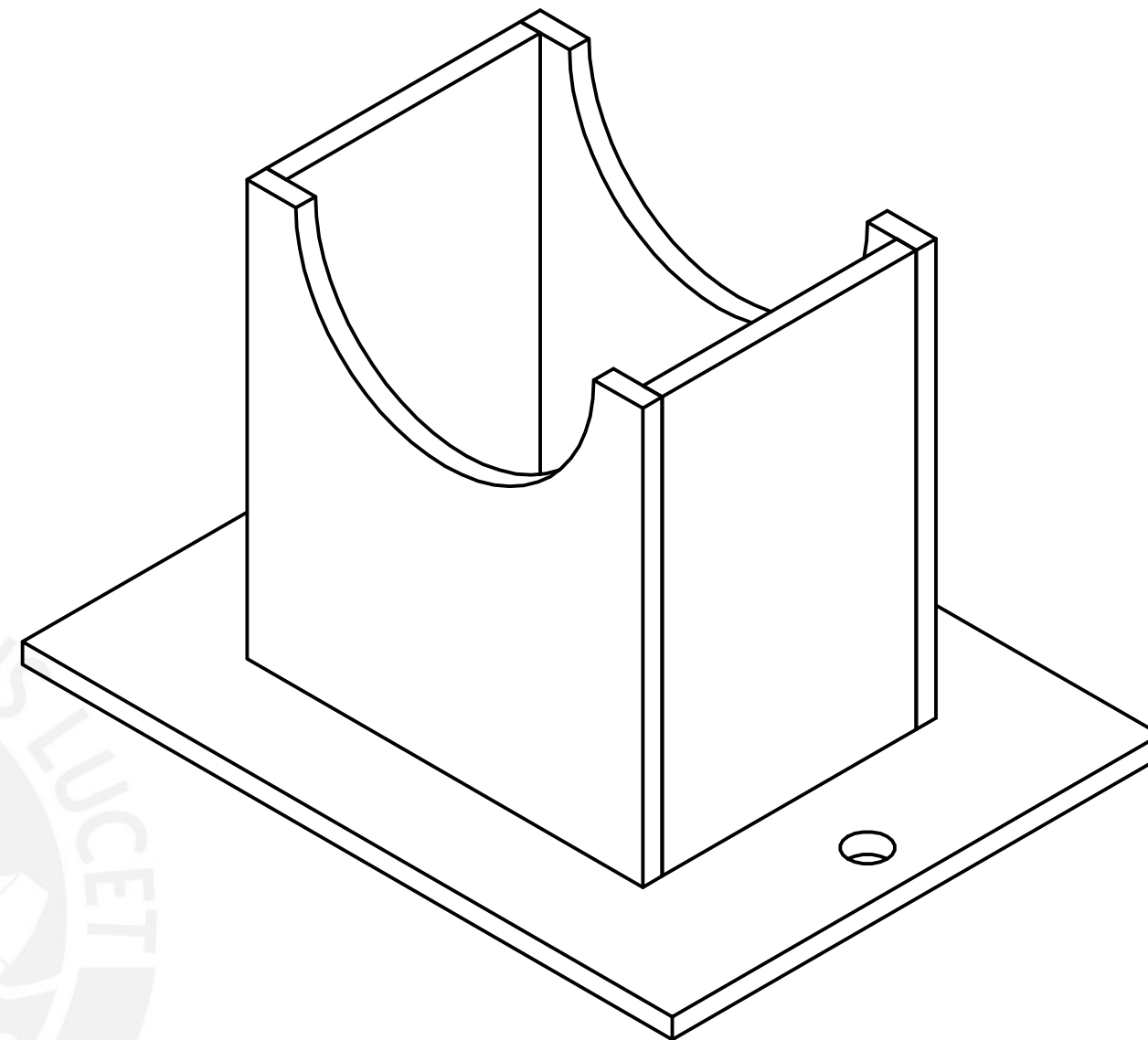
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



ITEM: SOPORTE 1 MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 2:1  
 ESPESOR: 2 mm

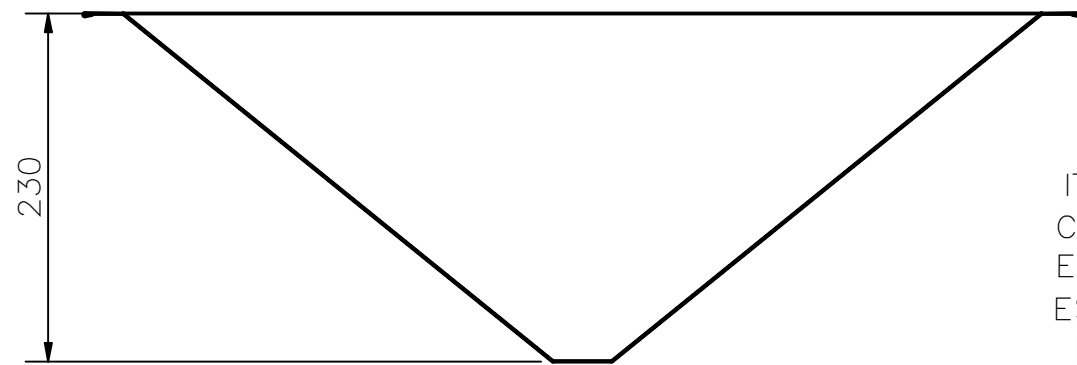
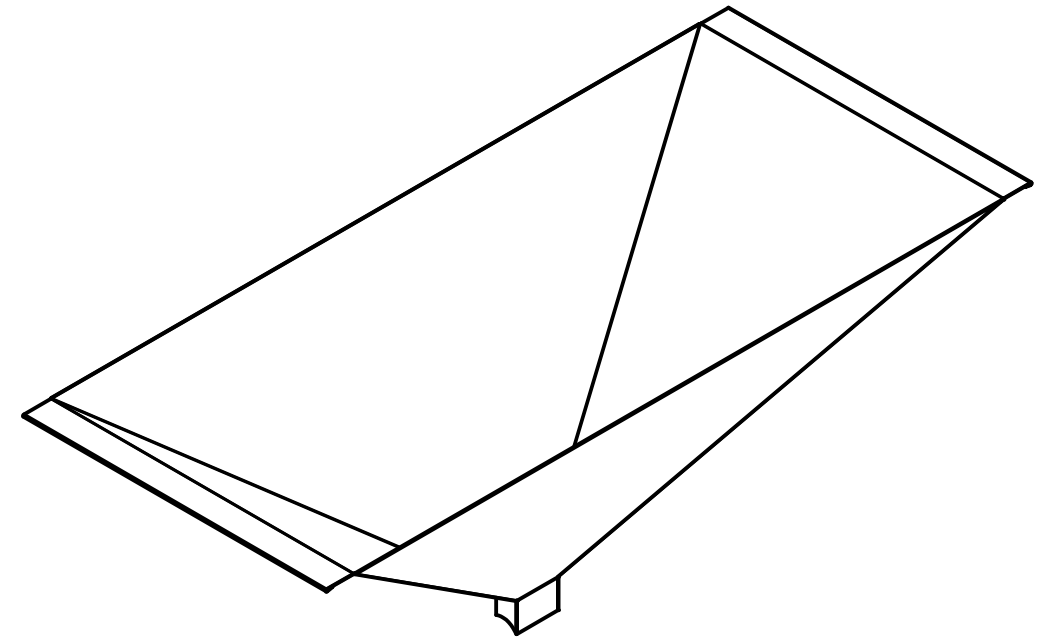
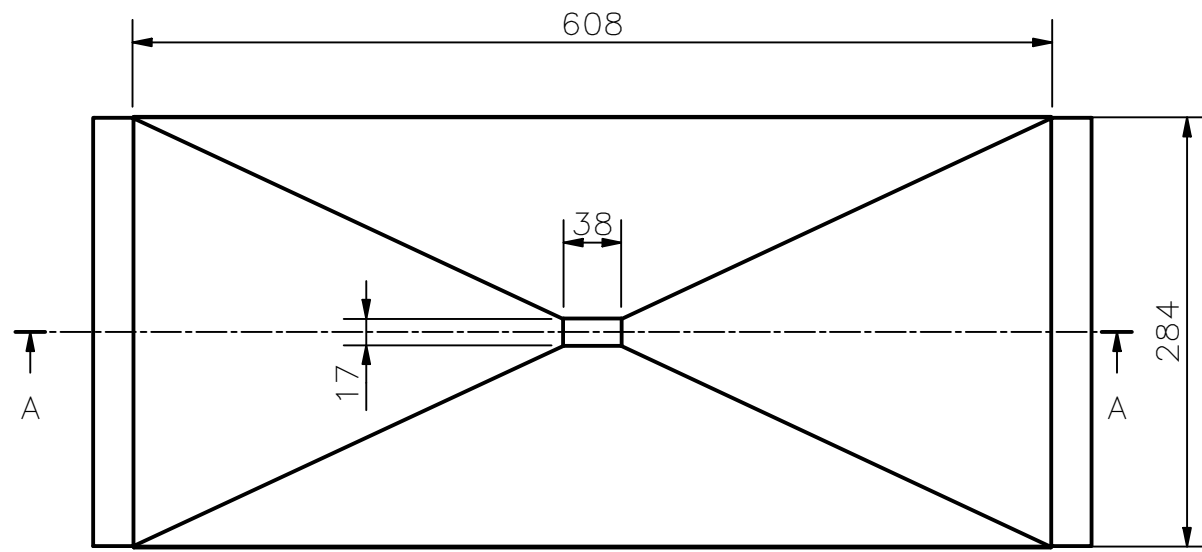


ITEM: SOPORTE 2 MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 2:1  
 ESPESOR: 2 mm



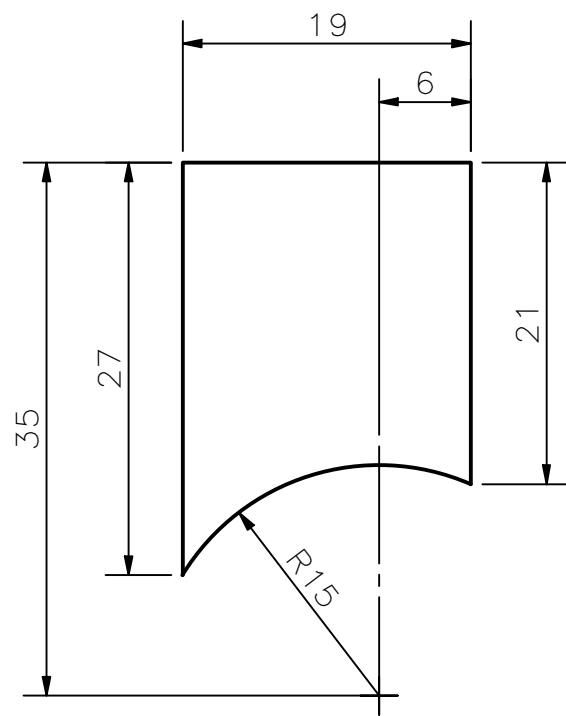
ITEM: BASE SOPORTE MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 2:1  
 ESPESOR: 2 mm

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	SOPORTE CILINDRO MASTERBATCH	
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD14 – A3

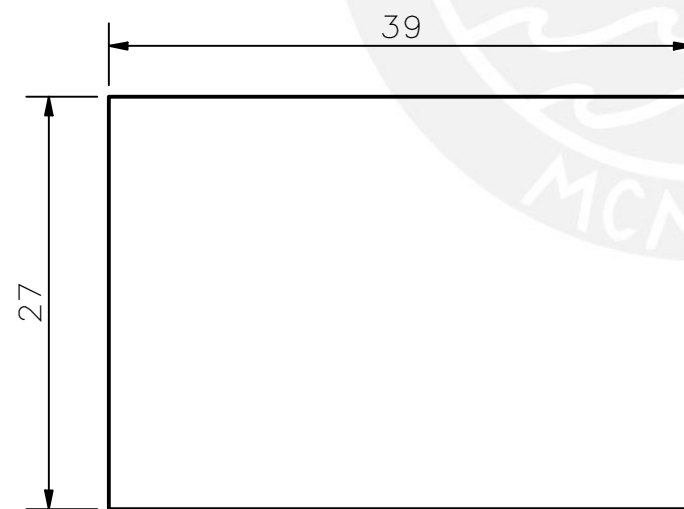


CORTE A-A

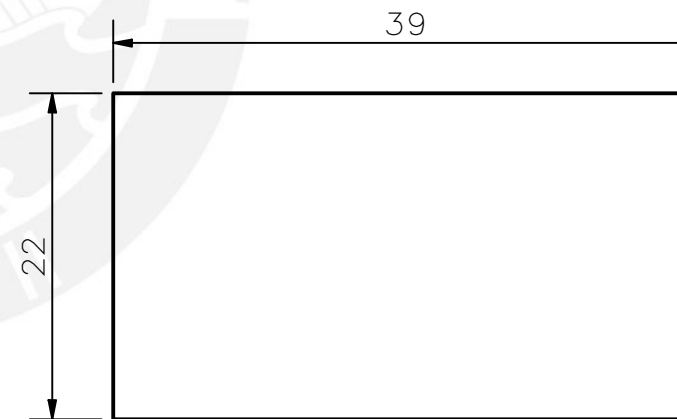
ITEM: TOLVA MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:5  
 ESPESOR: 0.5 mm



ITEM: GARGANTA 2 MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 2:1  
 ESPESOR: 0.5 mm



ITEM: GARGANTA 3 MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 2:1  
 ESPESOR: 0.5 mm

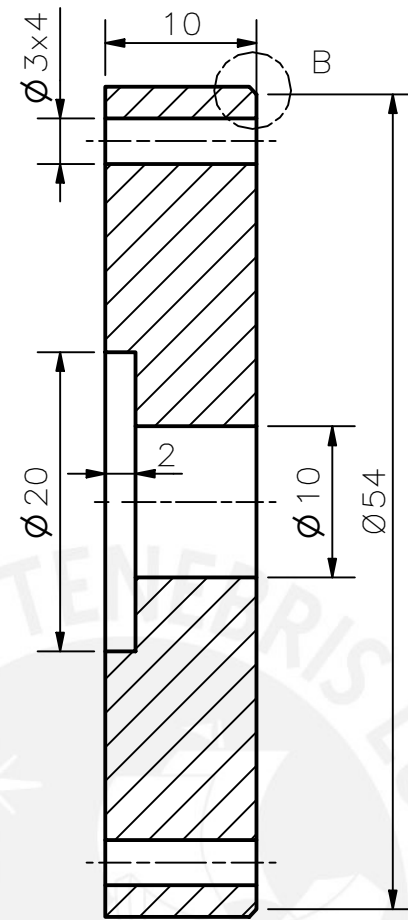
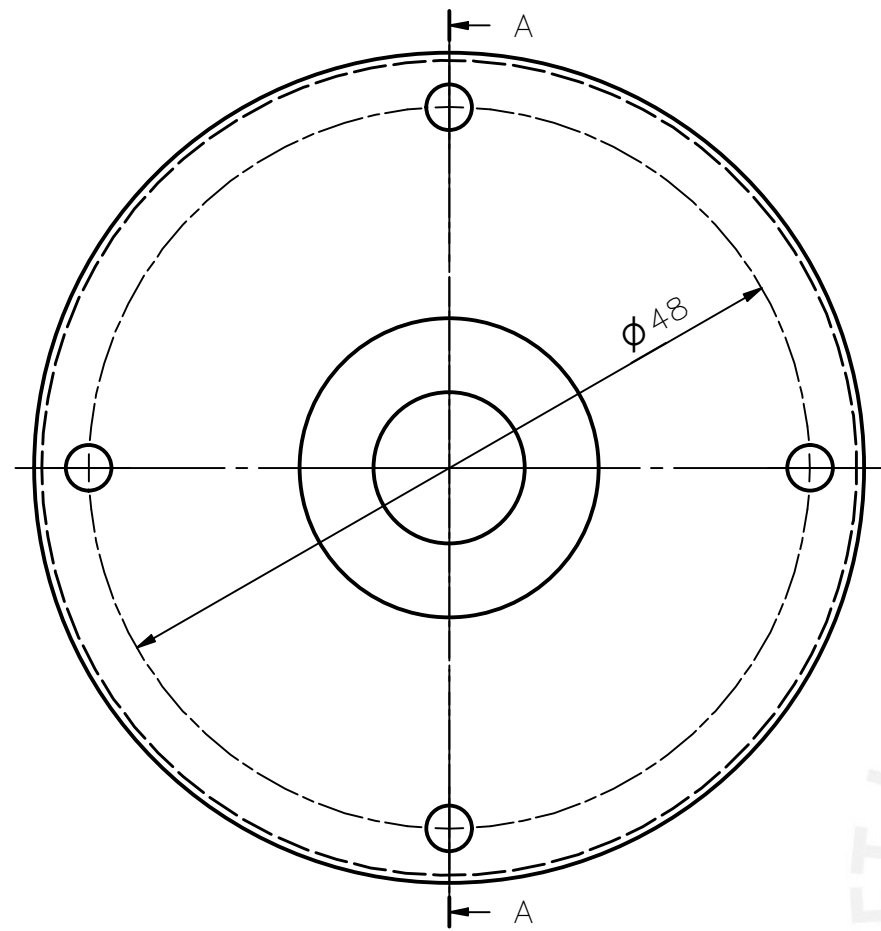


ITEM: GARGANTA 1 MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 2:1  
 ESPESOR: 0.5 mm

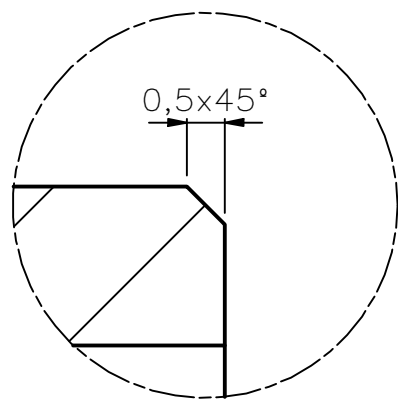
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		INOX 304
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	TOLVA Y GARGANTA MASTERBATCH	
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD15 – A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA





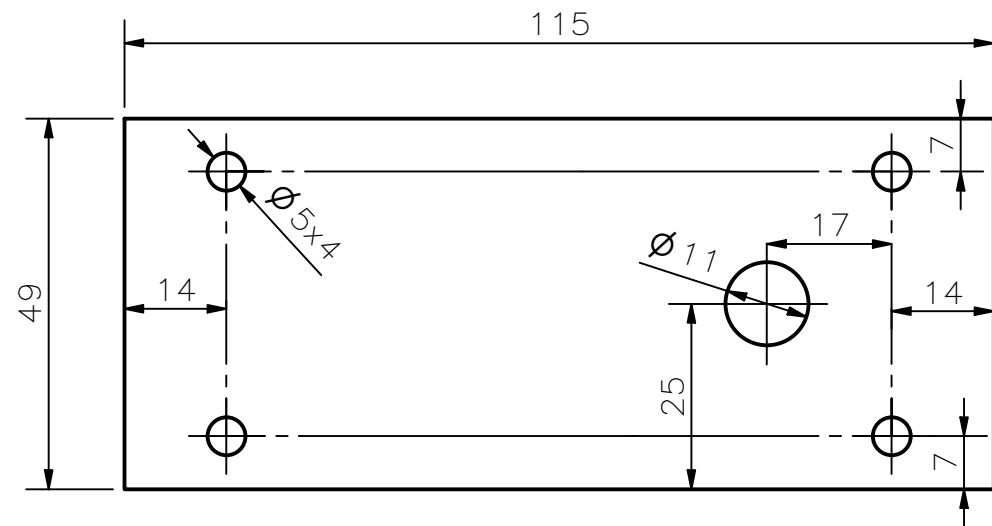
CORTE A-A



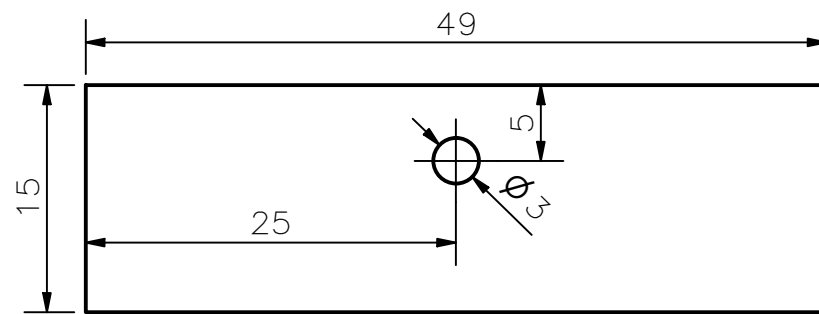
DETALLE B  
ESCALA 10 : 1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A 105
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	<b>TAPA RODAMIENTOS</b> <b>MASTERBATCH</b>	2:1
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD17 – A3

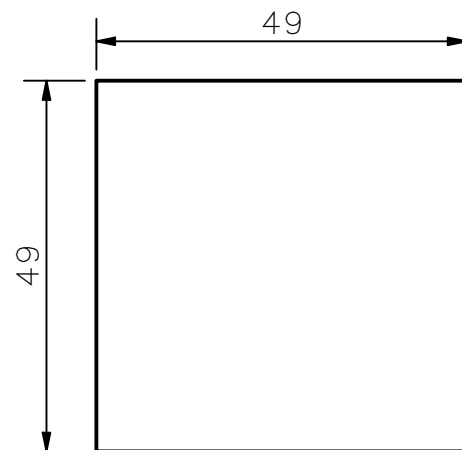
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



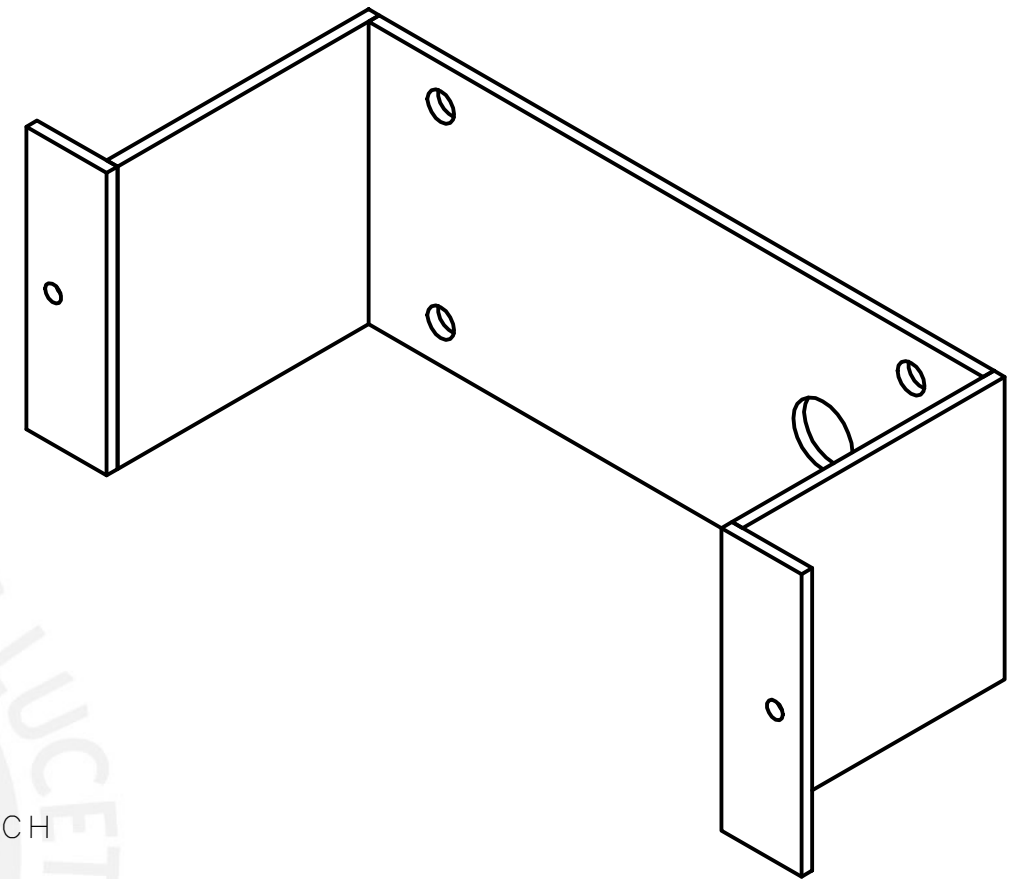
ITEM: SOPORTE 1 MOTOR MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 2 mm



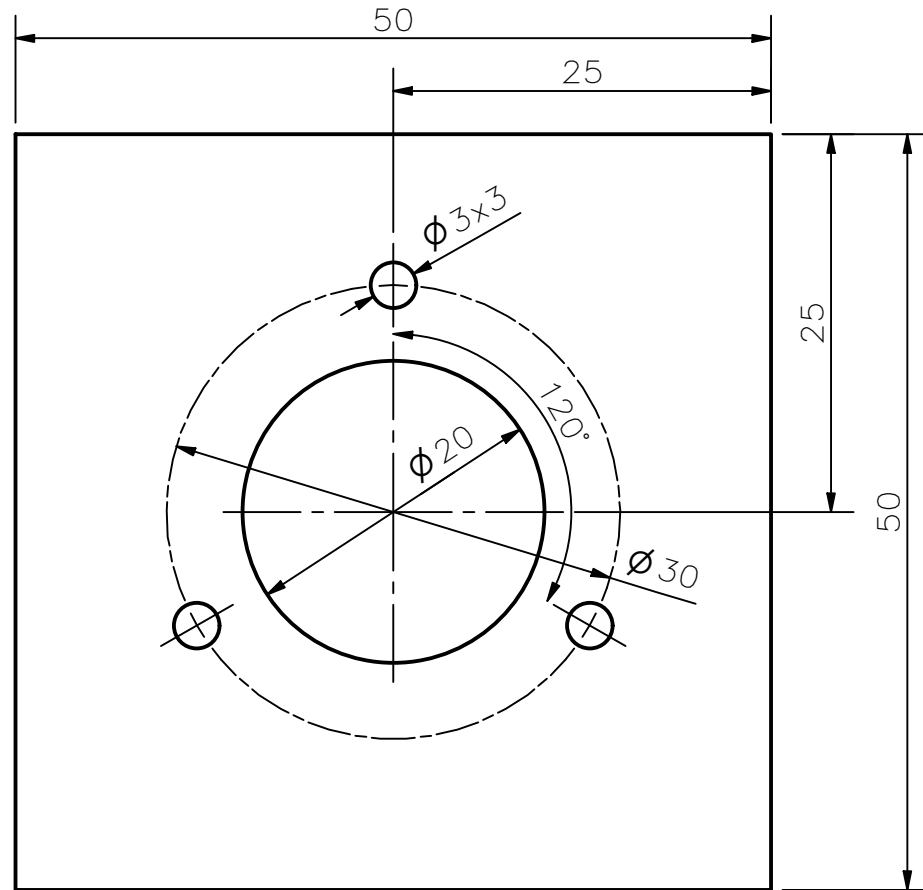
ITEM: SOPORTE 3 MOTOR MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 2:1  
 ESPESOR: 2 mm



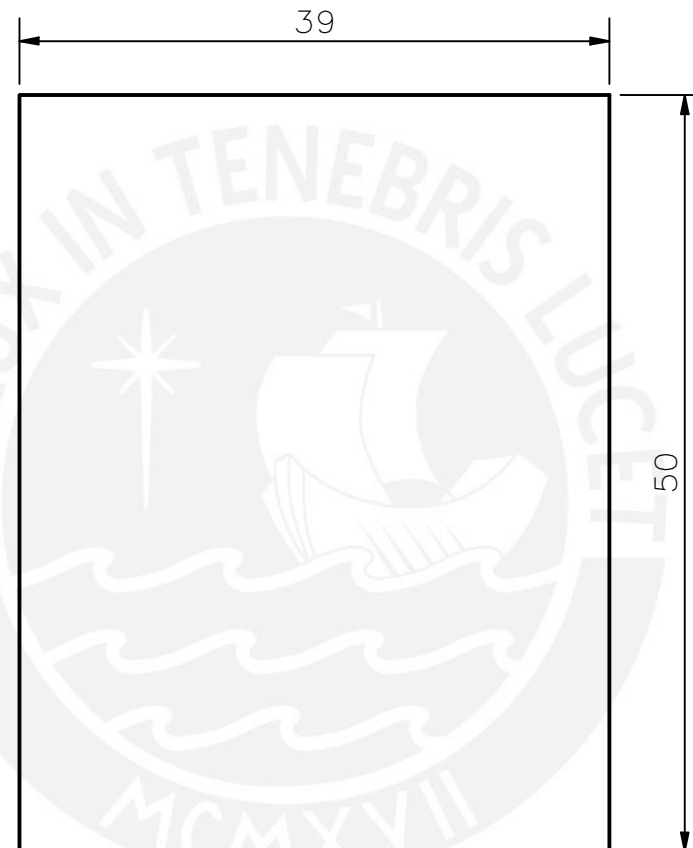
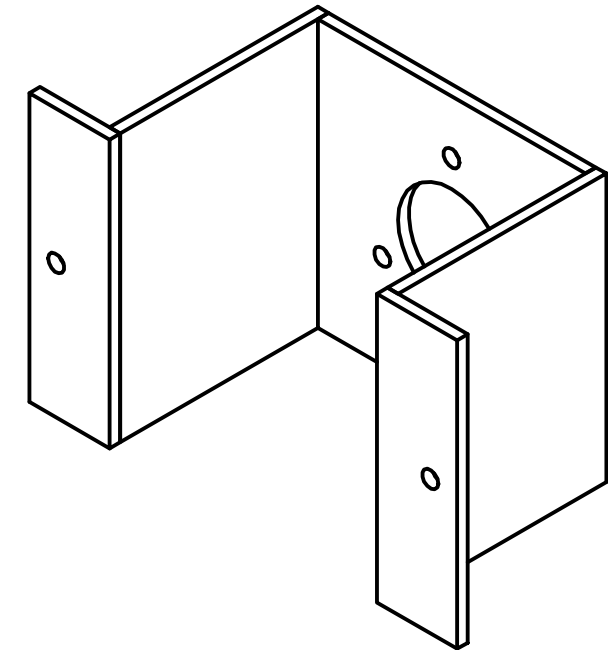
ITEM: SOPORTE 2 MOTOR MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 2 mm



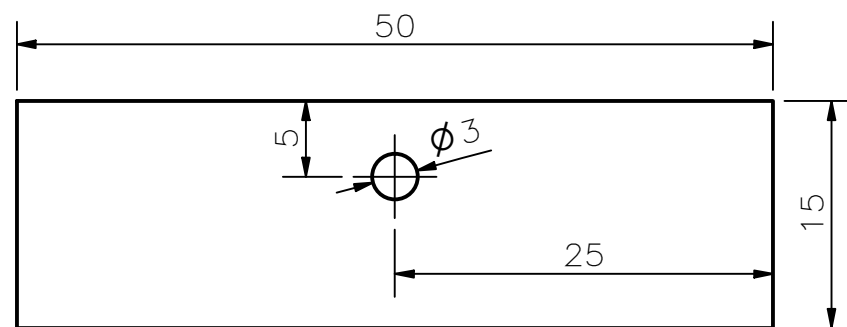
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO <b>SOPORTE MOTOR MASTERBATCH</b>	ESCALA
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD18 – A3



ITEM: SOPORTE 1 ENCODER MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 2:1  
 ESPESOR: 2 mm



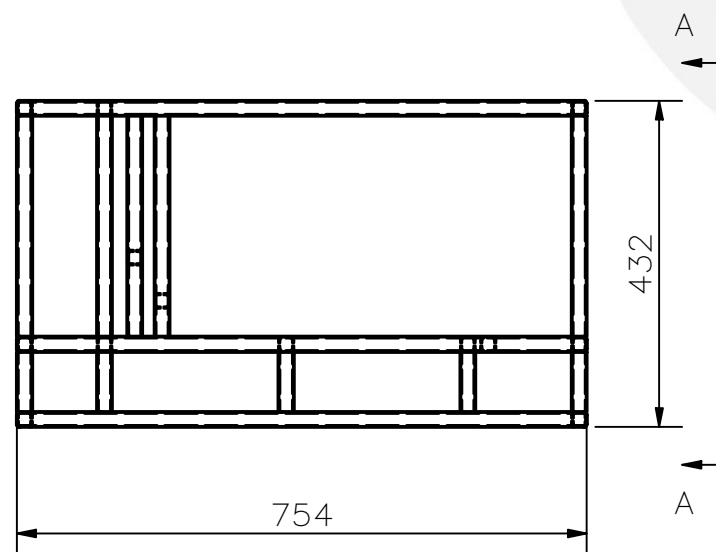
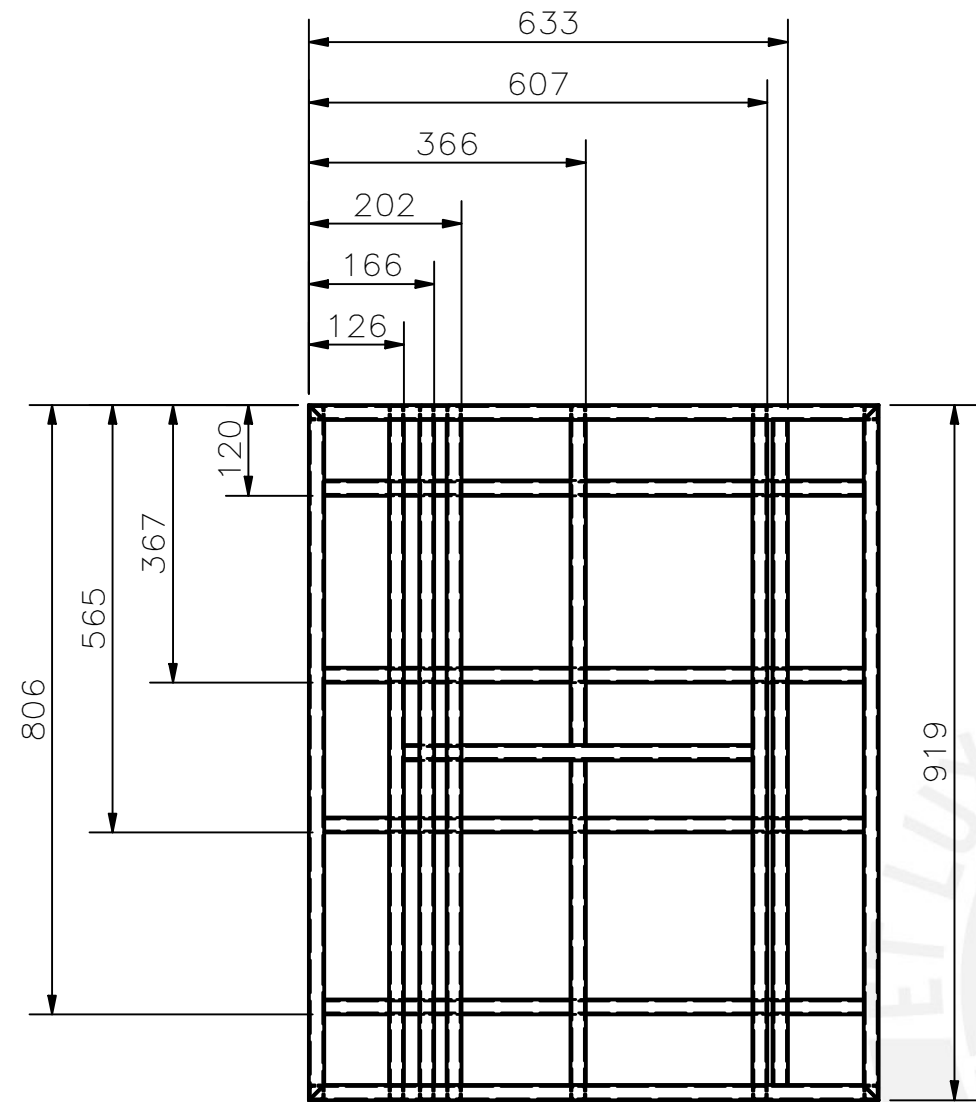
ITEM: SOPORTE 2 ENCODER MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 2:1  
 ESPESOR: 2 mm




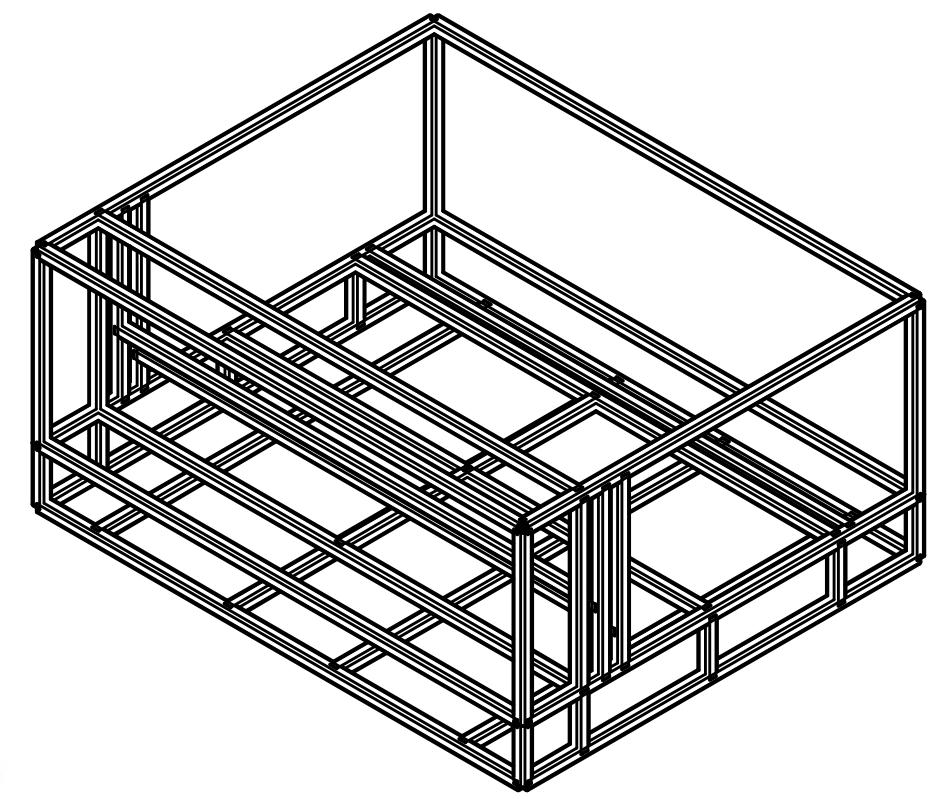
ITEM: SOPORTE 3 ENCODER MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 2:1  
 ESPESOR: 2 mm

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	SOPORTE ENCODER MASTERBATCH	
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD19 – A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



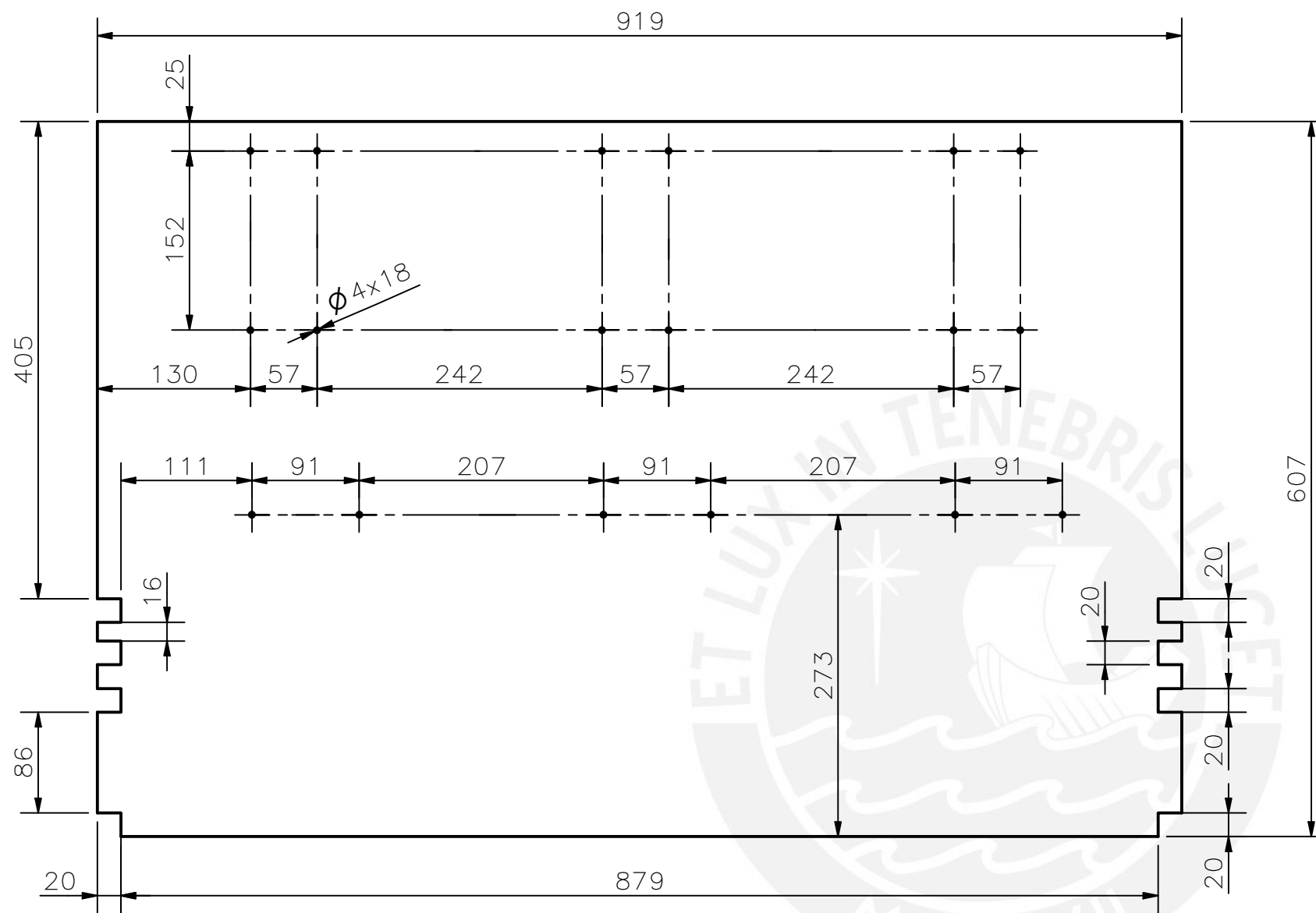
PERFIL: CUADRADO HUECO  20x20x2



VISTA A-A

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

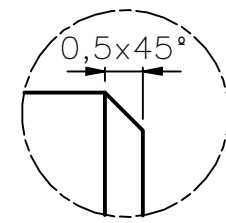
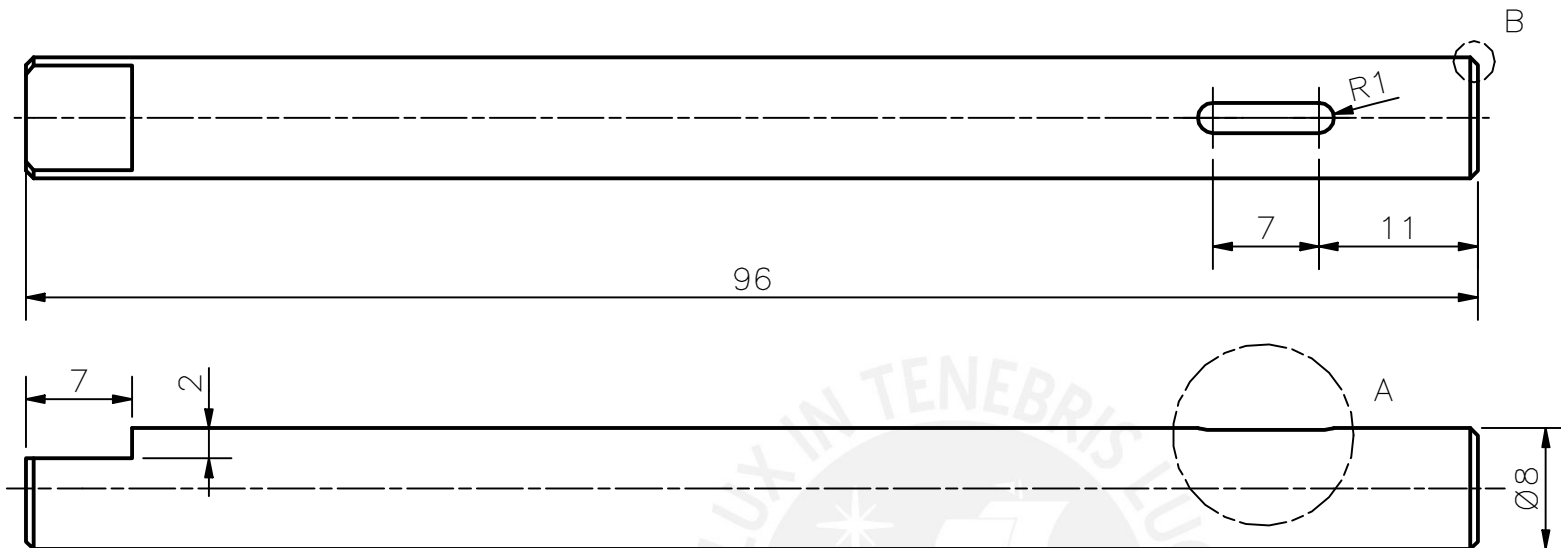
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO <b>ESTRUCTURA SISTEMA MASTERBATCH</b>	ESCALA 1:5
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD20 – A3



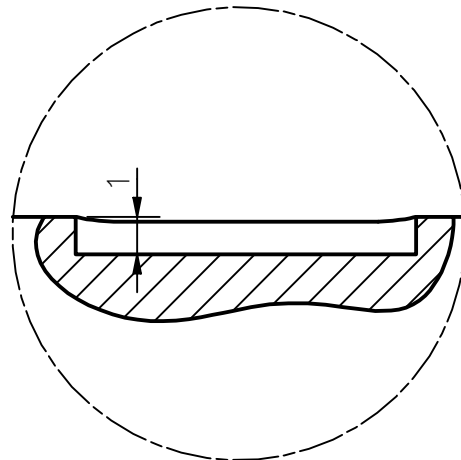
ESPESOR: 2 mm

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	<b>BASE SISTEMA MASTERBATCH</b>	1:5
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD21 – A3

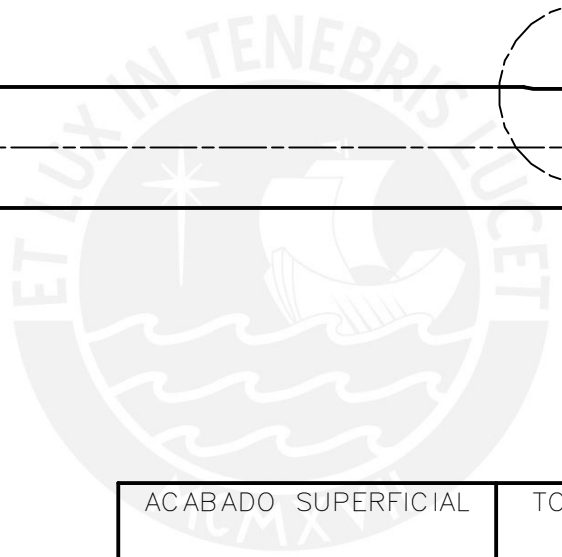
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



DETALLE B  
ESCALA 10 : 1

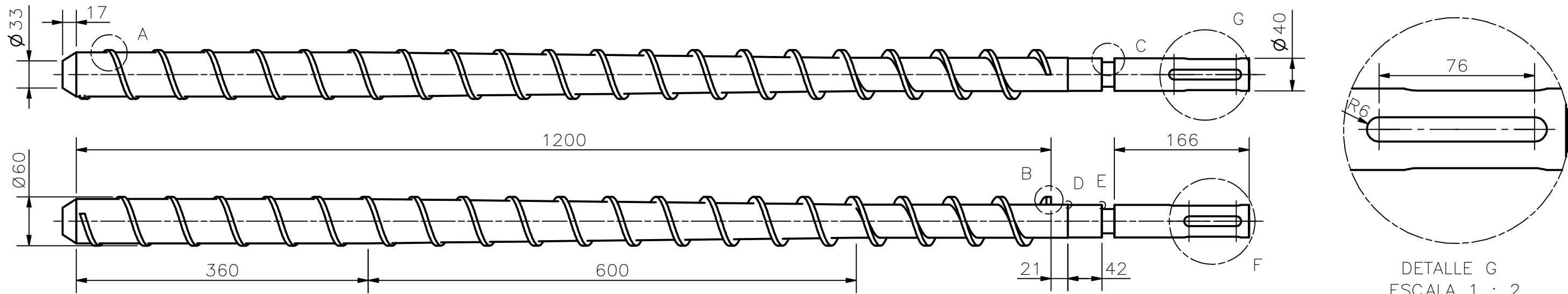


DETALLE A  
ESCALA 5 : 1

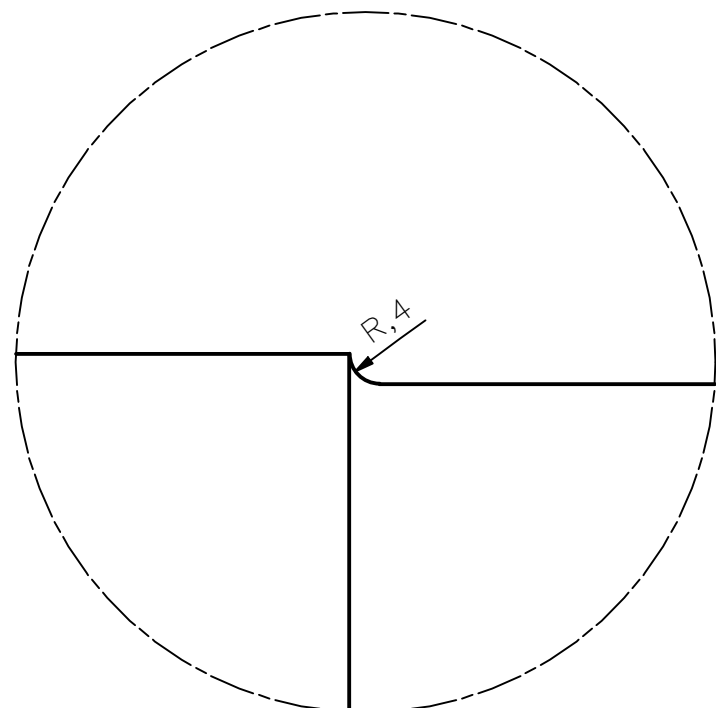


ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A276
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	<b>EJE ENCODER MASTERBATCH</b>	<b>2:1</b>
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD22 – A4

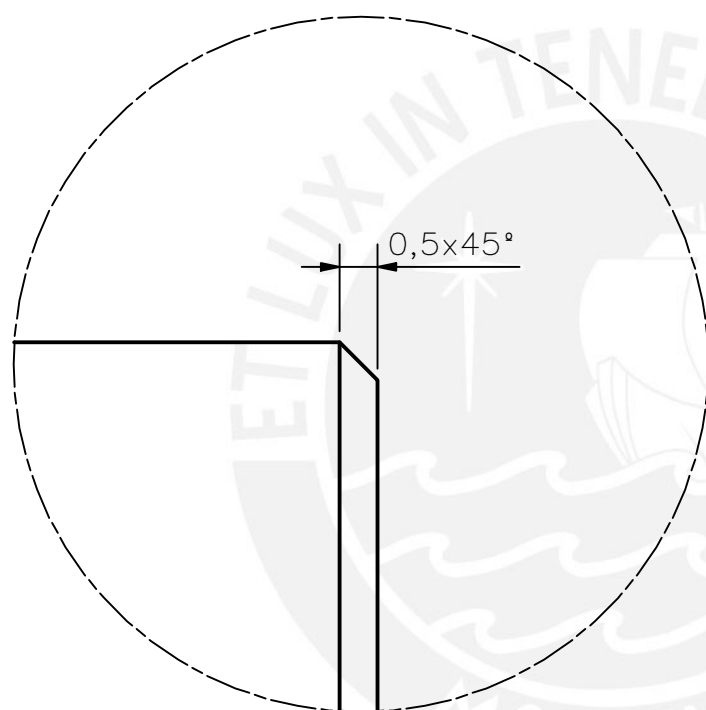
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



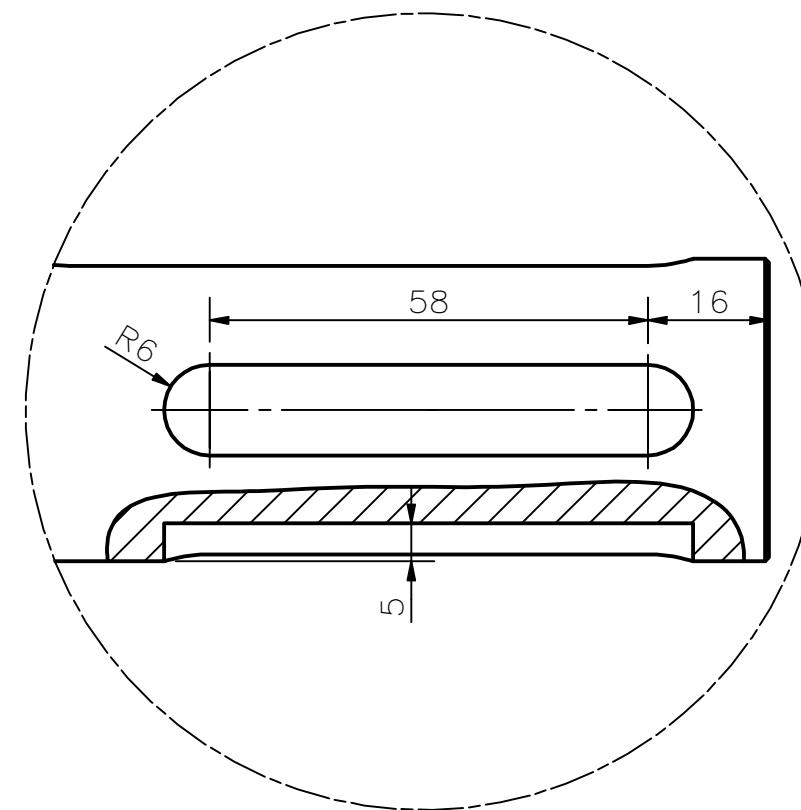
DETALLE G  
ESCALA 1 : 2



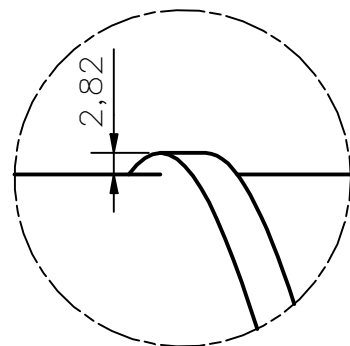
DETALLE D  
ESCALA 10 : 1



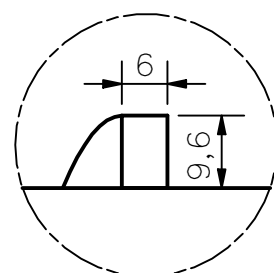
DETALLE E  
ESCALA 10 : 1



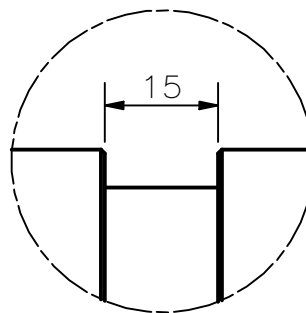
DETALLE F  
ESCALA 1 : 1



DETALLE A  
ESCALA 1 : 1



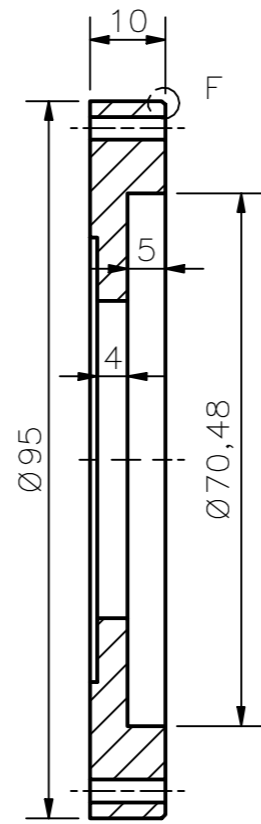
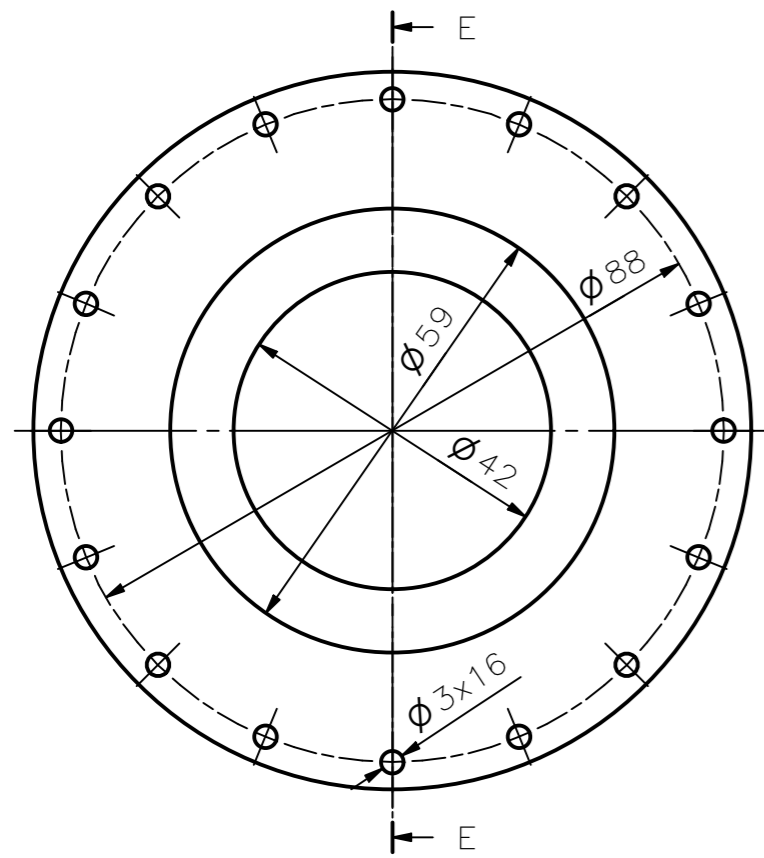
DETALLE B  
ESCALA 1 : 1



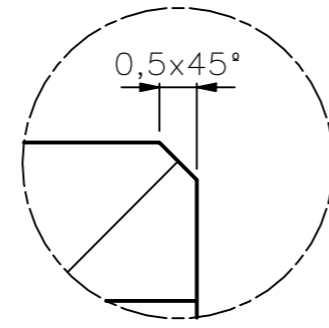
DETALLE C  
ESCALA 1 : 1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A276
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	HUSILLO EXTRUSOR	1:5
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD23 – A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

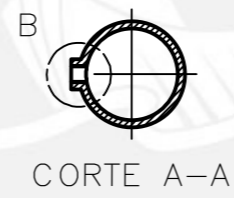
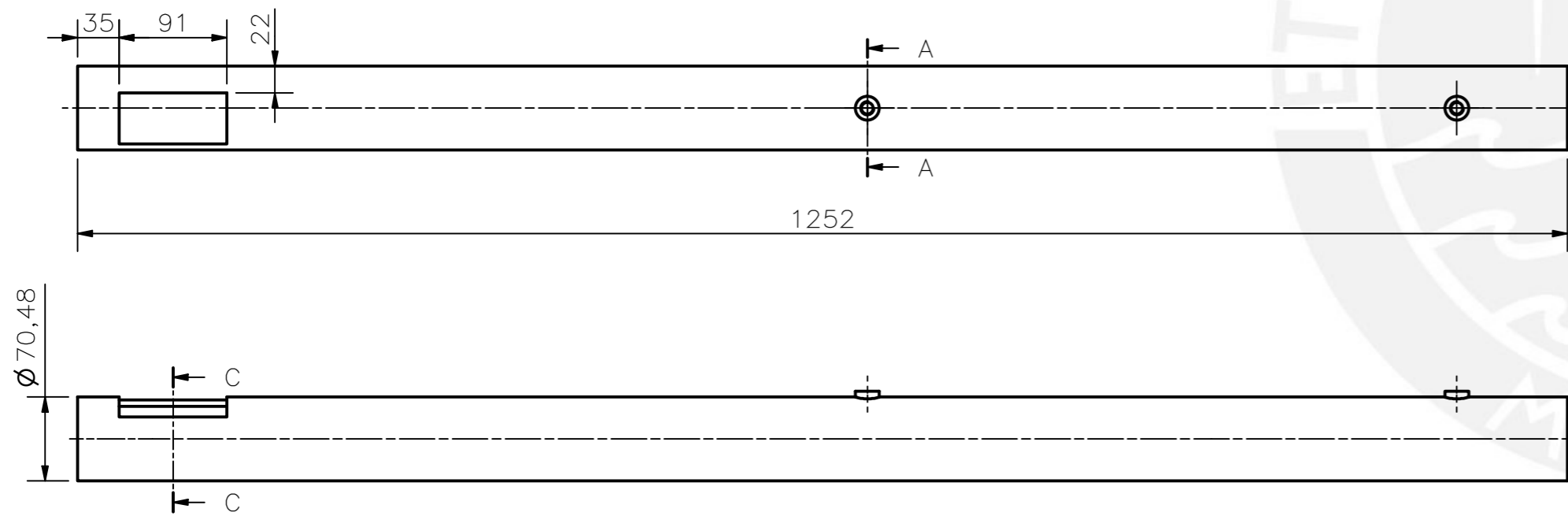
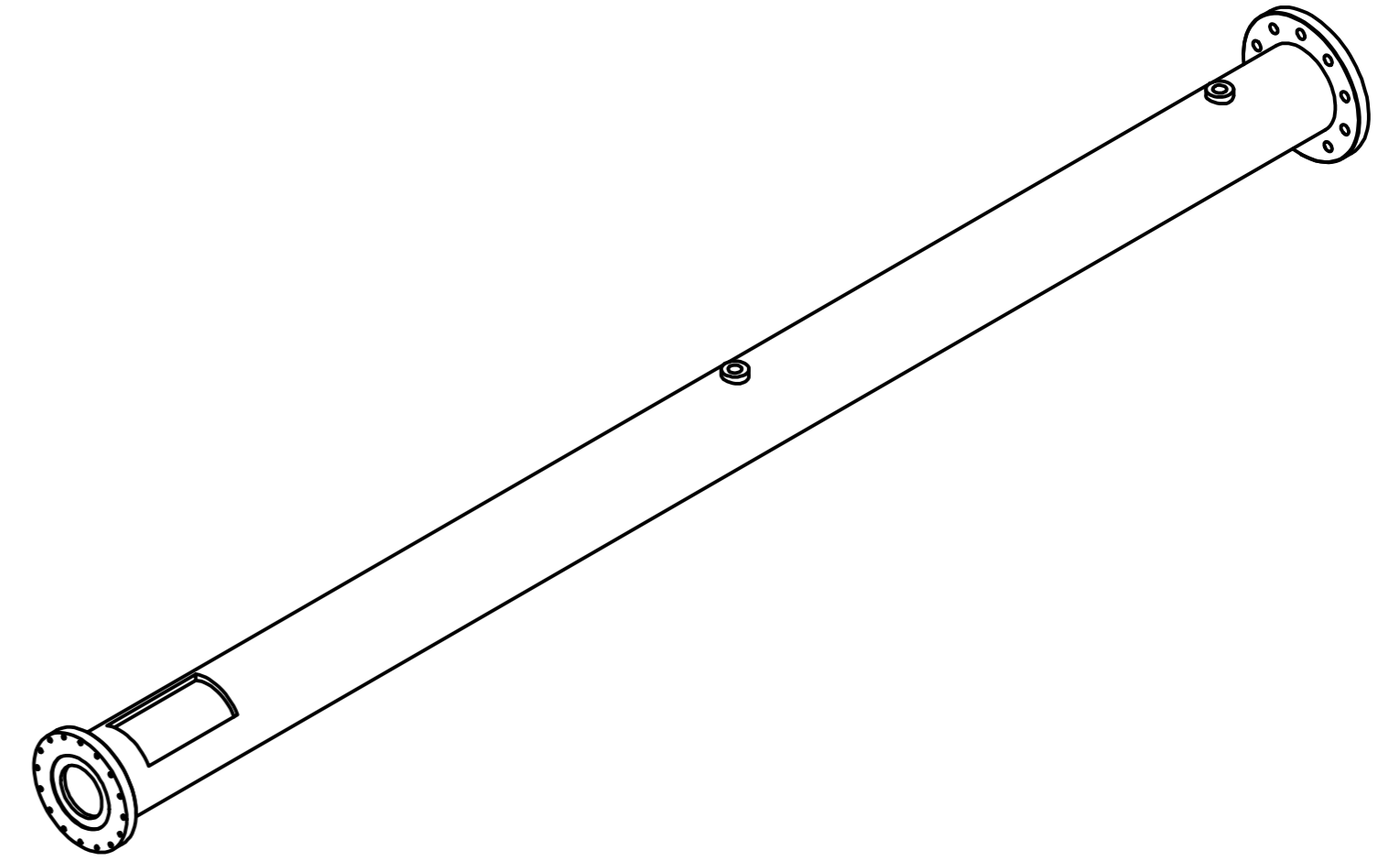


CORTE E-E

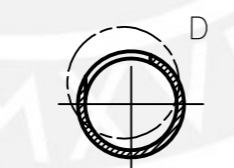


DETALLE F  
ESCALA 10 : 1

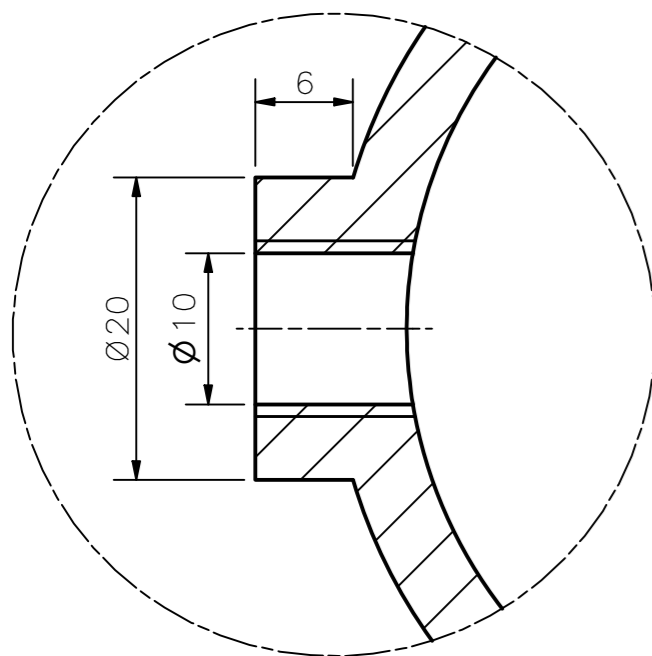
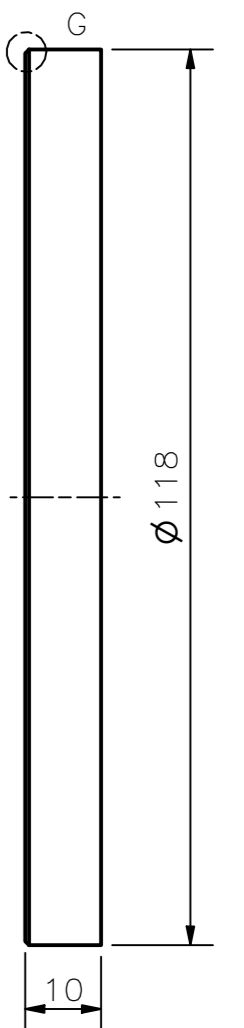
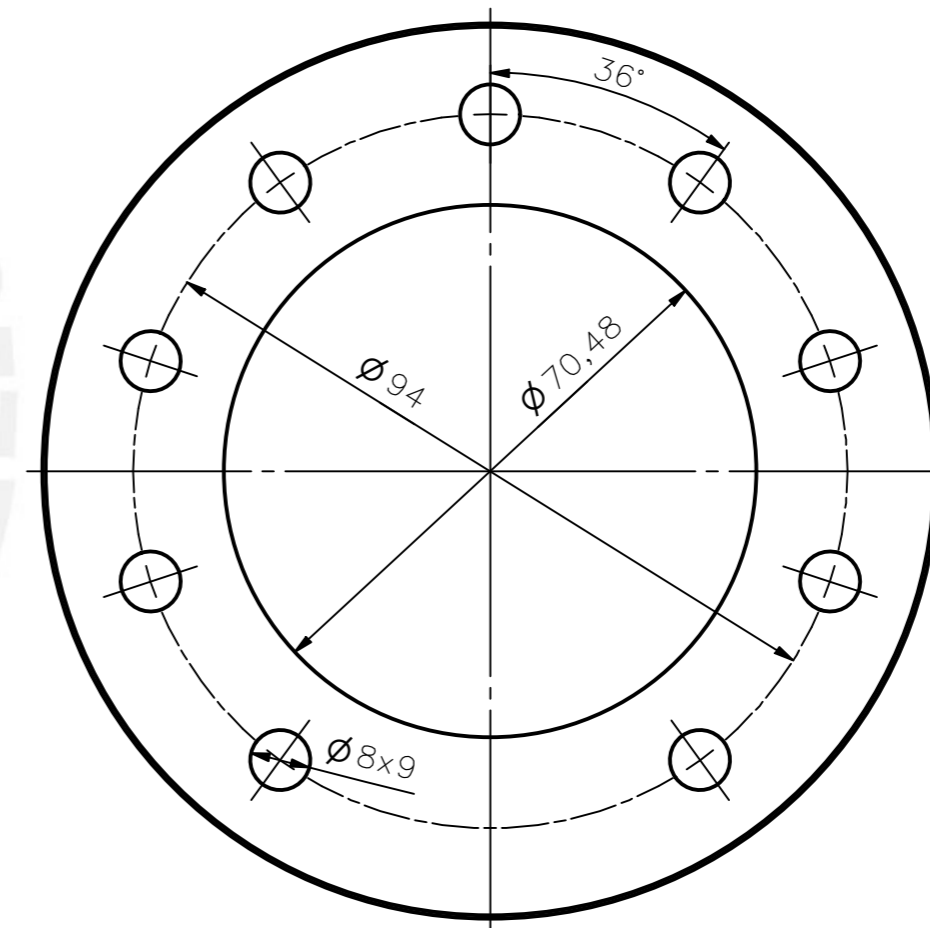
ITEM: TAPA CILINDRO FUNDICIÓN  
CANTIDAD: 1  
MATERIAL: ASTM A182 F61  
ESCALA: 1:1



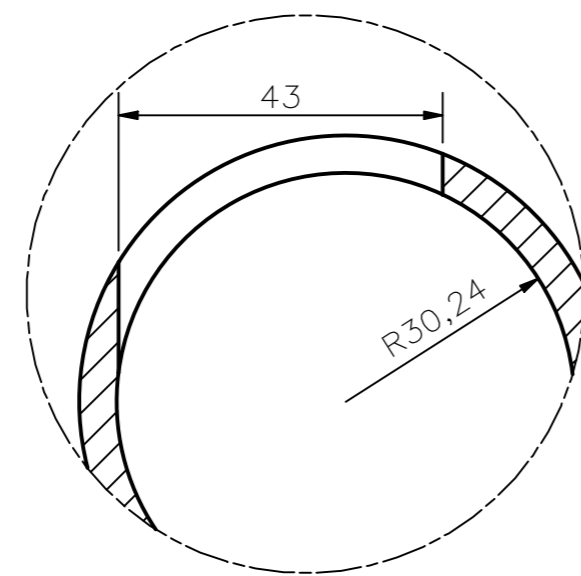
CORTE A-A



CORTE C-C

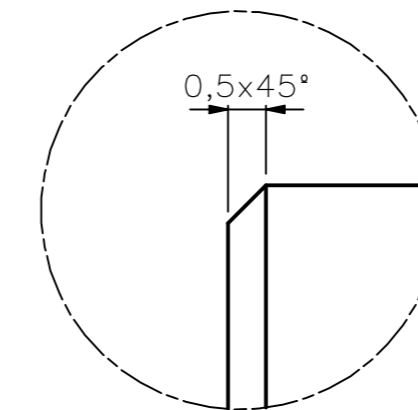


DETALLE B  
ESCALA 2 : 1



DETALLE D  
ESCALA 1 : 1

ITEM: CILINDRO FUNDICIÓN  
CANTIDAD: 1  
MATERIAL: ASTM A312  
ESCALA: 1:5

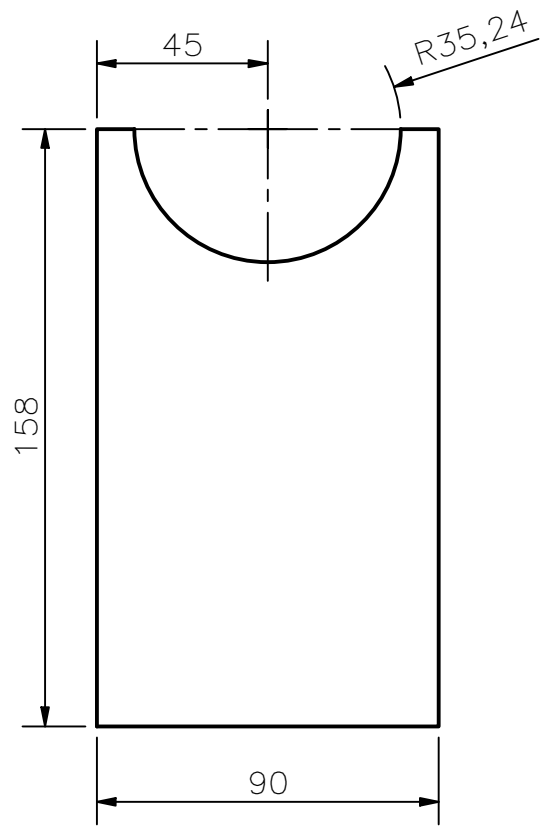


DETALLE G  
ESCALA 10 : 1

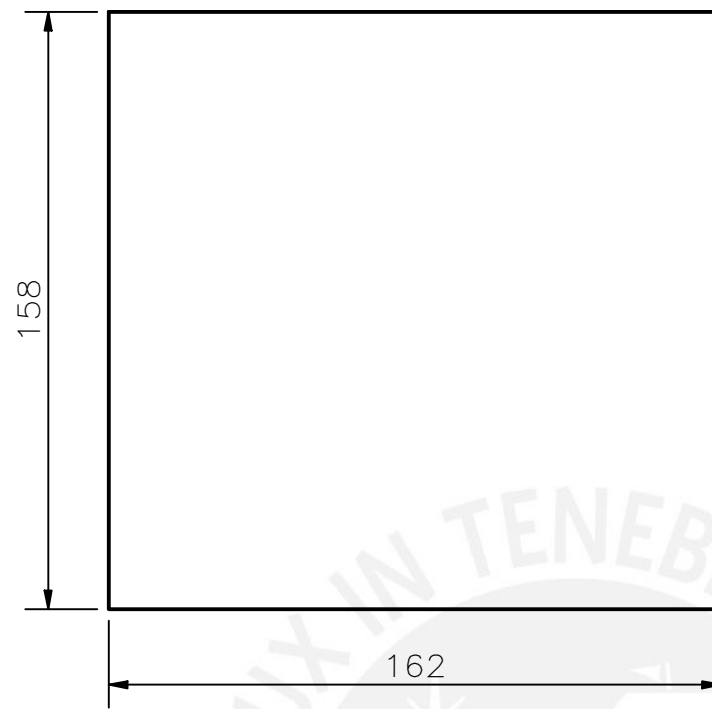
ITEM: UNIÓN CILINDRO FUNDICIÓN  
CANTIDAD: 1  
MATERIAL: ASTM A182 F61  
ESCALA: 1:1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
		CÁMARA DE FUNDICIÓN
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD24 - A2

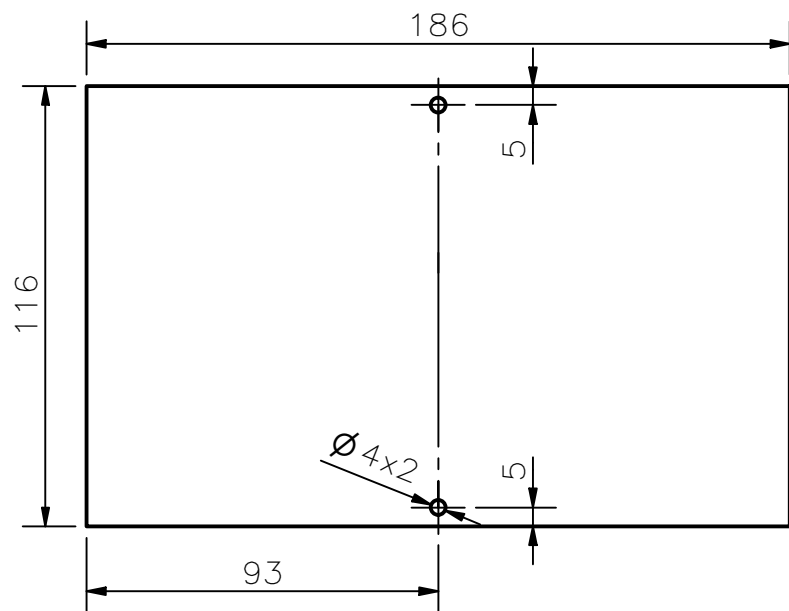
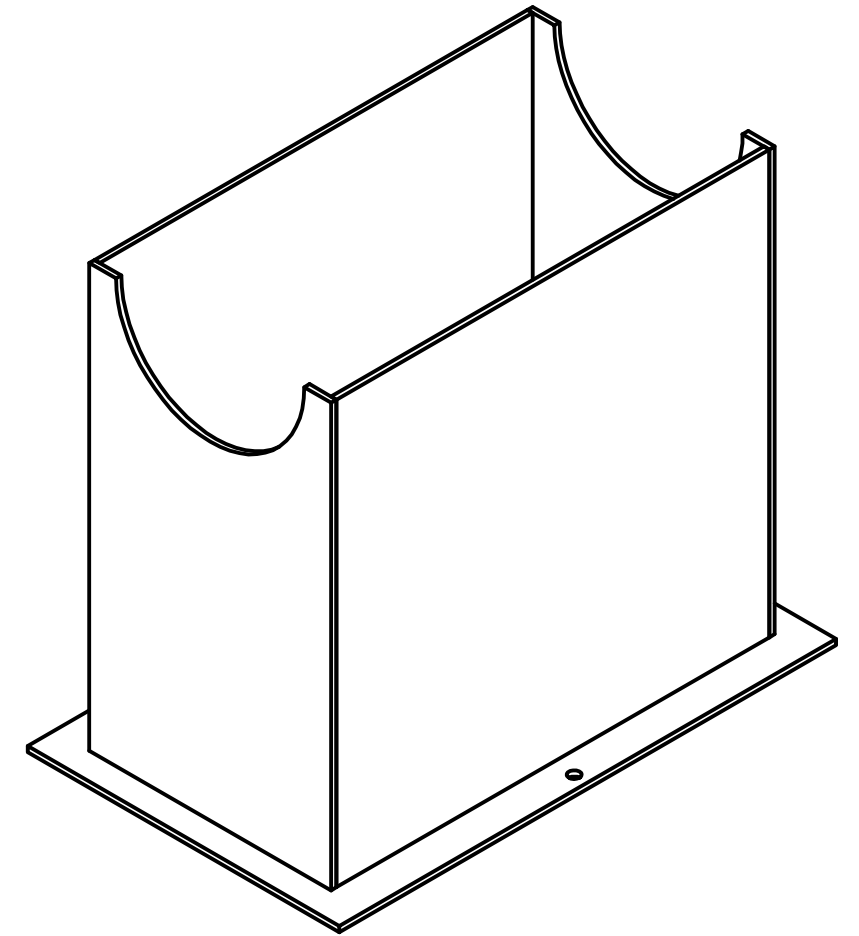
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ITEM: SOPORTE 1 FUNDICIÓN  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 1:2  
 ESPESOR: 2 mm



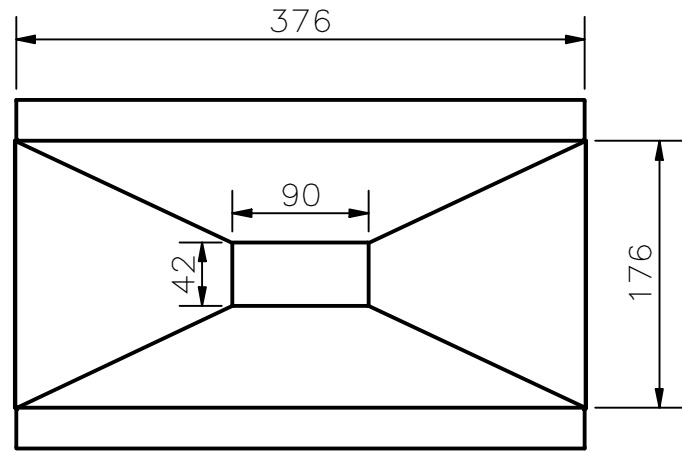
ITEM: SOPORTE 2 FUNDICIÓN  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 2:1  
 ESPESOR: 2 mm



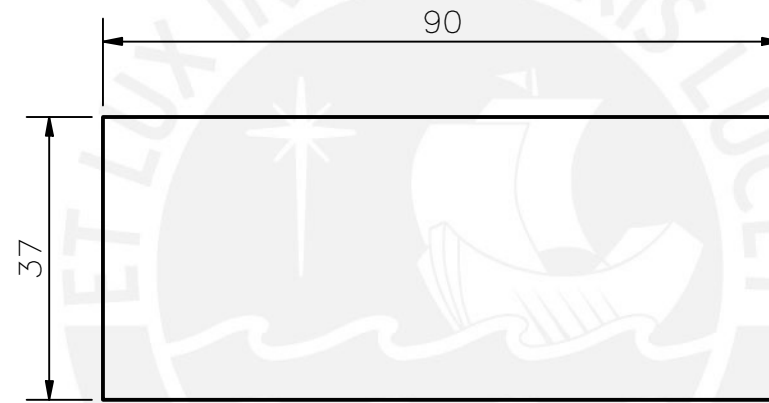
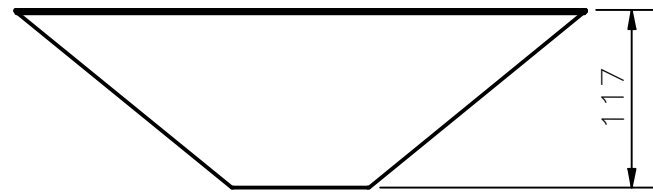
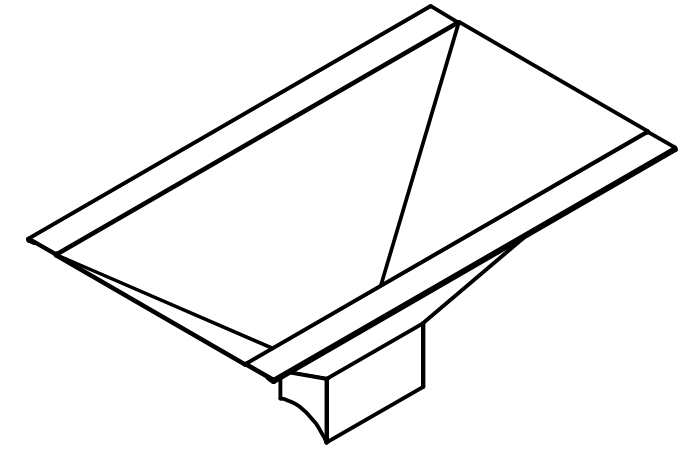
ITEM: BASE SOPORTE FUNDICIÓN  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:2  
 ESPESOR: 2 mm

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	SOPORTE CILINDRO FUNDICION	
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD25 – A3

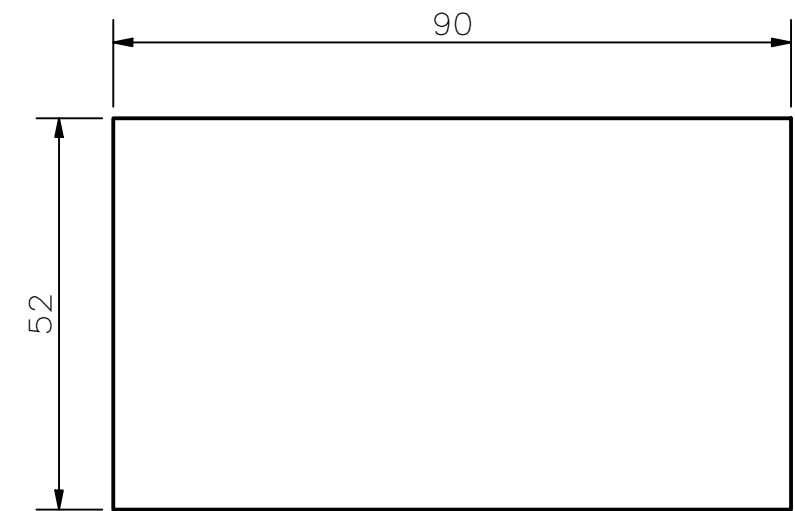
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



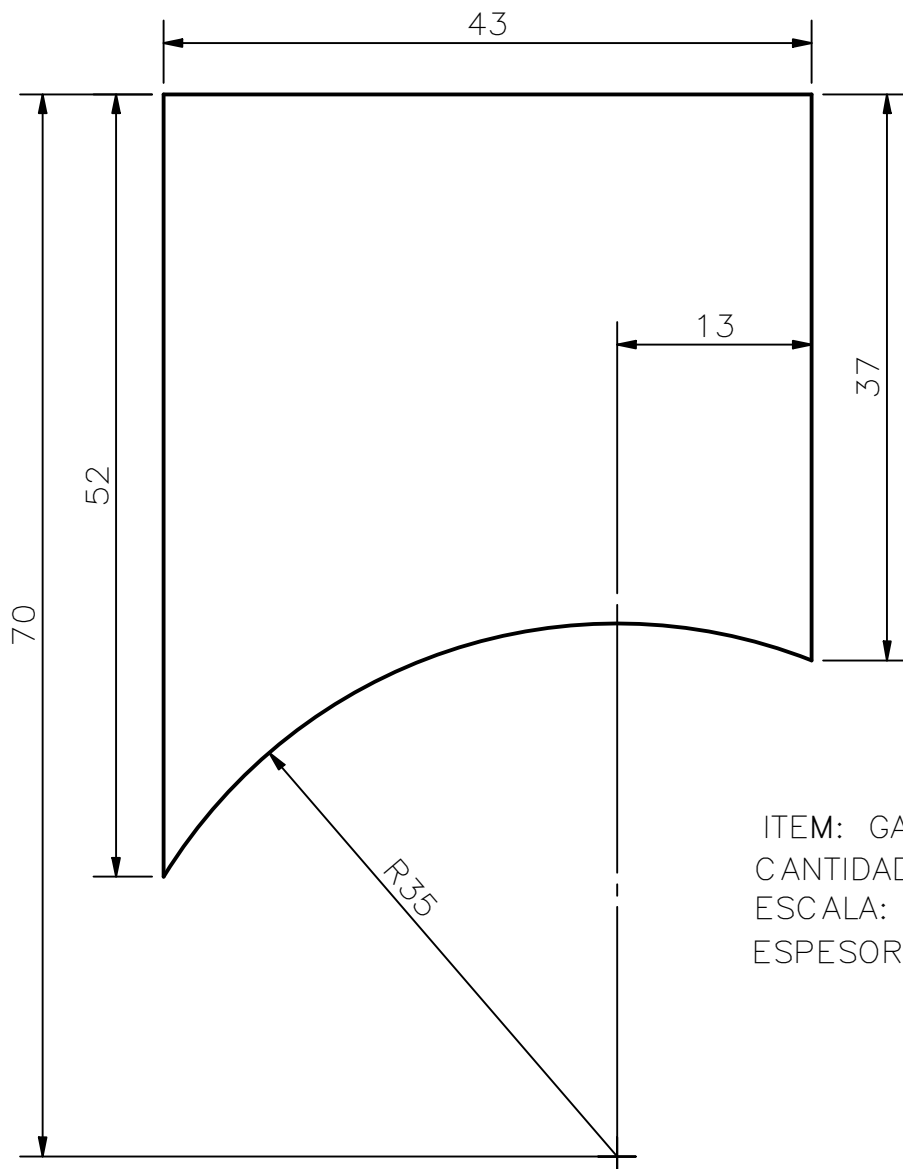
ITEM: TOLVA FUNDICION  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:5  
 ESPESOR: 0.5 mm



ITEM: GARGANTA 1 FUNDICION  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 0.5 mm

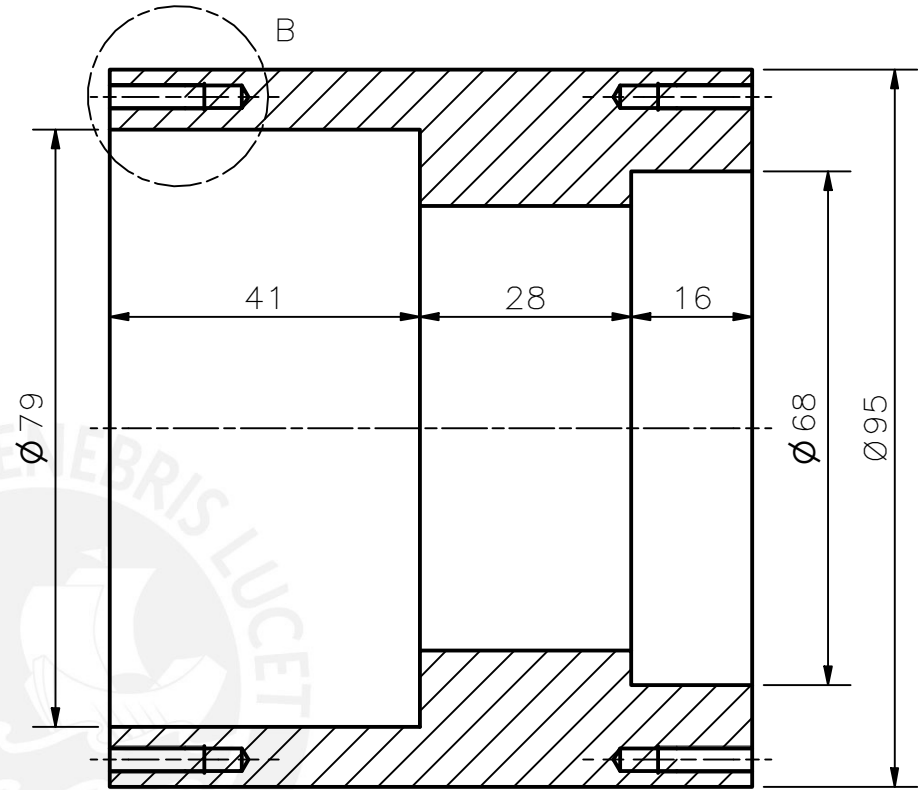
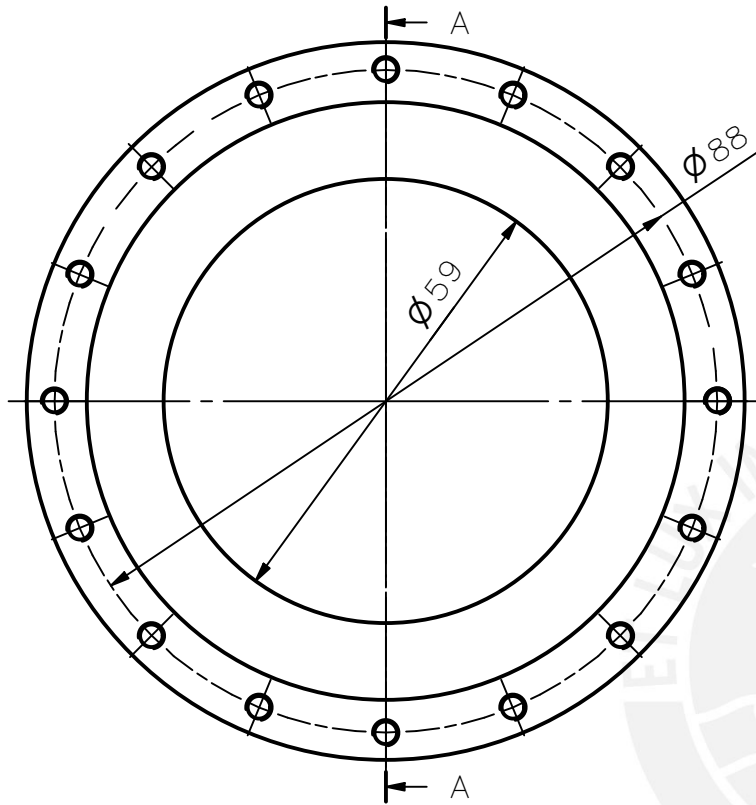


ITEM: GARGANTA 3 FUNDICION  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 0.5 mm

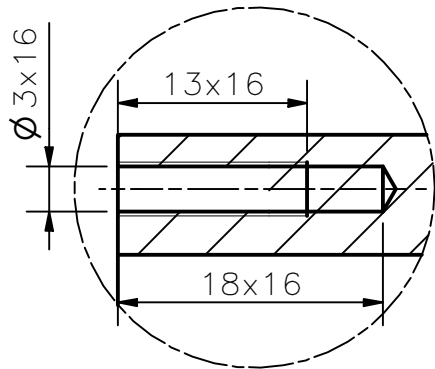


ITEM: GARGANTA 2 FUNDICION  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 2:1  
 ESPESOR: 0.5 mm

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		INOX 304
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	TOLVA Y GARGANTA FUNDICION	
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD26 – A3



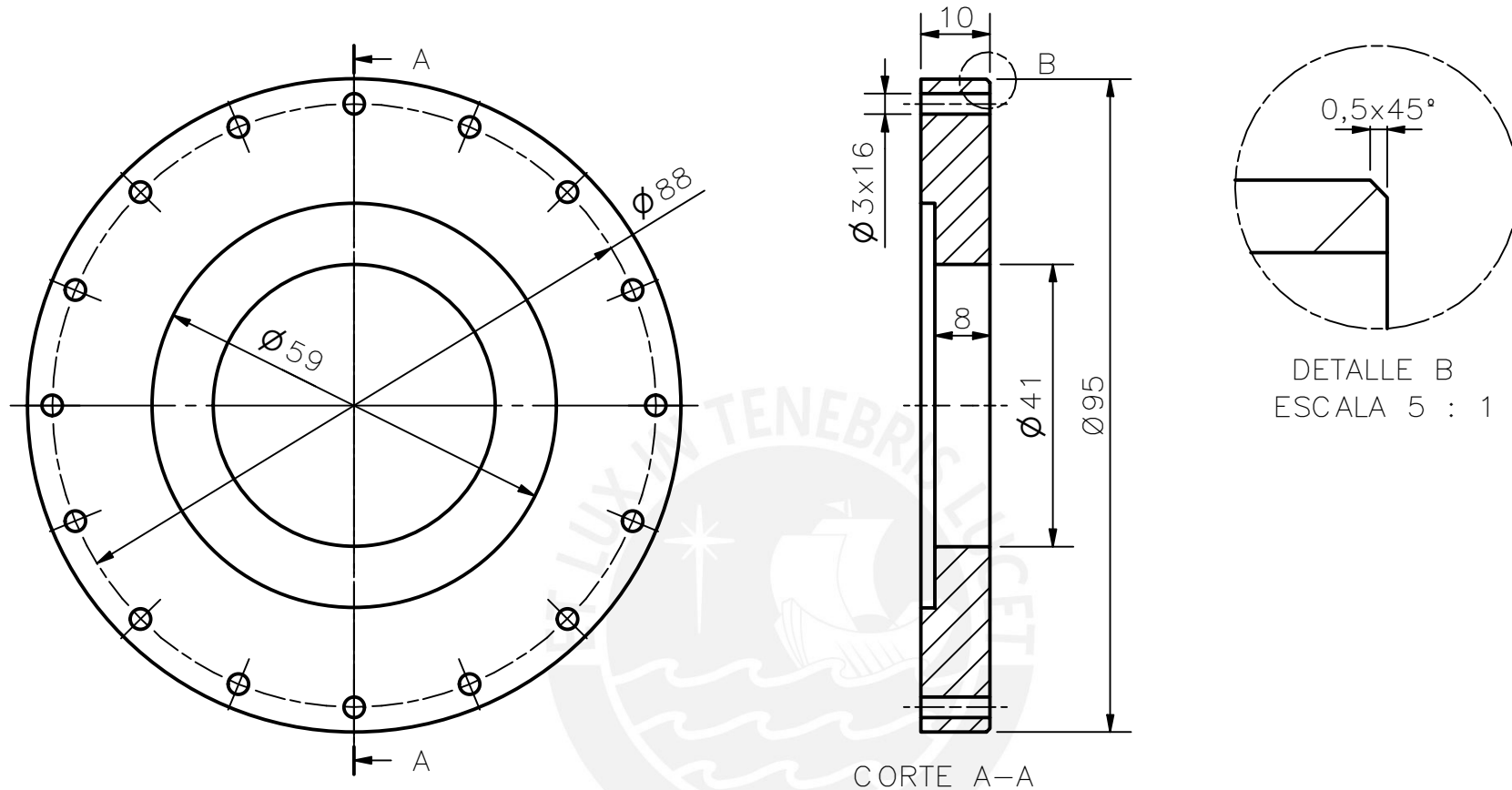
CORTE A-A



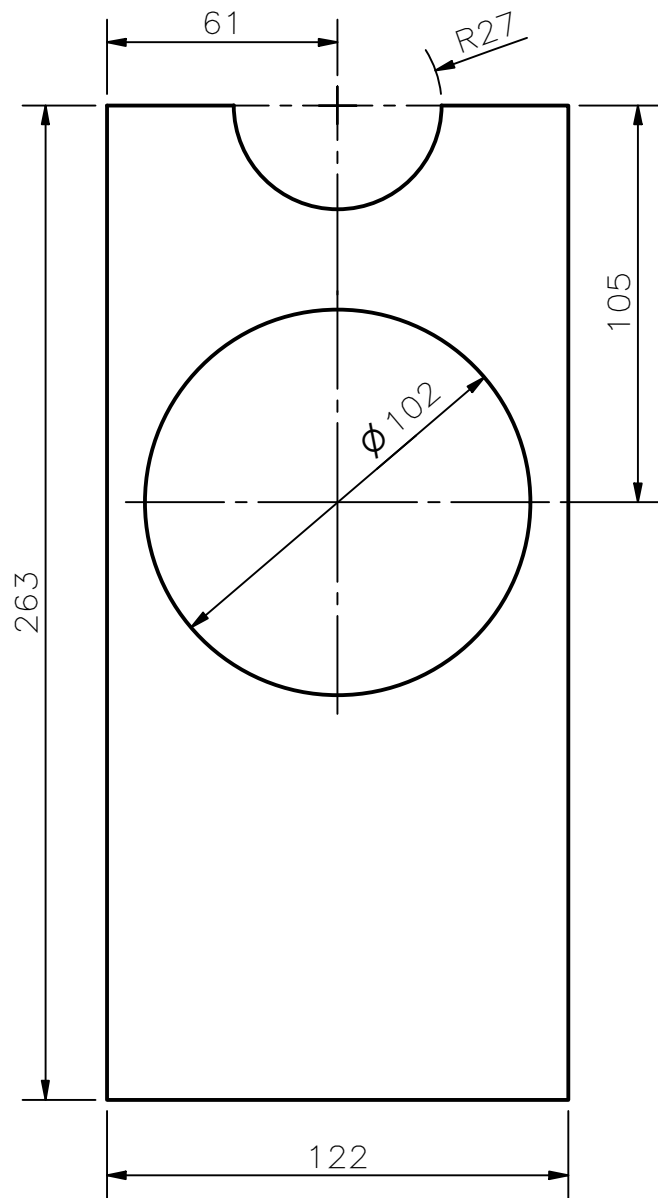
DETALLE B  
ESCALA 2 : 1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A 105
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	<b>APOYO RODAMIENTOS FUNDICION</b>	<b>1:1</b>
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD27 – A4

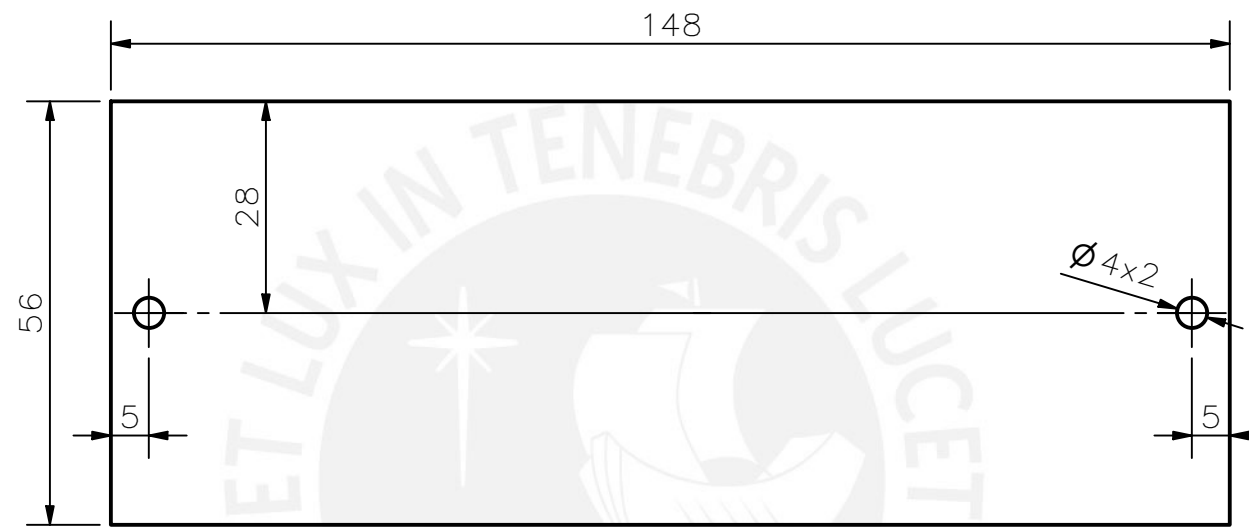
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



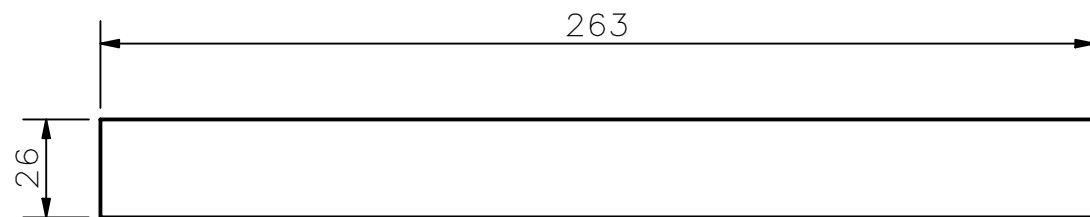
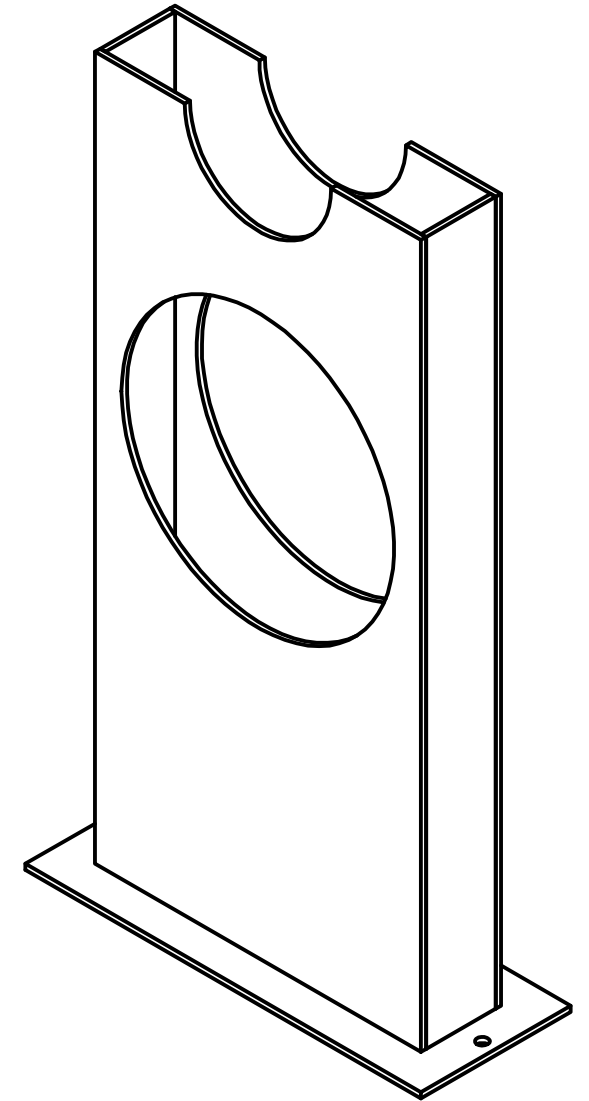
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A 105
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	TAPA RODAMIENTOS FUNDICION	1:1
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD28 – A4



ITEM: SOPORTE 1 APOYO ENCODER FUNDICION  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 1:2  
 ESPESOR: 2 mm



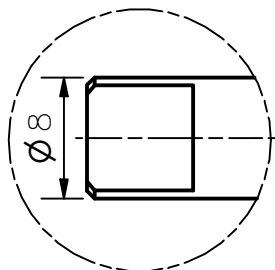
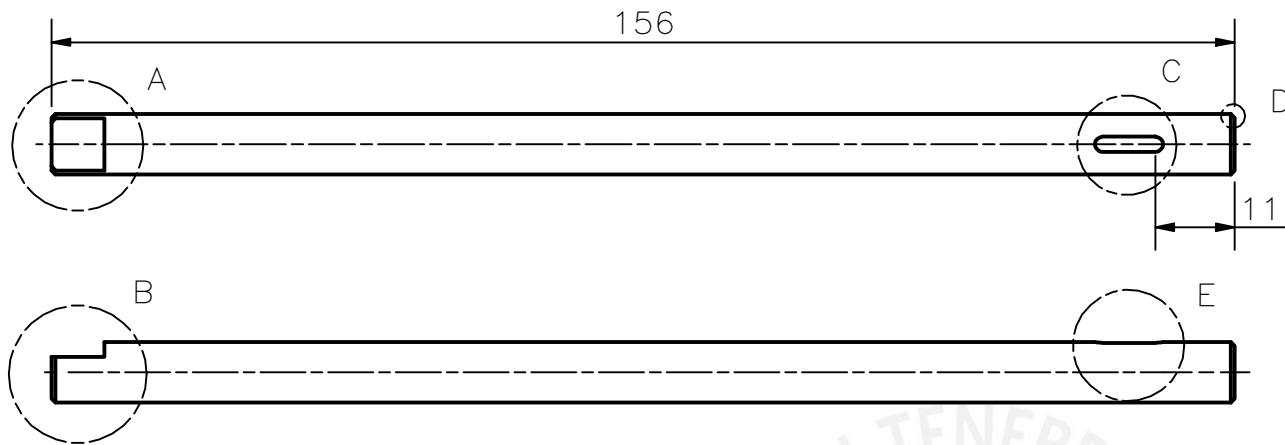
ITEM: BASE SOPORTE APOYO ENCODER FUNDICION  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 2 mm



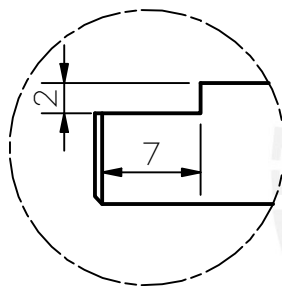
ITEM: SOPORTE 2 APOYO ENCODER FUNDICION  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 1:2  
 ESPESOR: 2 mm

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	<b>SOPORTE APOYO          ENCODER FUNDICION</b>	
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD29 – A3

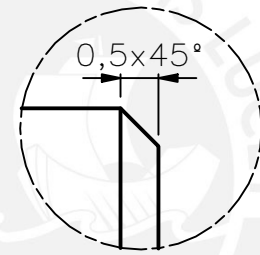
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



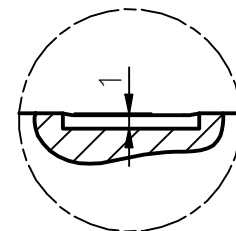
DETALLE A  
ESCALA 2 : 1



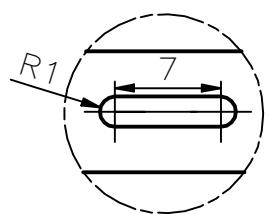
DETALLE B  
ESCALA 2 : 1



DETALLE D  
ESCALA 10 : 1



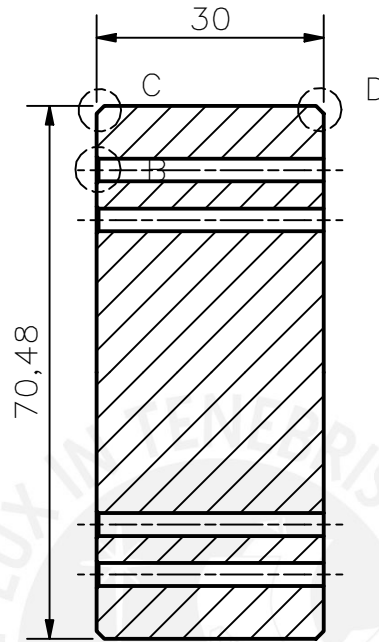
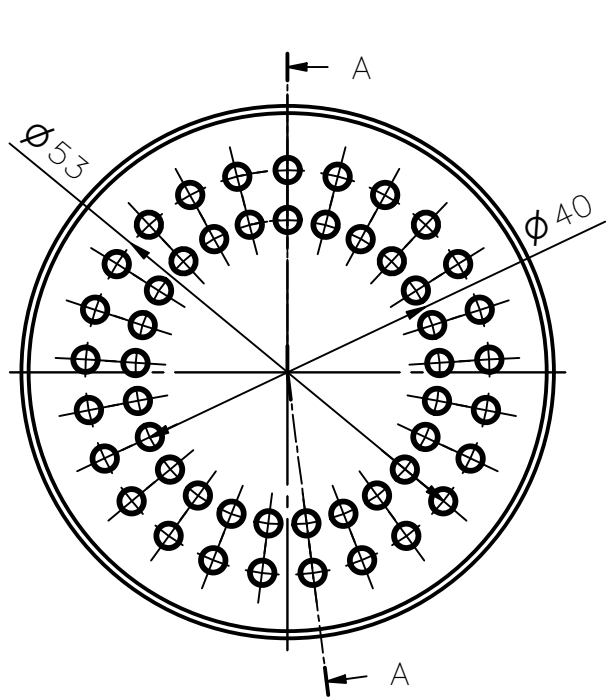
DETALLE E  
ESCALA 2 : 1



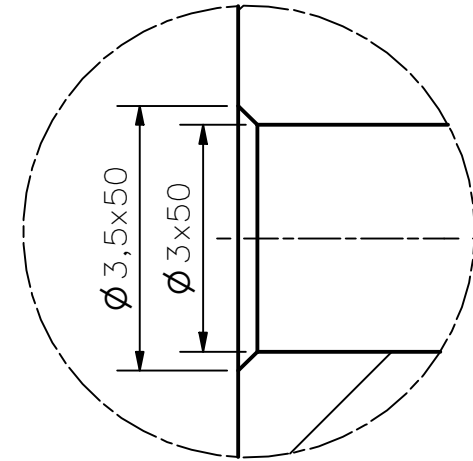
DETALLE C  
ESCALA 2 : 1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A276
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	<b>EJE ENCODER FUNDICION</b>	<b>1:1</b>
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD30 – A4

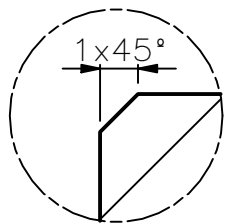
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



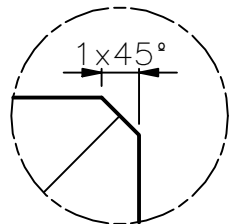
CORTE A-A



DETALLE B  
ESCALA 10 : 1

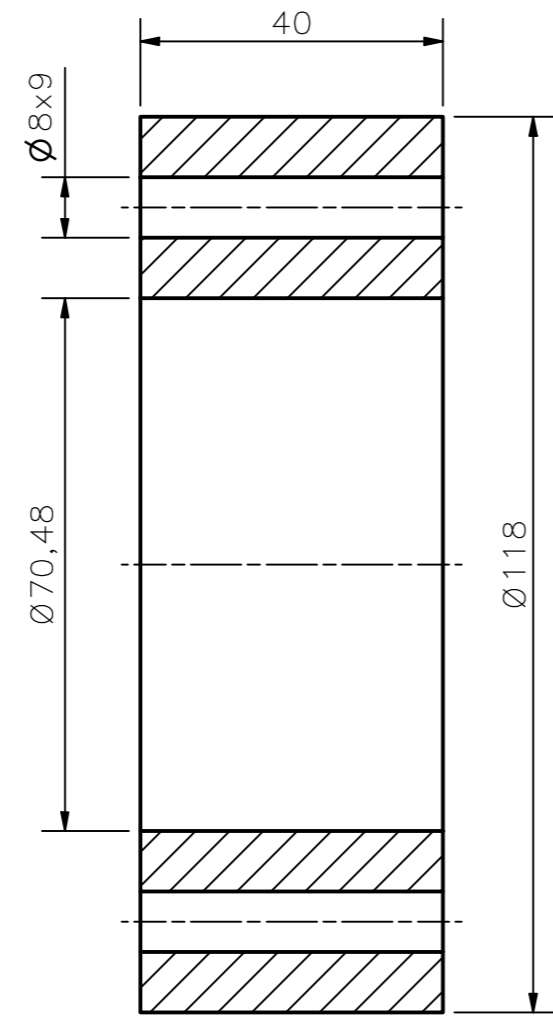
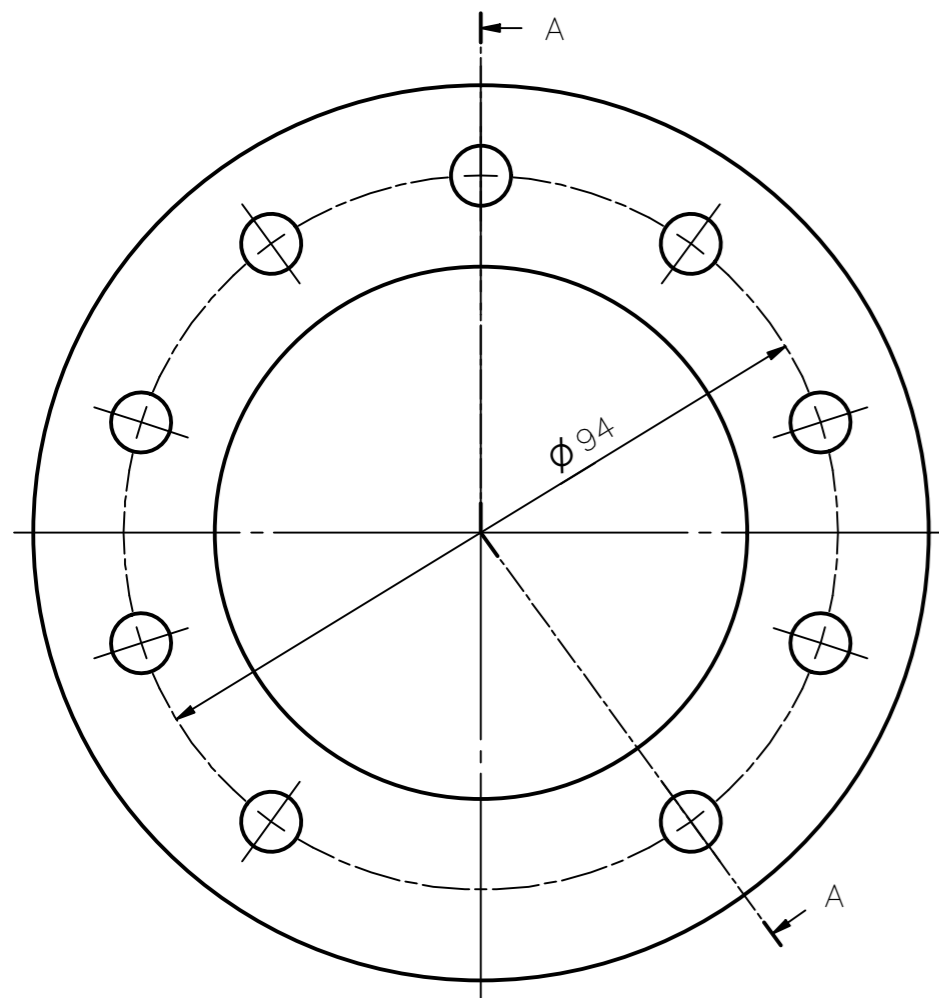


DETALLE C  
ESCALA 5 : 1



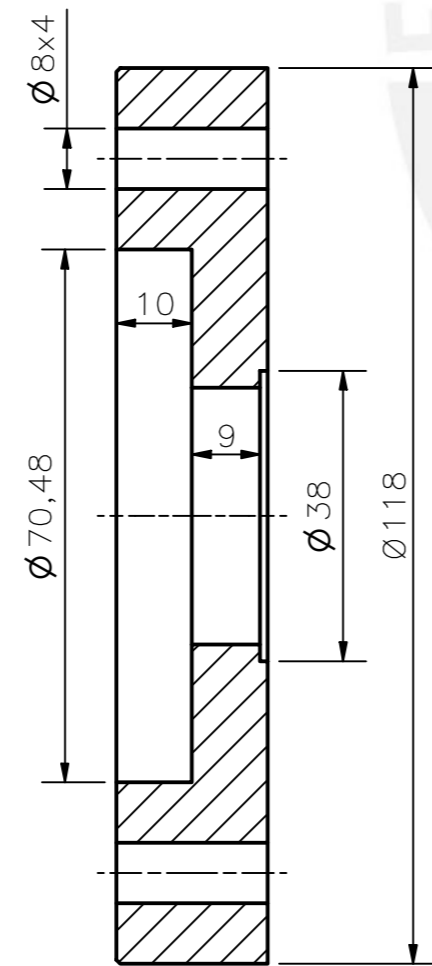
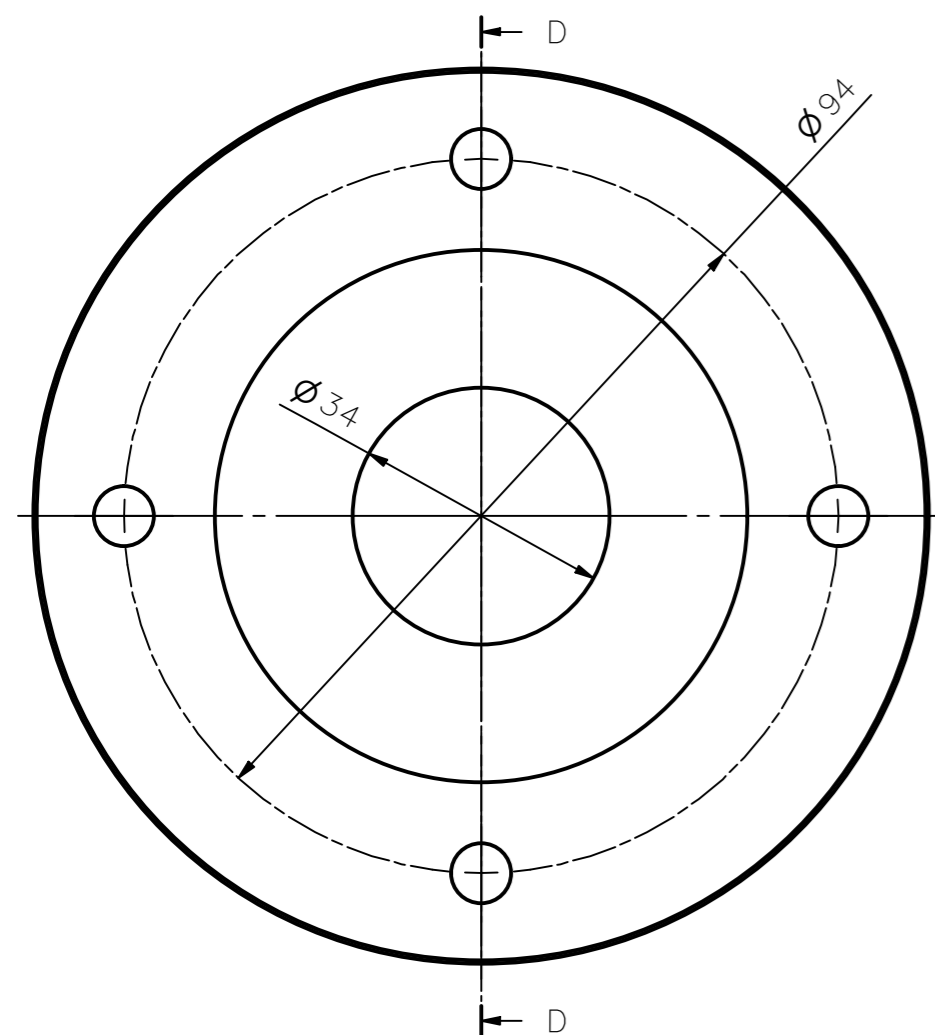
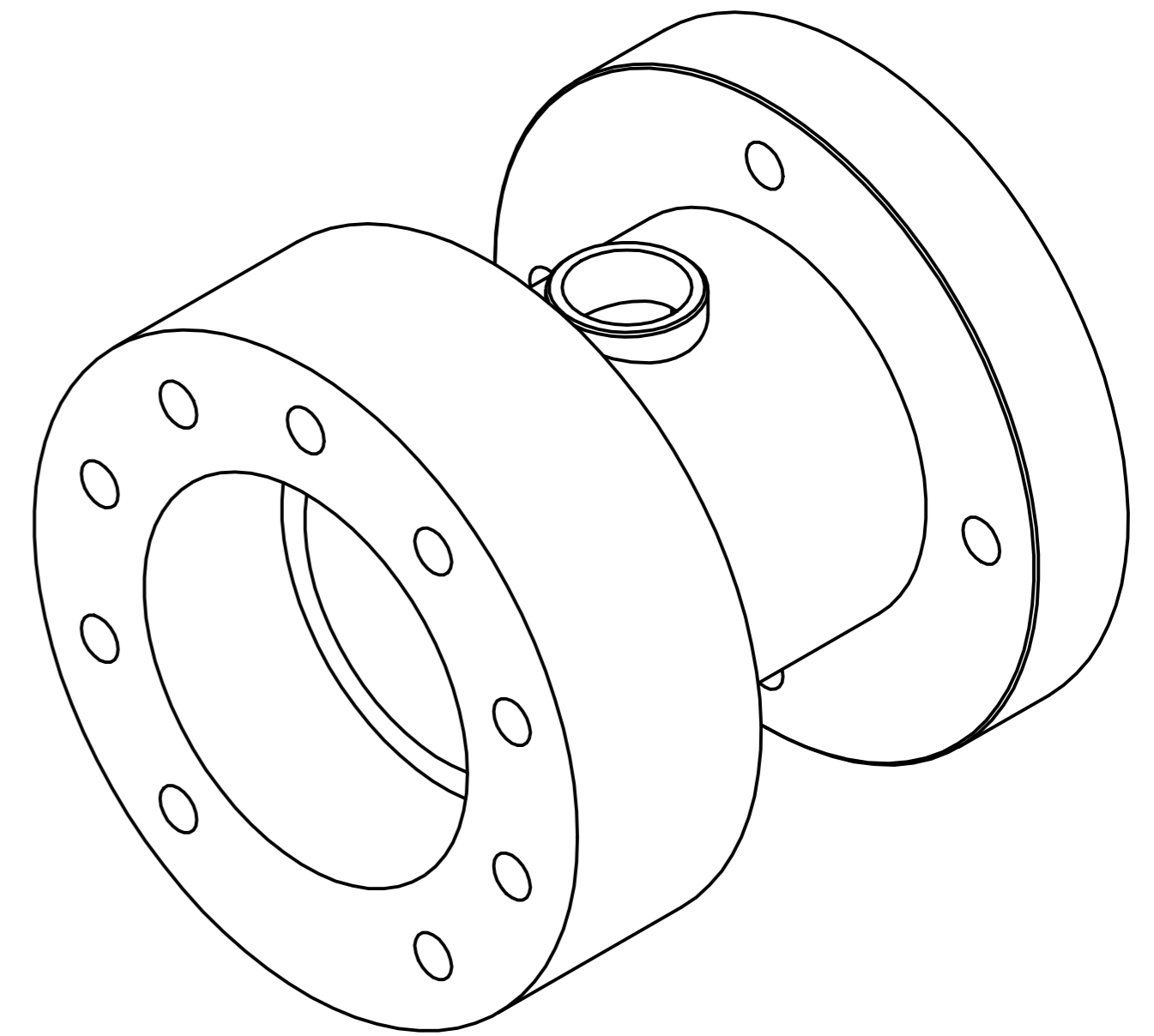
DETALLE D  
ESCALA 5 : 1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A 105
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	MATRIZ DE EXTRUSIÓN	1:1
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD31 – A4

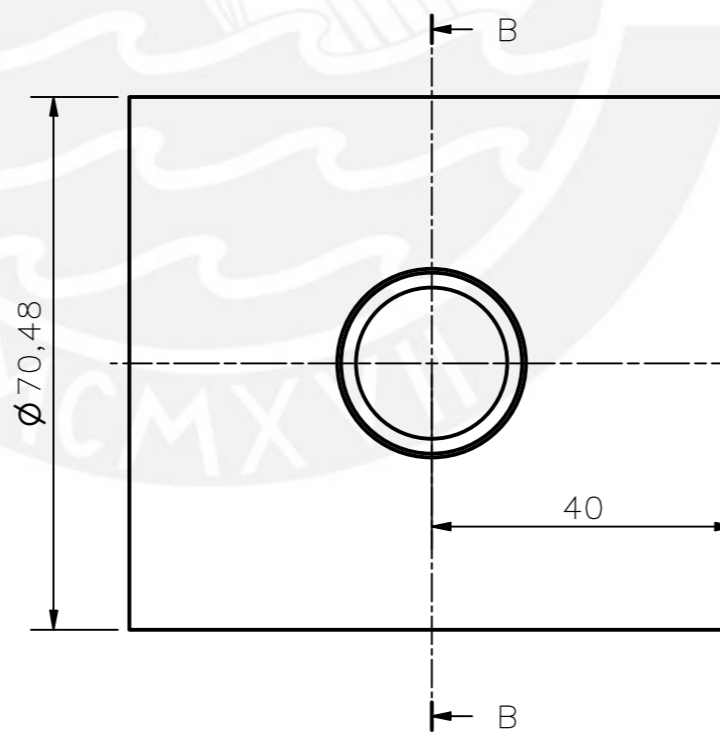


CORTE A-A

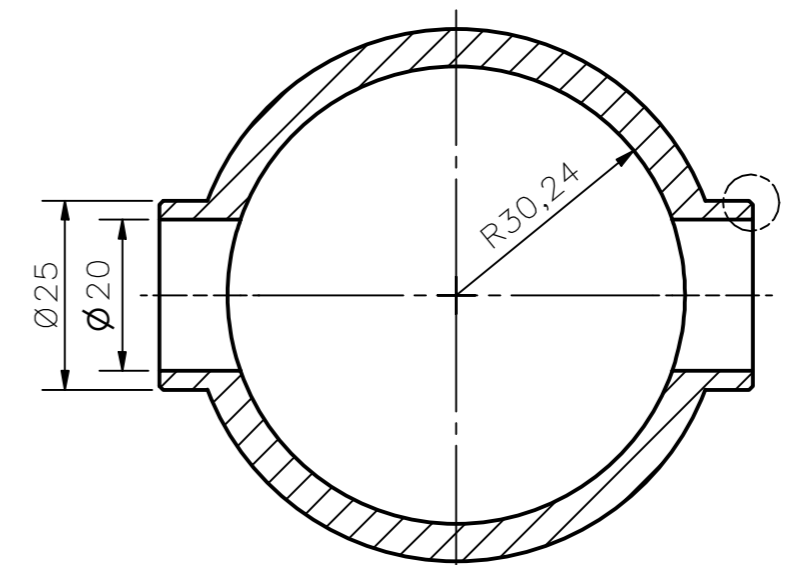
ITEM: UNIÓN 1 CILINDRO DE ENFRIAMIENTO  
 CANTIDAD: 1  
 MATERIAL: ASTM A 105  
 ESCALA: 1:1



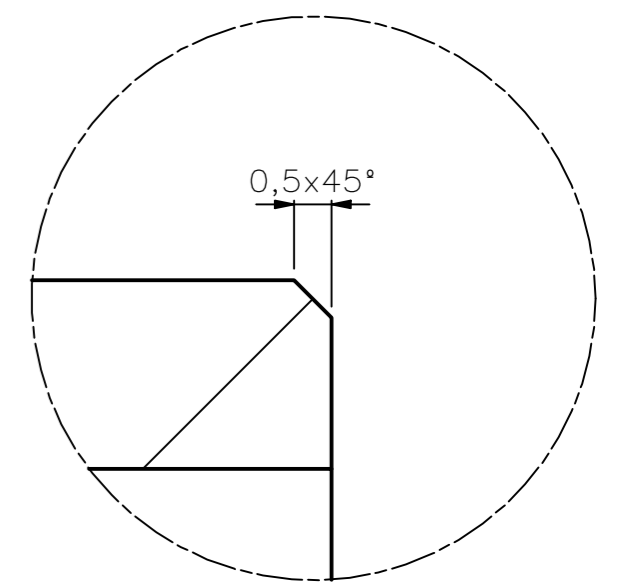
CORTE D-D



ITEM: CILINDRO ENFRIAMIENTO  
 CANTIDAD: 1  
 MATERIAL: ASTM A312  
 ESCALA: 1:1



CORTE B-B

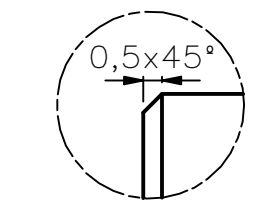
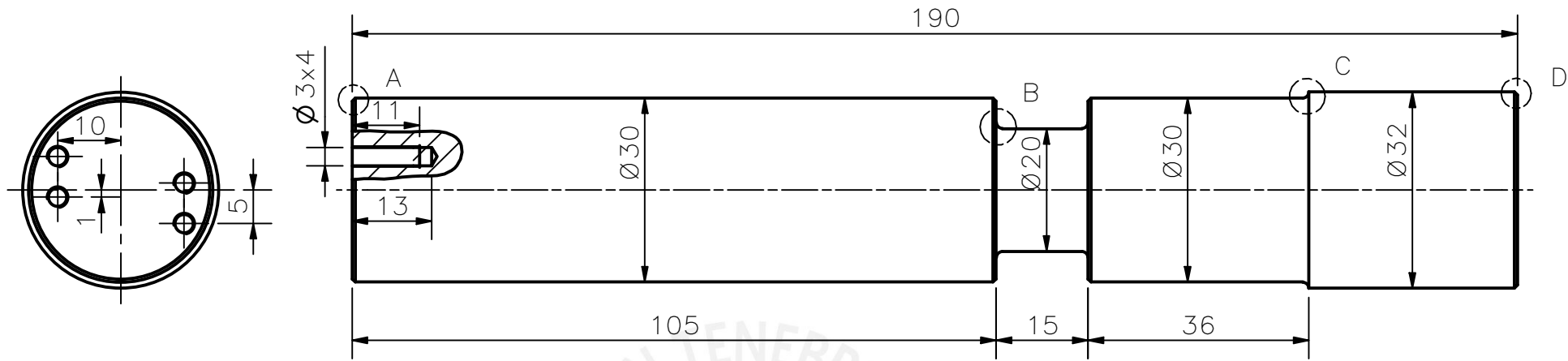


DETALLE C  
 ESCALA 10 : 1

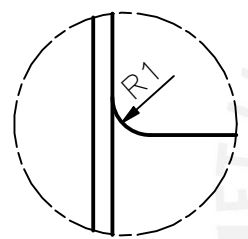
ITEM: UNIÓN 2 CILINDRO DE ENFRIAMIENTO  
 CANTIDAD: 1  
 MATERIAL: ASTM A 105  
 ESCALA: 1:1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	<b>CÁMARA DE ENFRIAMIENTO</b>	
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD32 - A2

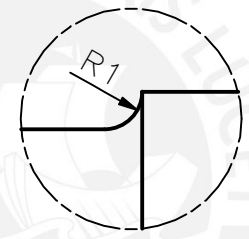
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



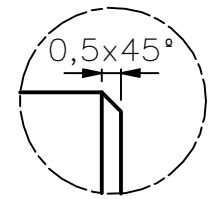
DETALLE A  
ESCALA 5 : 1



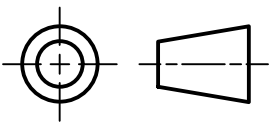
DETALLE B  
ESCALA 5 : 1

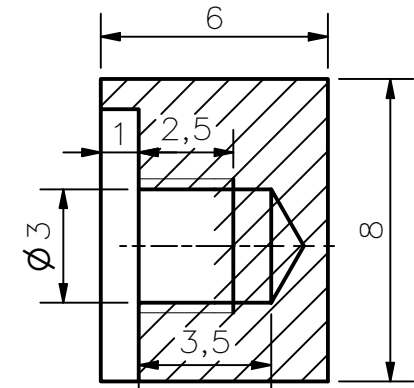
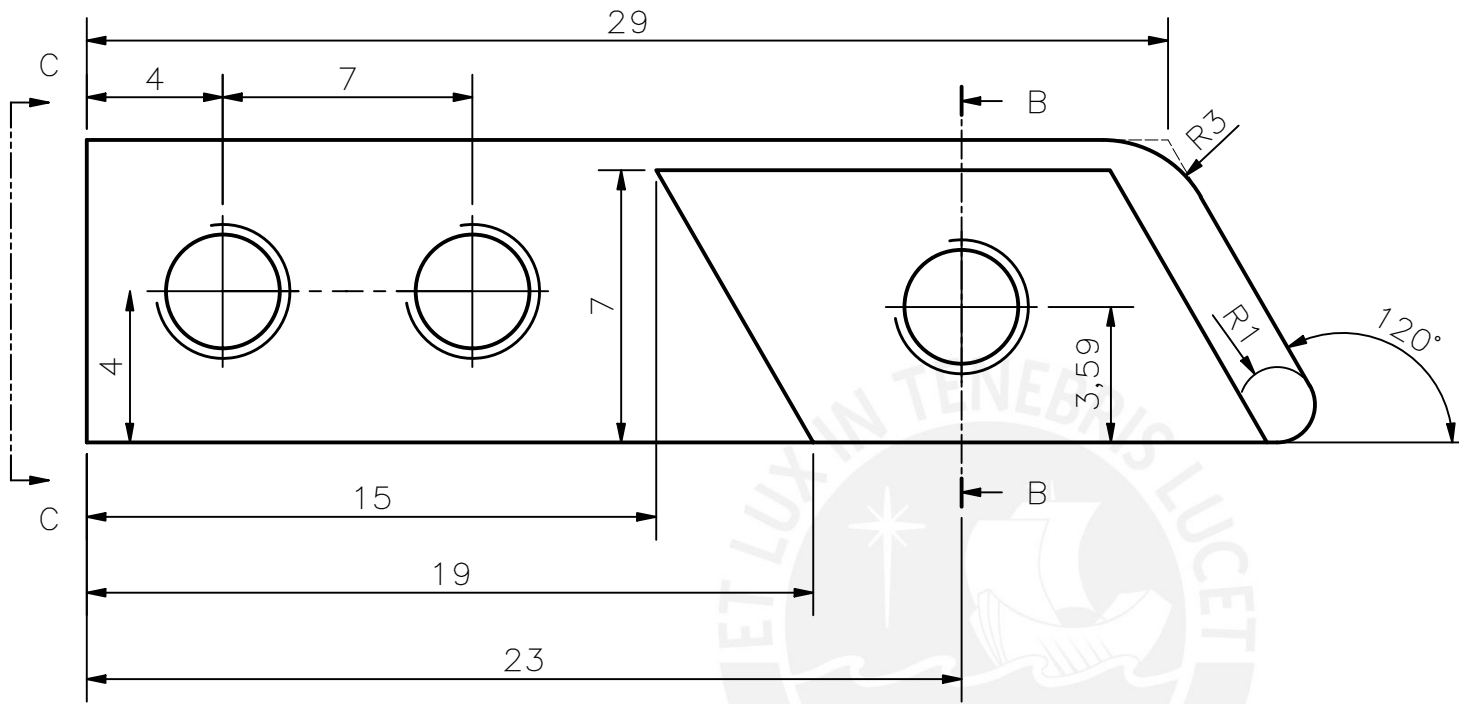


DETALLE C  
ESCALA 5 : 1

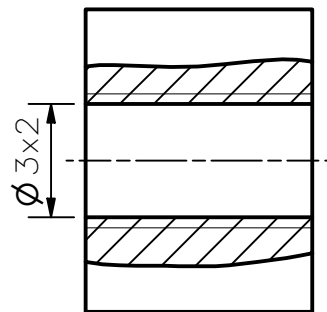


DETALLE D  
ESCALA 5 : 1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A276
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO EJE PORTACUCHILLAS	ESCALA 1:1
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD33 – A3

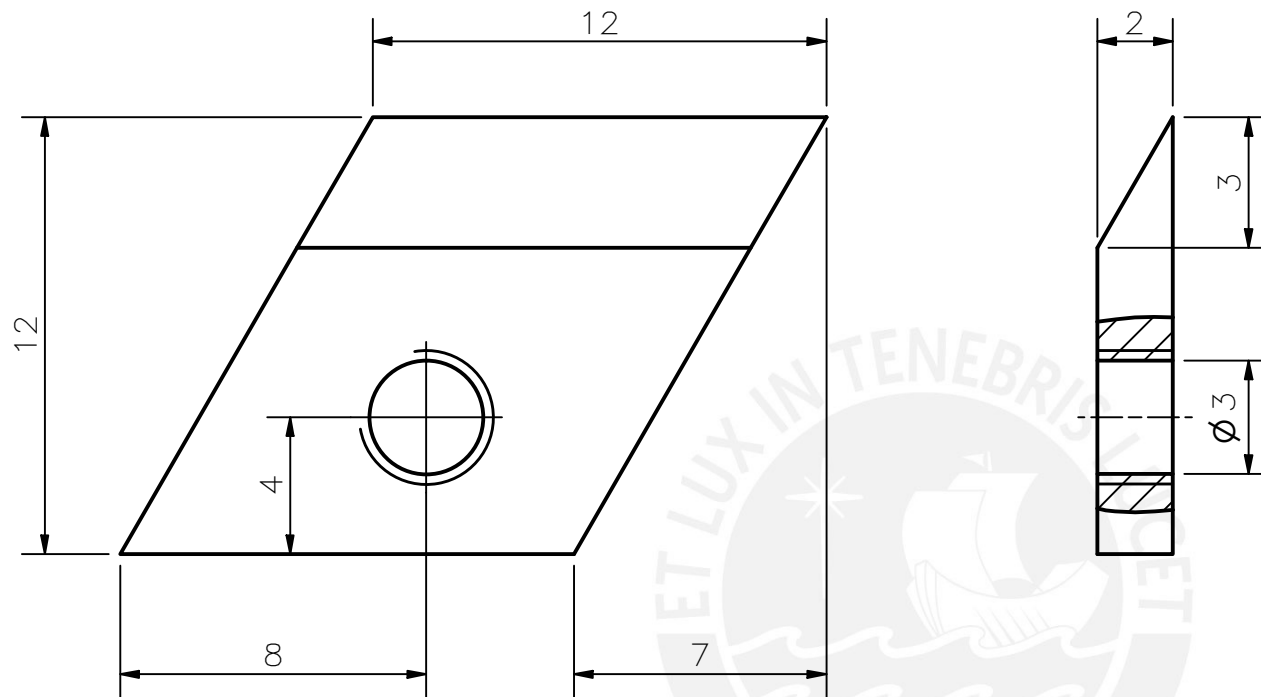


CORTE B-B



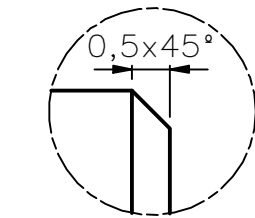
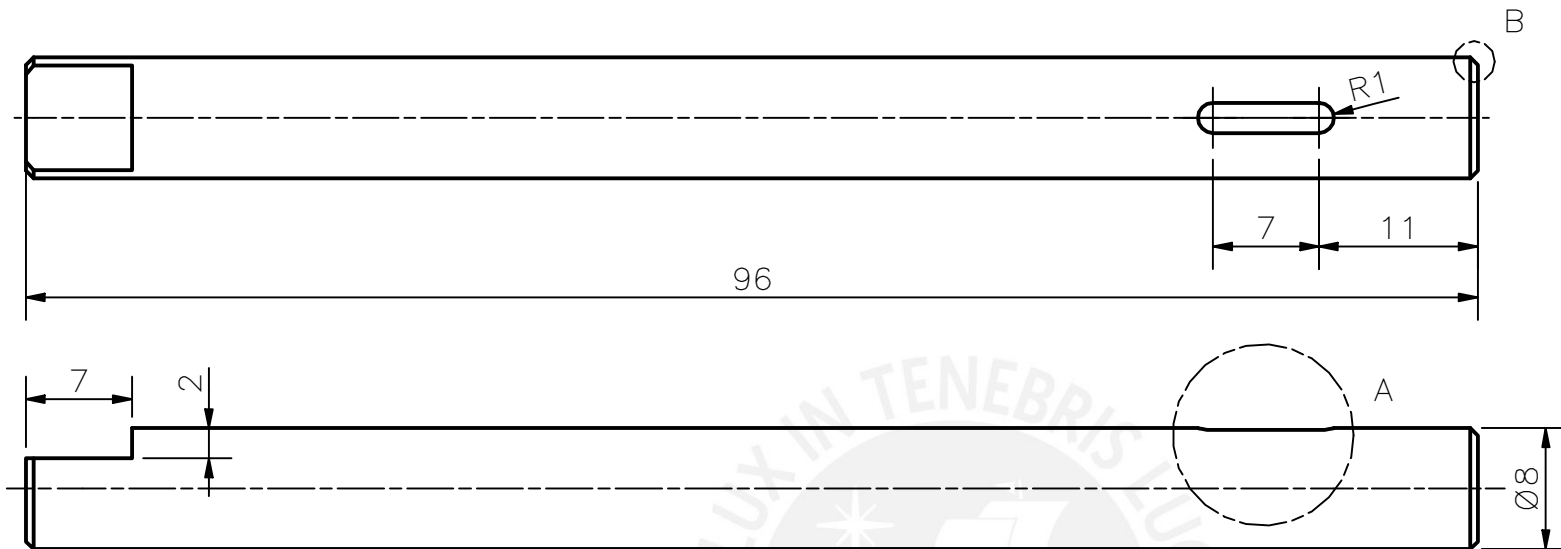
VISTA C-C

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL INOX 304
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA 5:1
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD34 – A4

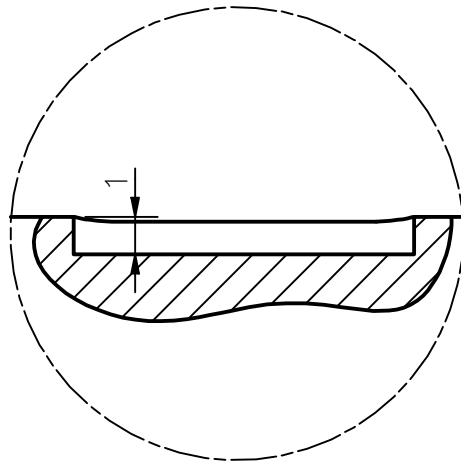


TT: TEMPLADO Y REVENIDO  
DUREZA: 60 HRC

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		K110 D - 2
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	CUCHILLA	5:1
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD35 - A4

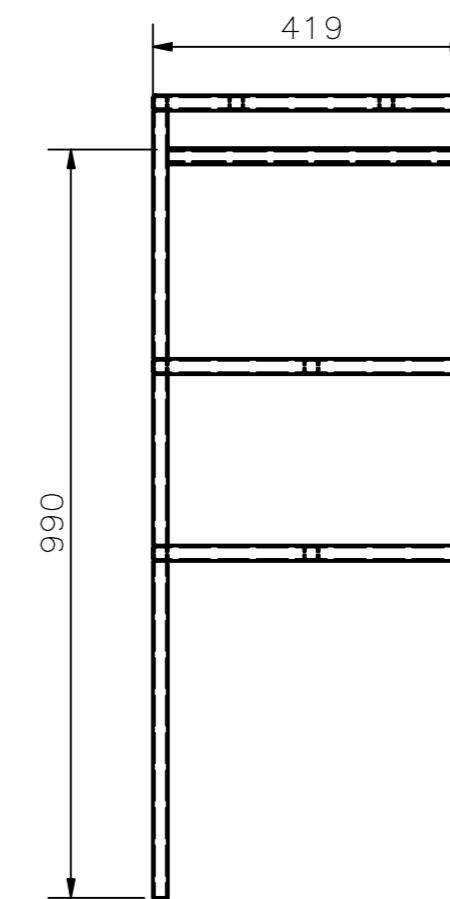
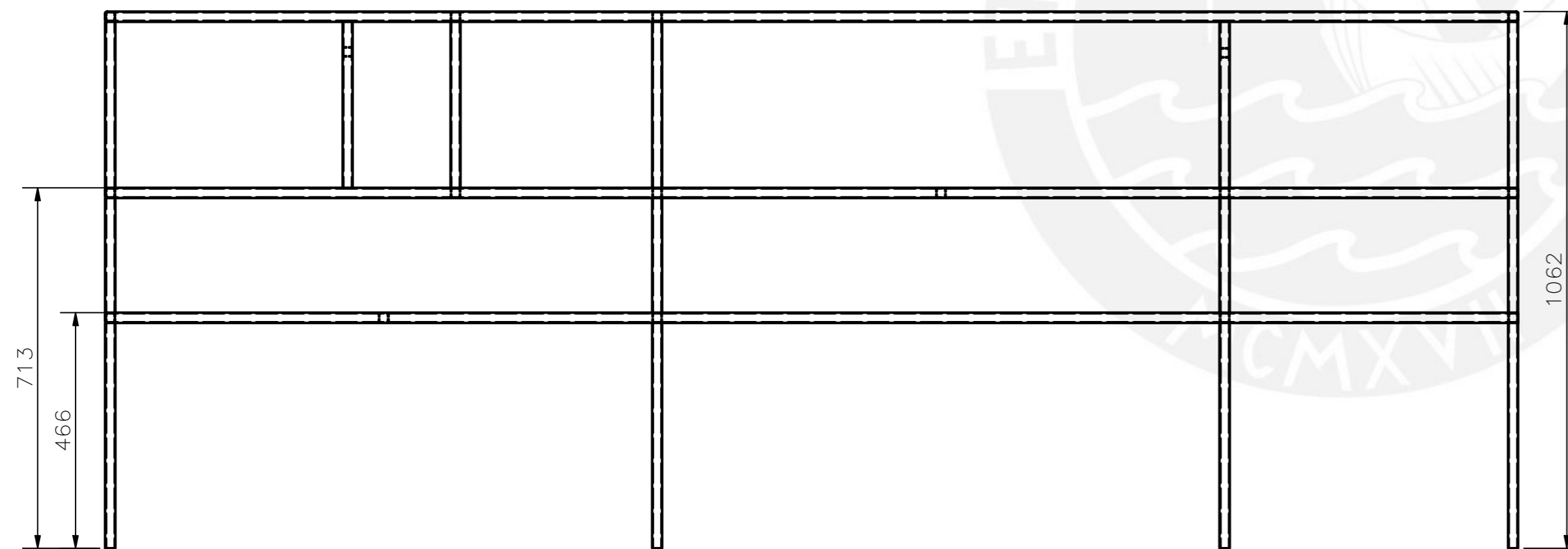
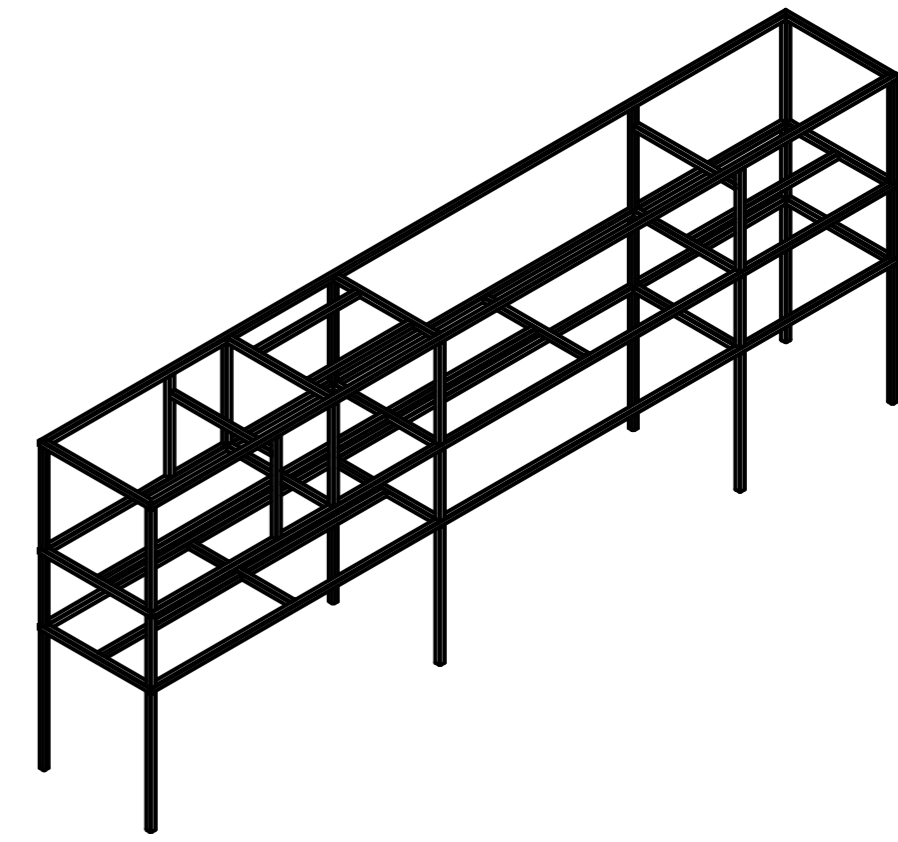
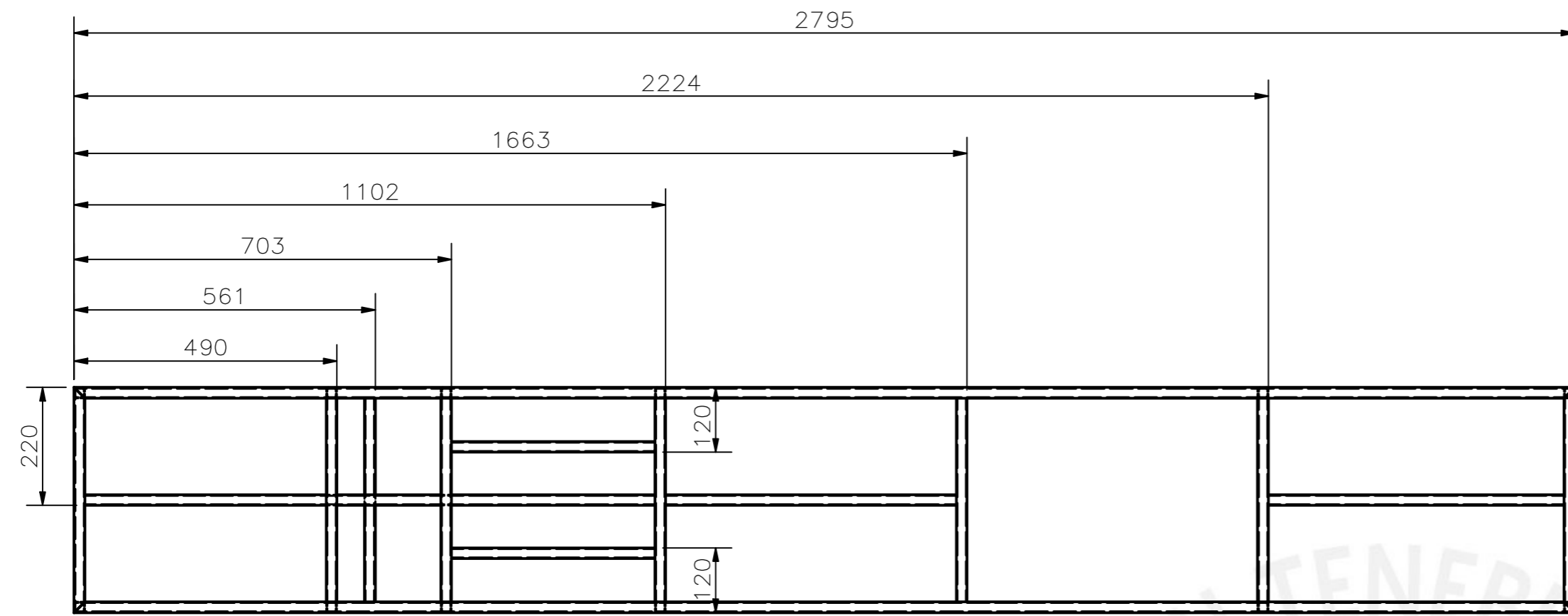


DETALLE B  
ESCALA 10 : 1



DETALLE A  
ESCALA 5 : 1

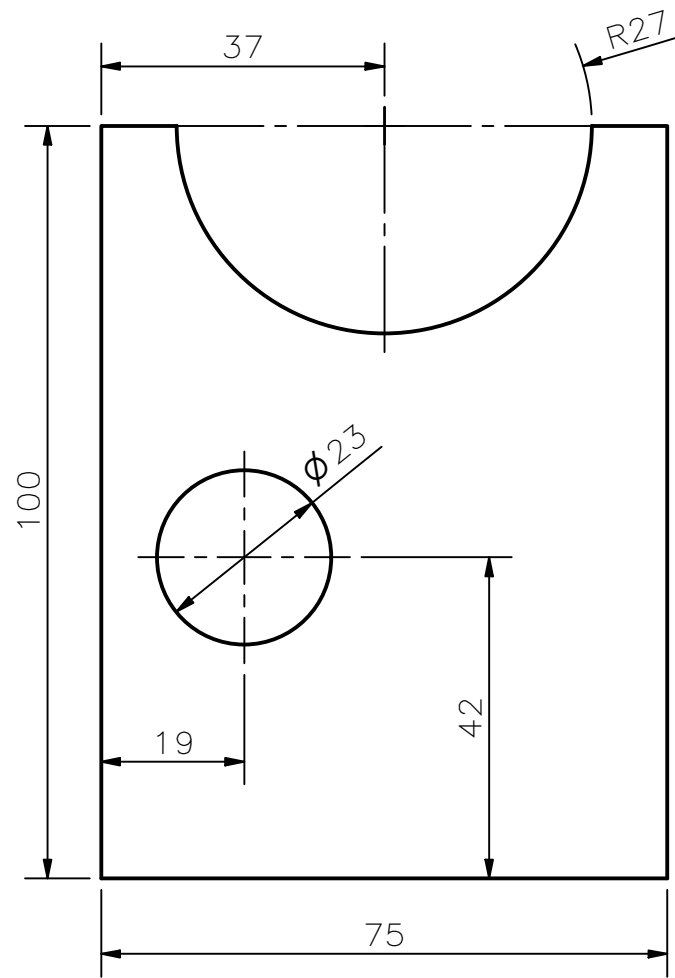
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A276
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	EJE ENCODER CORTE	2:1
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD36 – A4



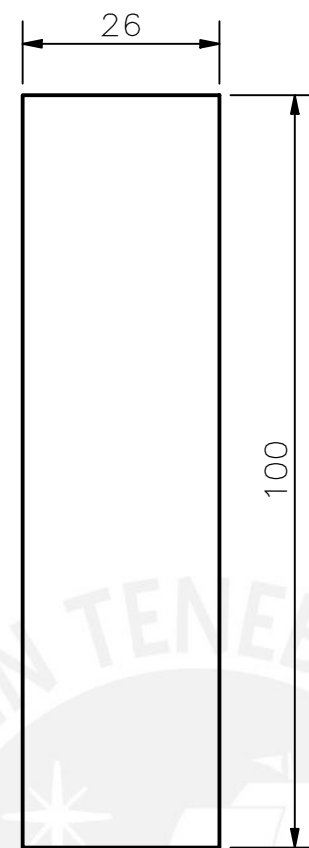
PERFIL: CUADRADO HUECO  $\square$  20x20x2

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO ESTRUCTURA SISTEMA FUNDICION Y CORTE	ESCALA 1:10
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD37 - A2

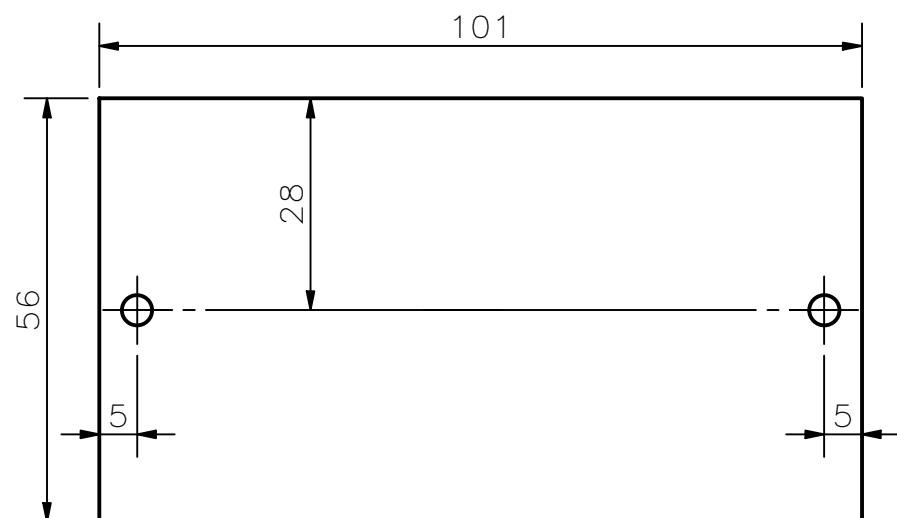
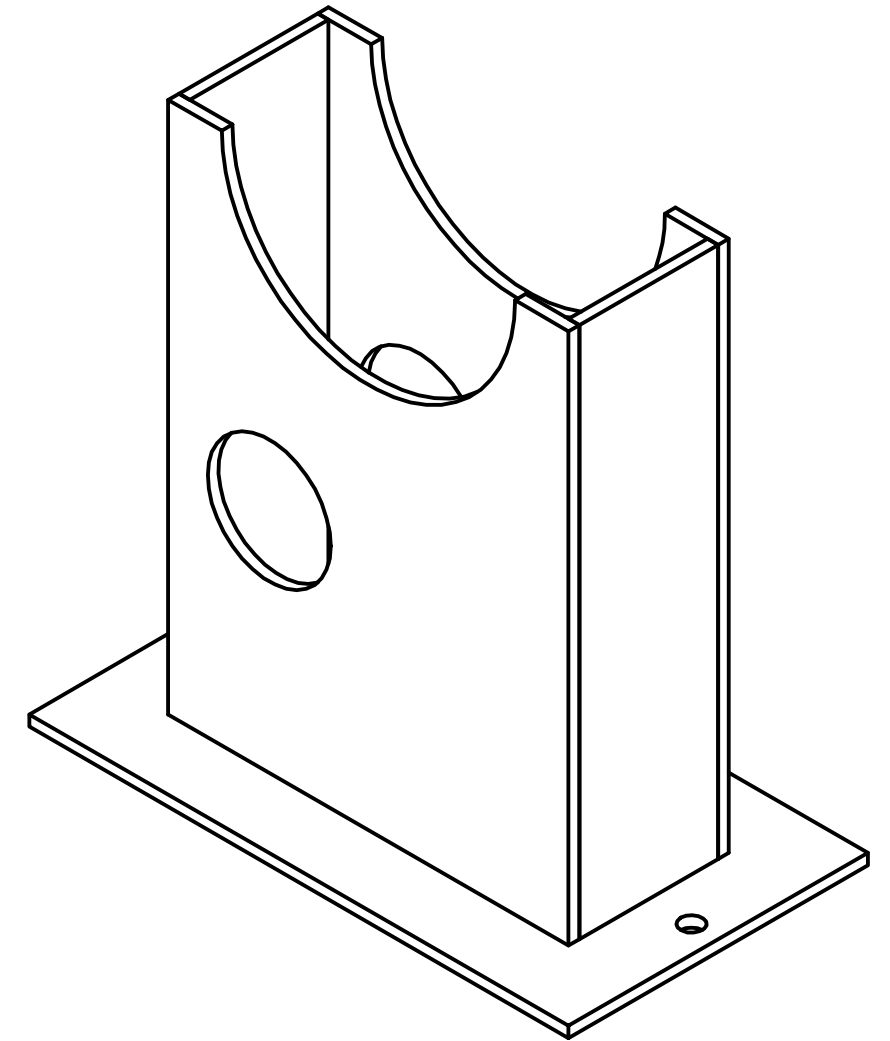
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



ITEM: SOPORTE 1 APOYO ENCODER MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 2 mm



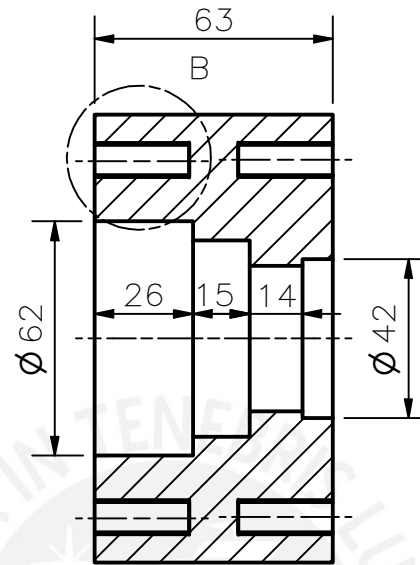
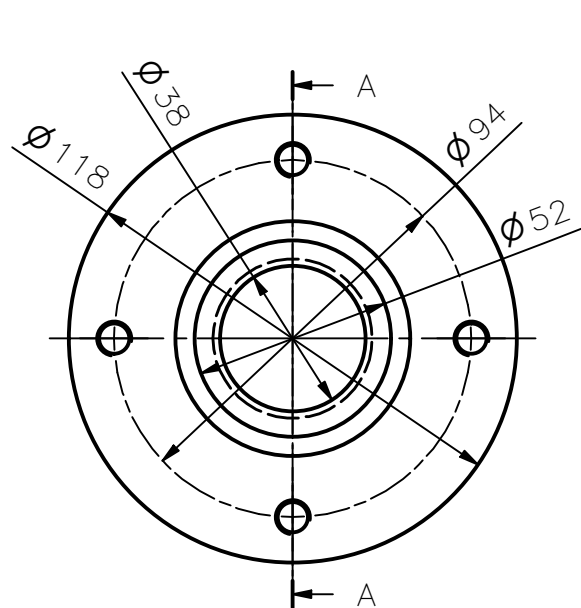
ITEM: SOPORTE 2 APOYO ENCODER MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 2 mm



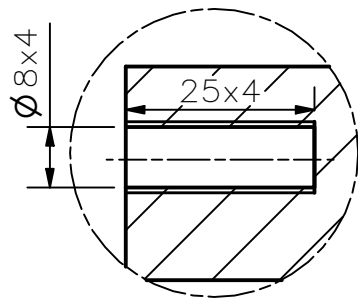
ITEM: BASE SOPORTE APOYO ENCODER MASTERBATCH  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 2 mm

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	APOYO ENCODER MASTERBATCH	
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD38 – A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

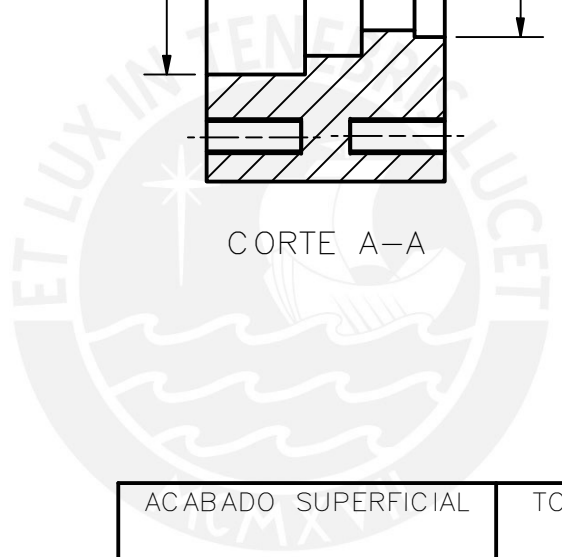


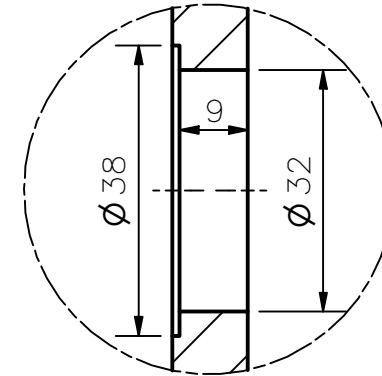
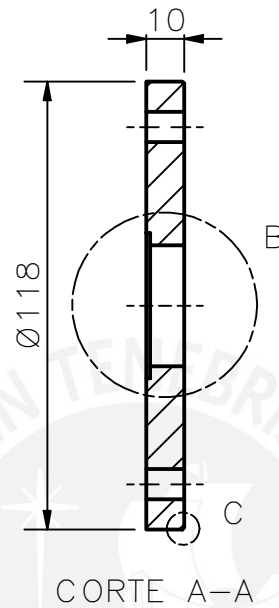
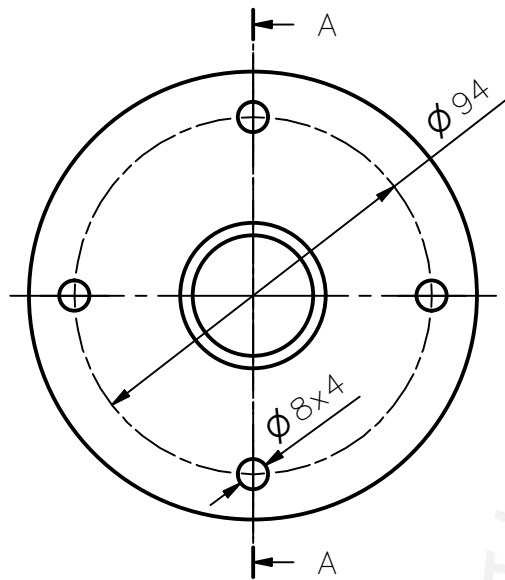
CORTE A-A



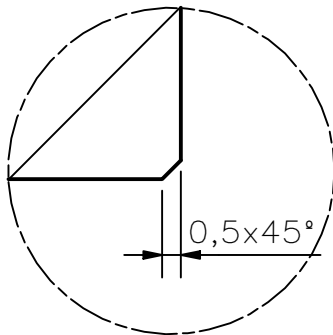
DETALLE B  
ESCALA 1 : 1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A 105
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO APOYO RODAMIENTOS CORTE	ESCALA 1:2
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD39 – A4





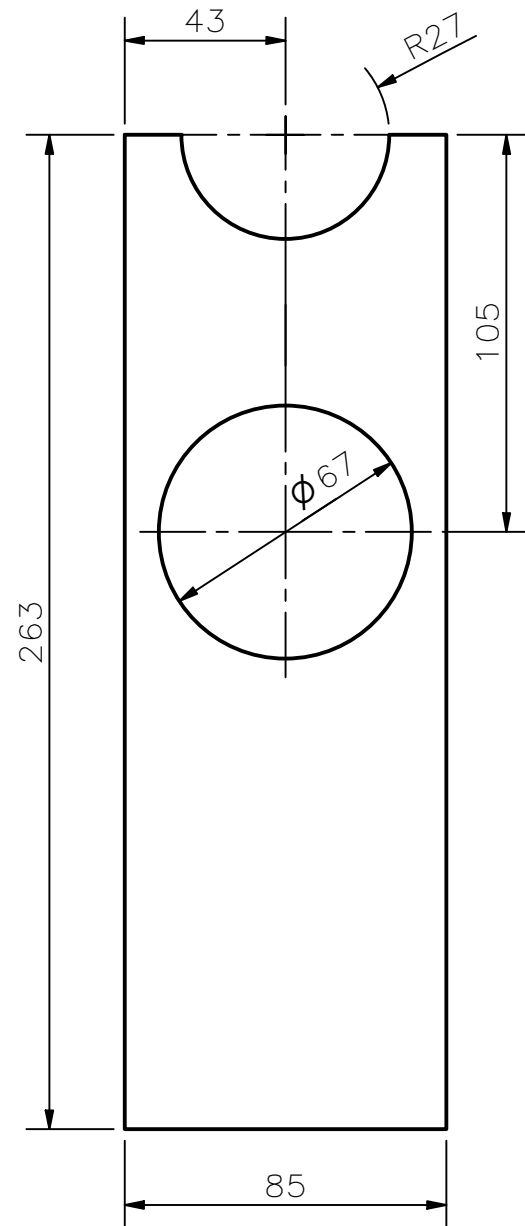
DETALLE B  
ESCALA 1 : 1



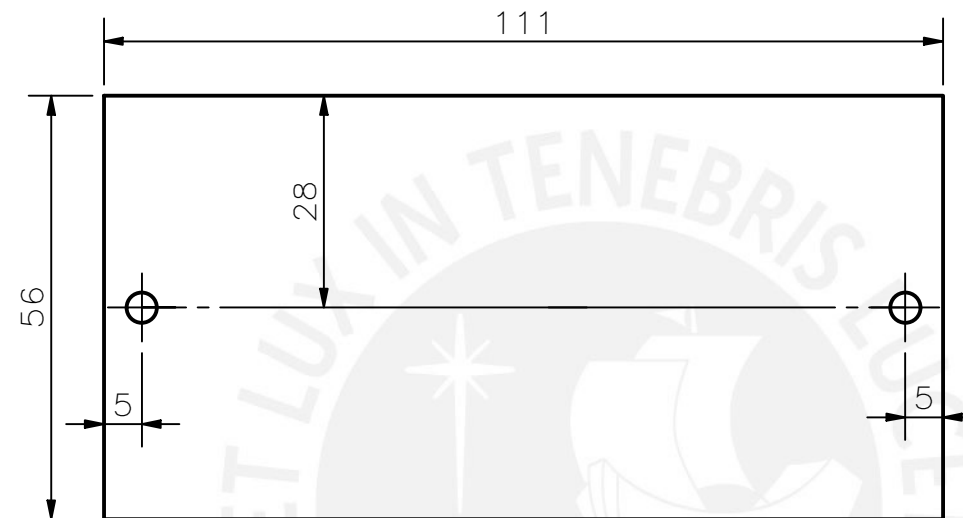
DETALLE C  
ESCALA 5 : 1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A 105
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	<b>TAPA APOYO RODAMIENTOS CORTE</b>	<b>1:2</b>
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD40 – A4

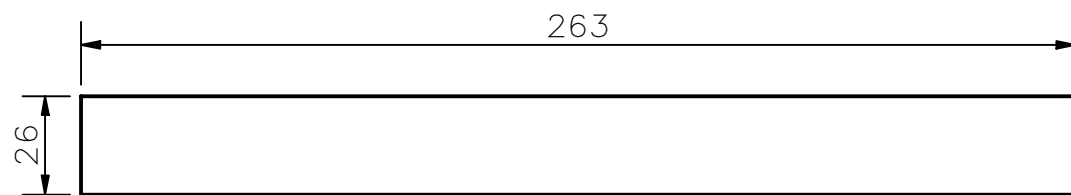
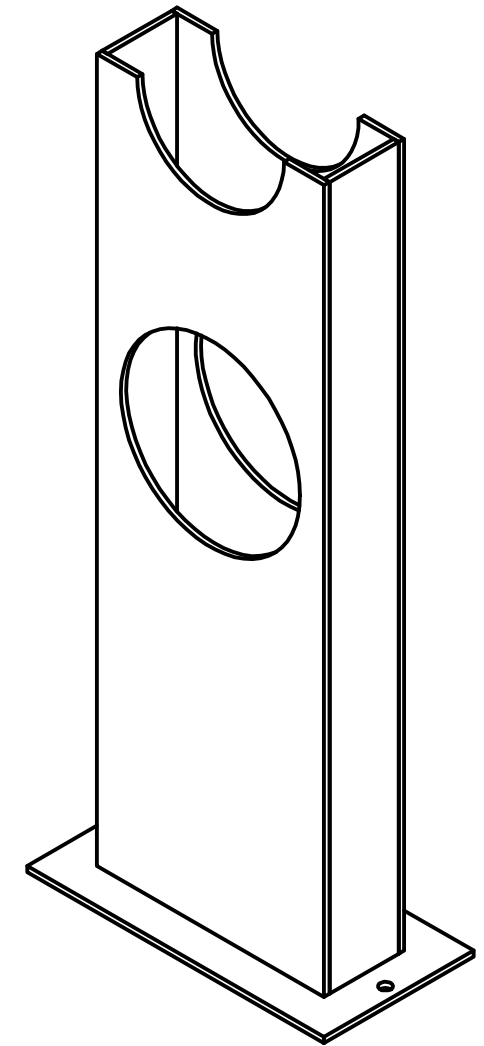
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



ITEM: SOPORTE 1 APOYO ENCODER CORTE  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 1:2  
 ESPESOR: 2 mm



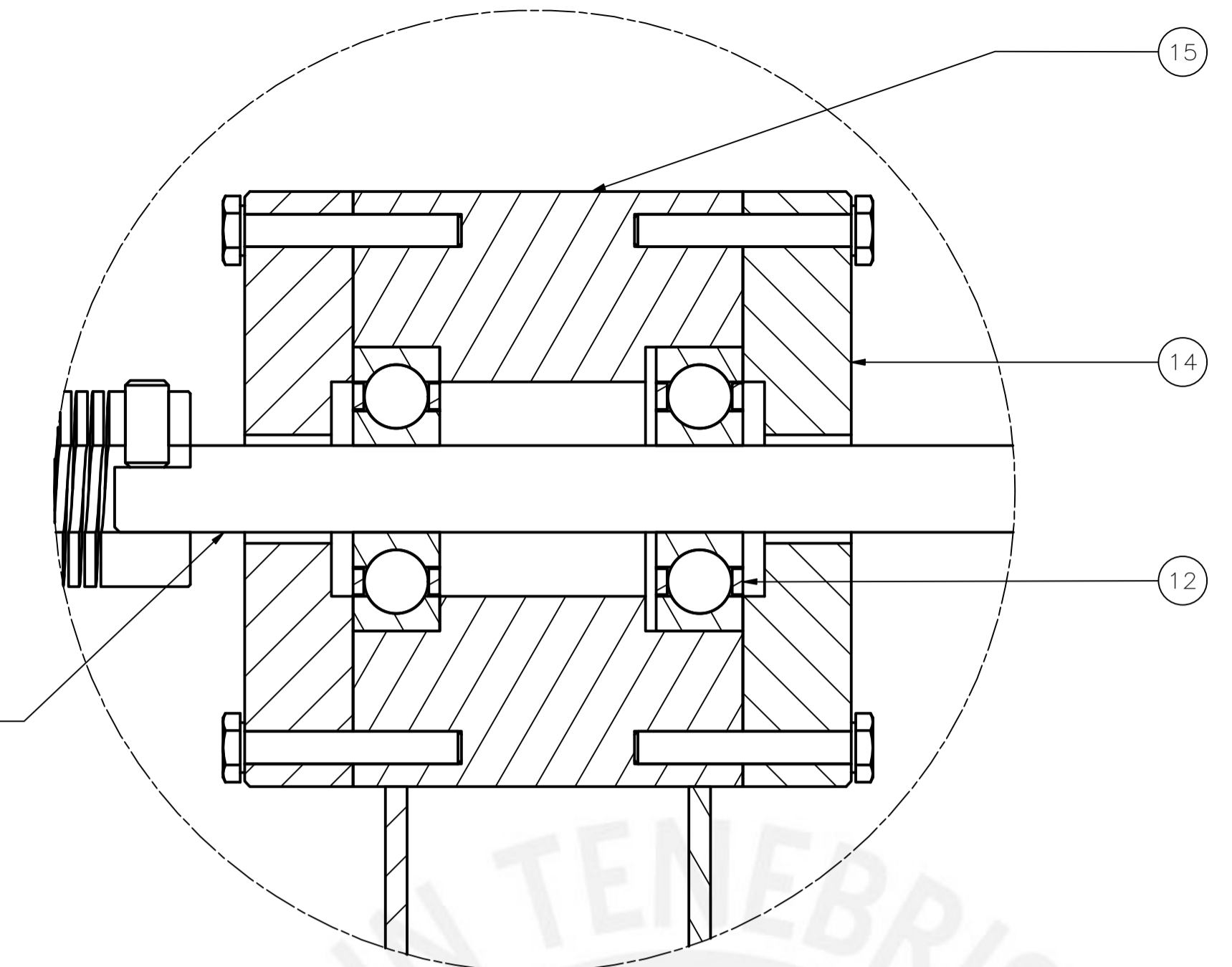
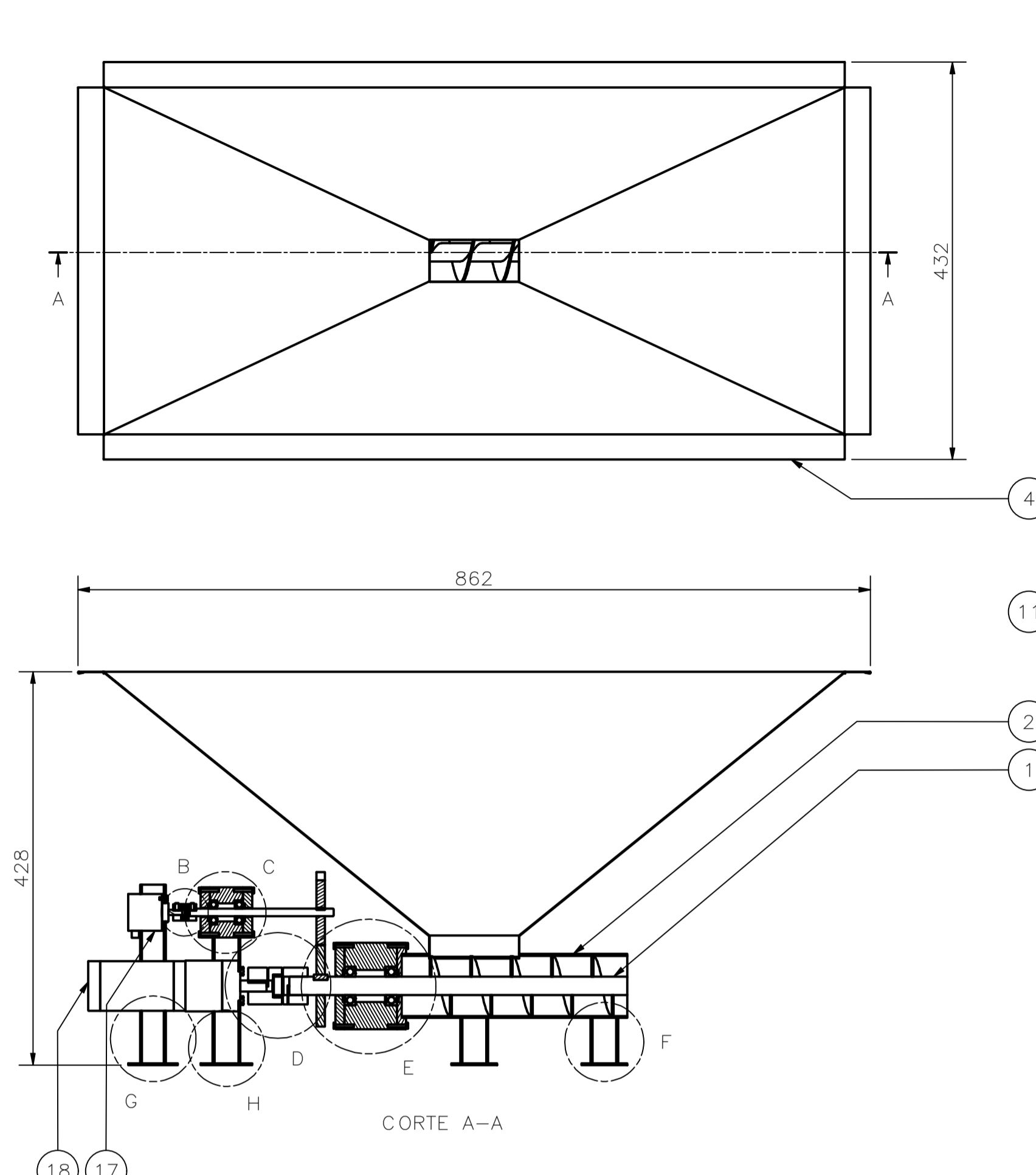
ITEM: BASE SOPORTE ENCODER CORTE  
 CANTIDAD: 1  
 ESCALA: 1:1  
 ESPESOR: 2 mm



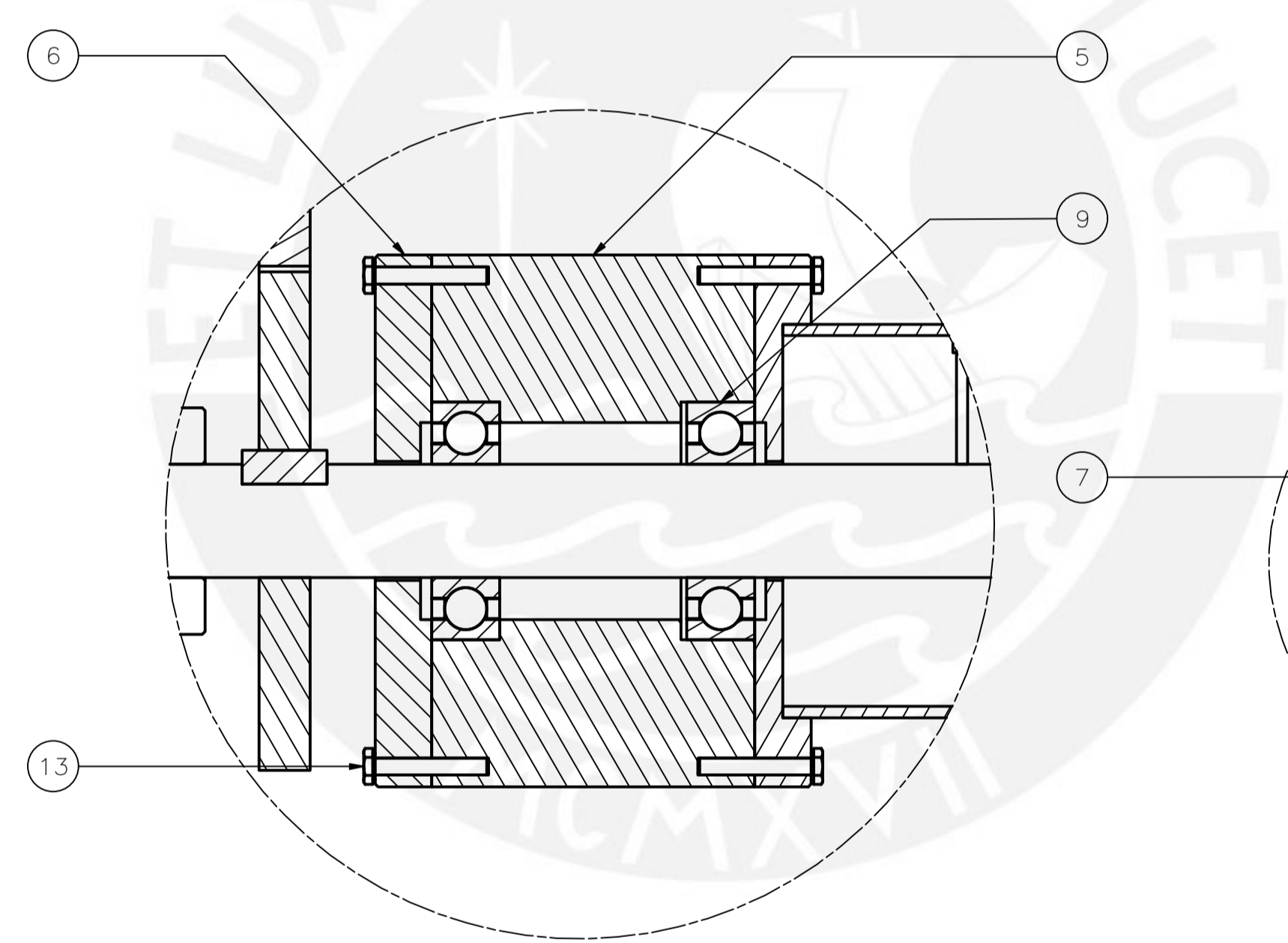
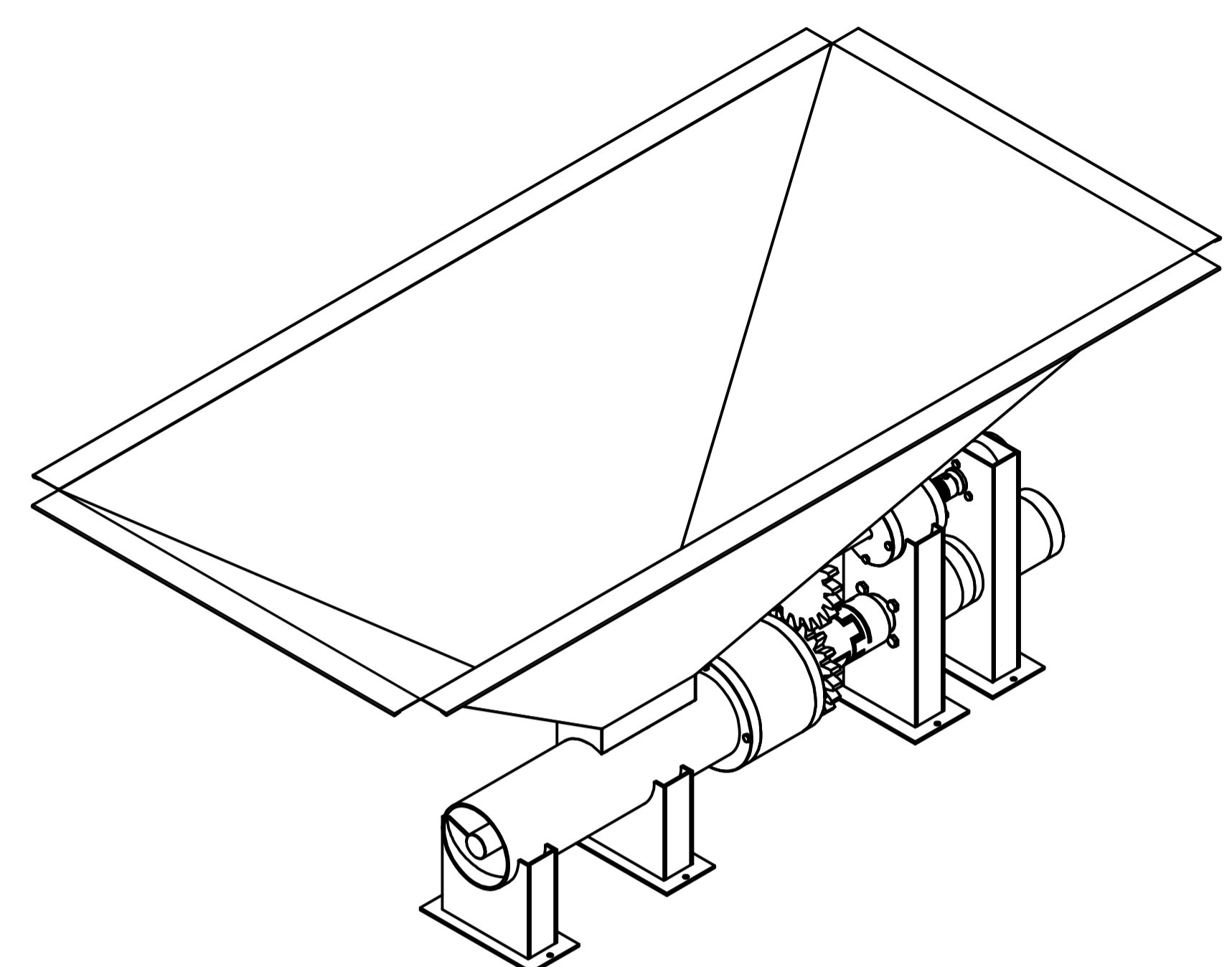
ITEM: SOPORTE 2 APOYO ENCODER CORTE  
 CANTIDAD: 2  
 ESCALA: 1:2  
 ESPESOR: 2 mm

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	SOPORTE APOYO ENCODER CORTE	
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.05
		LÁMINA: PD41 – A3

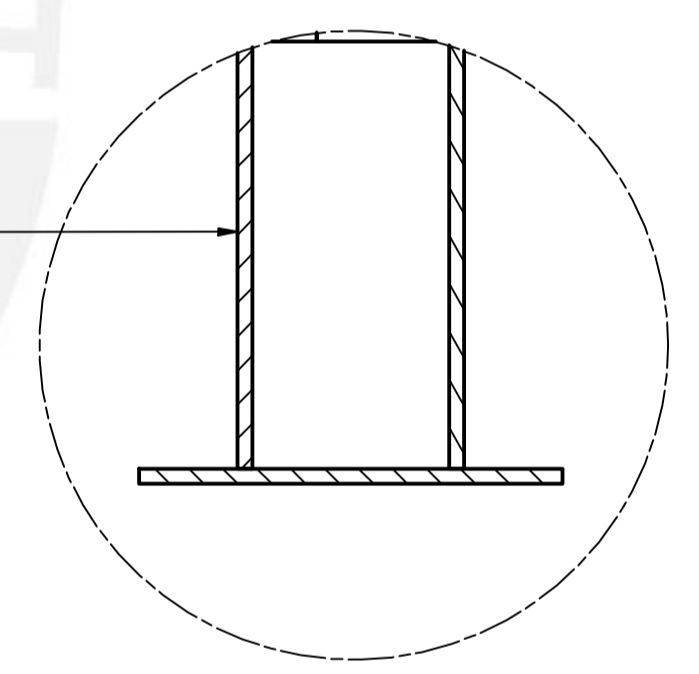
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



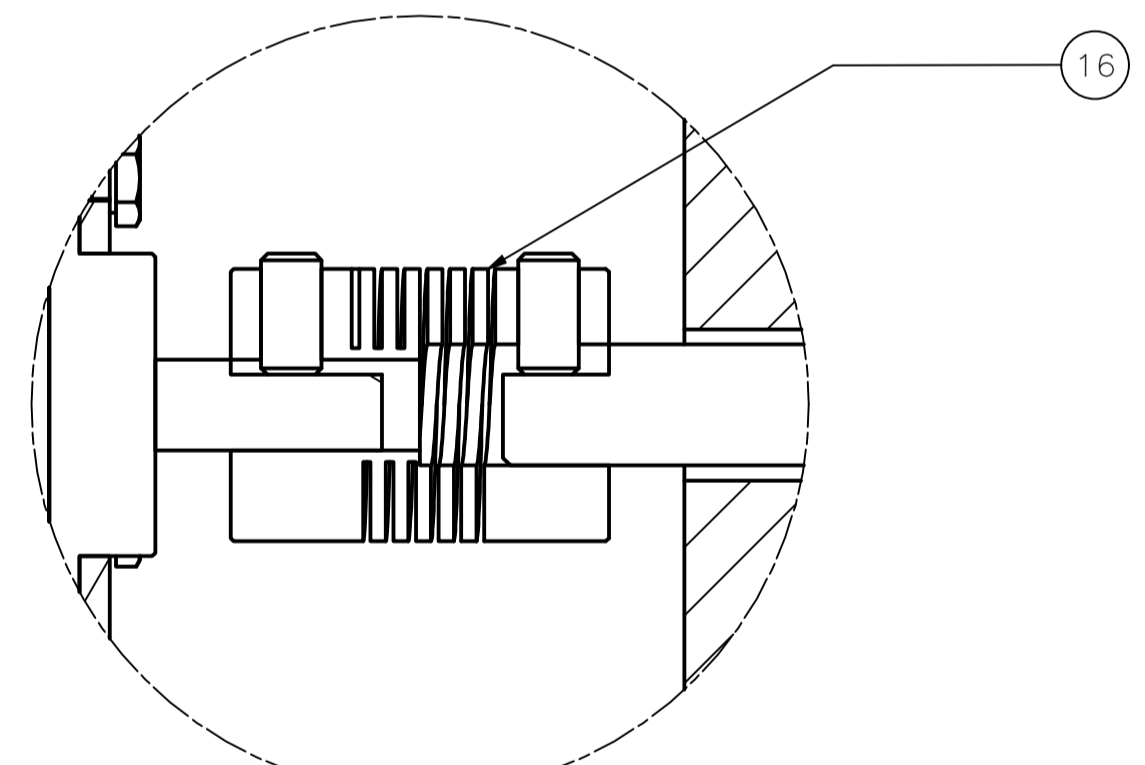
DETALLE C  
ESCALA 2 : 1



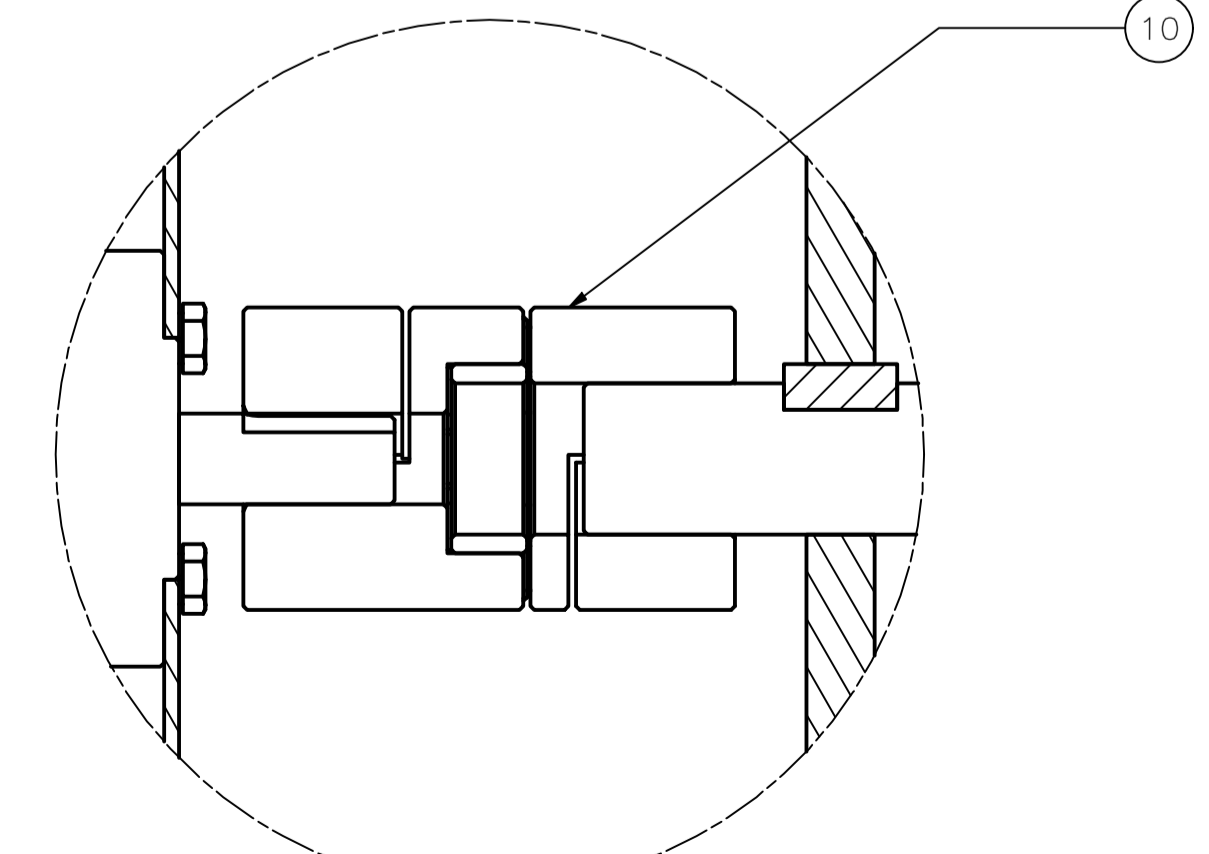
DETALLE E  
ESCALA 1 : 1



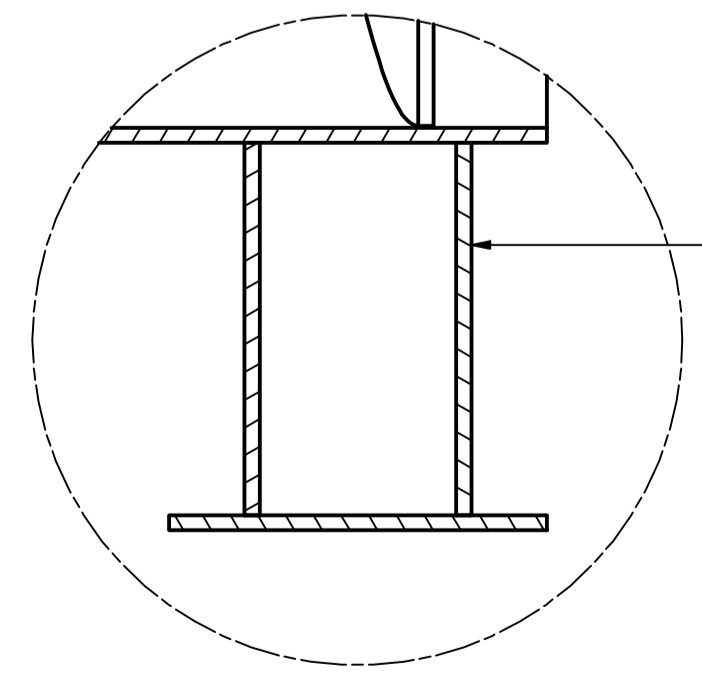
DETALLE H  
ESCALA 1 : 1



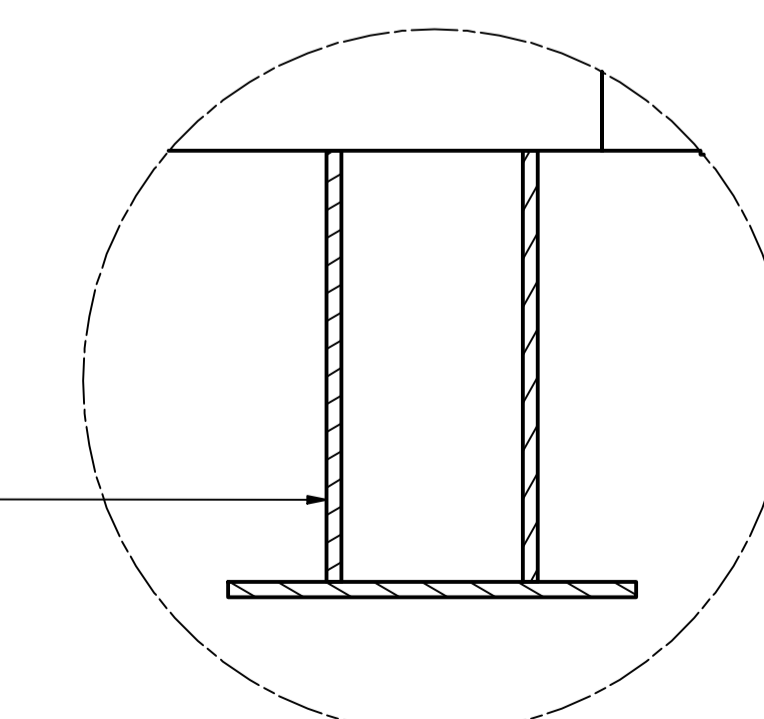
DETALLE B  
ESCALA 2 : 1



DETALLE D  
ESCALA 1 : 1



DETALLE F  
ESCALA 1 : 1

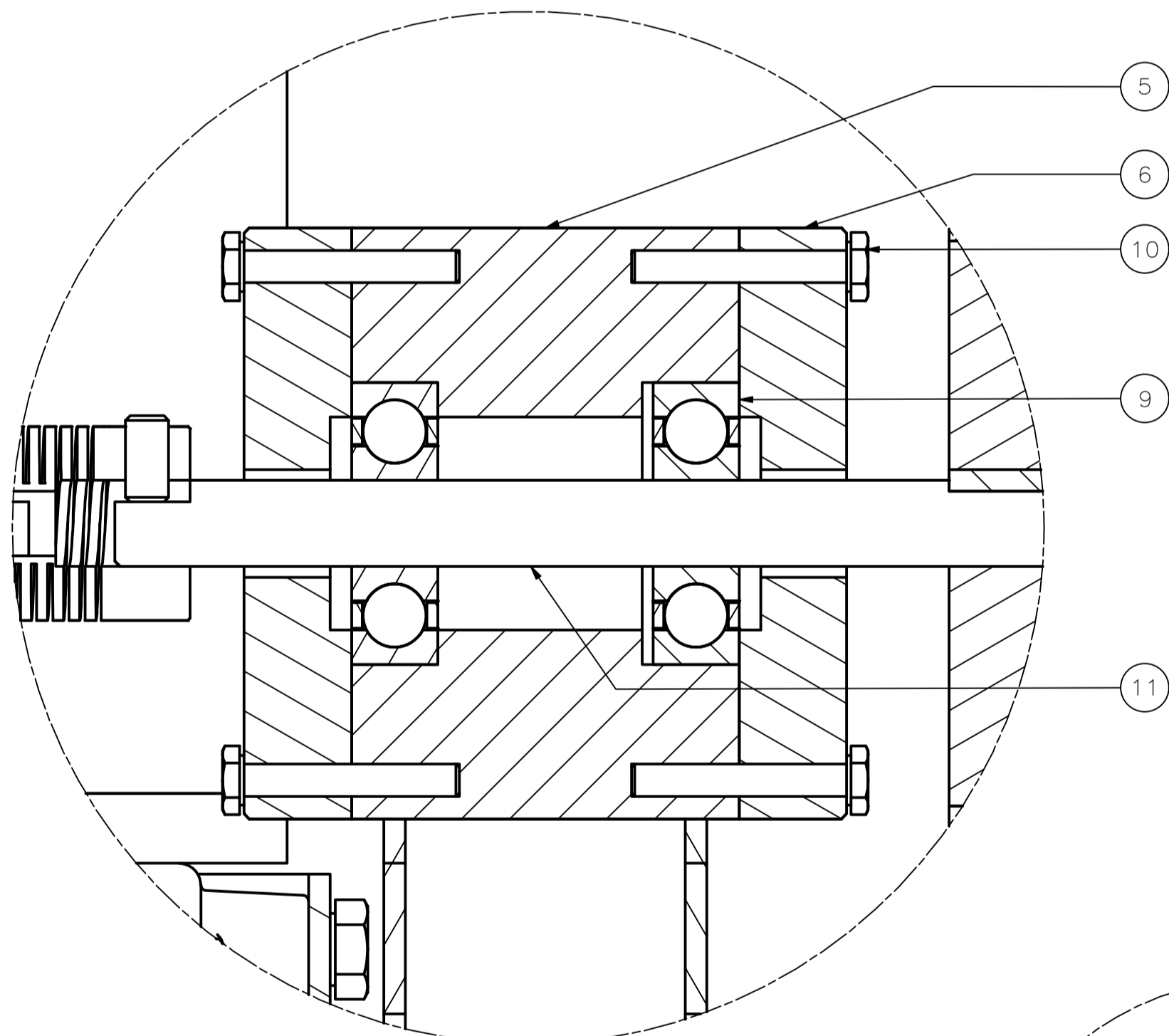
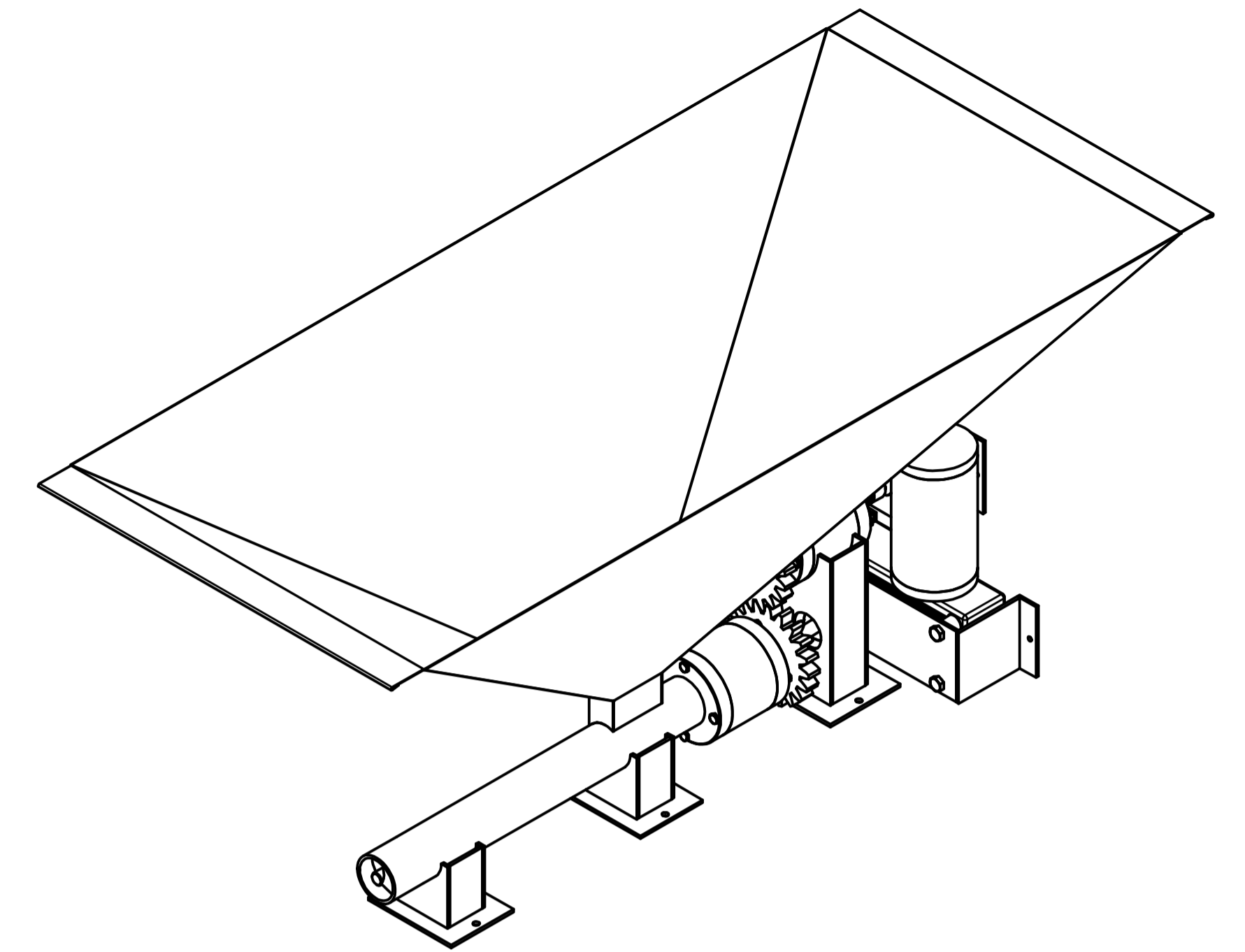
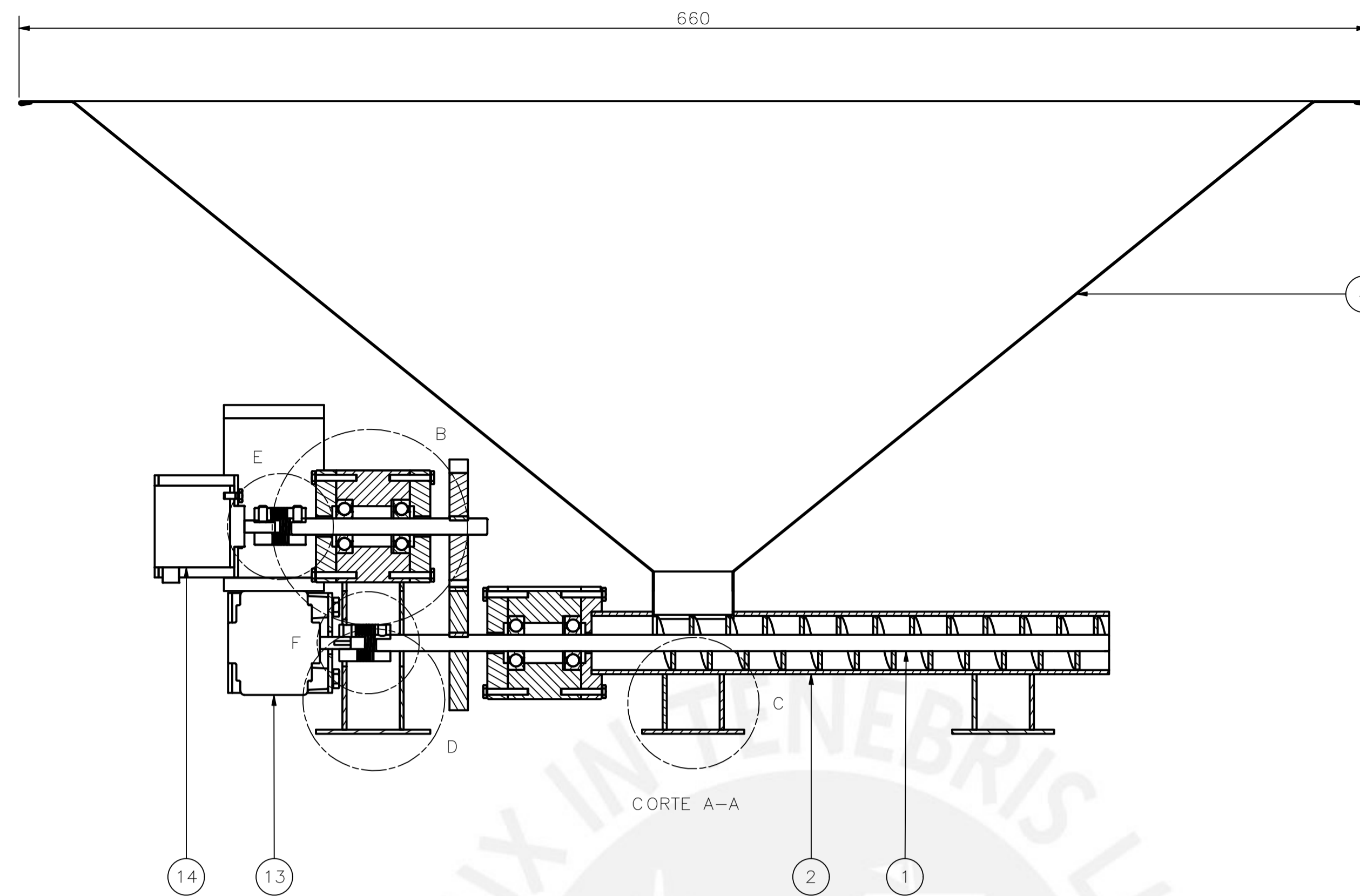
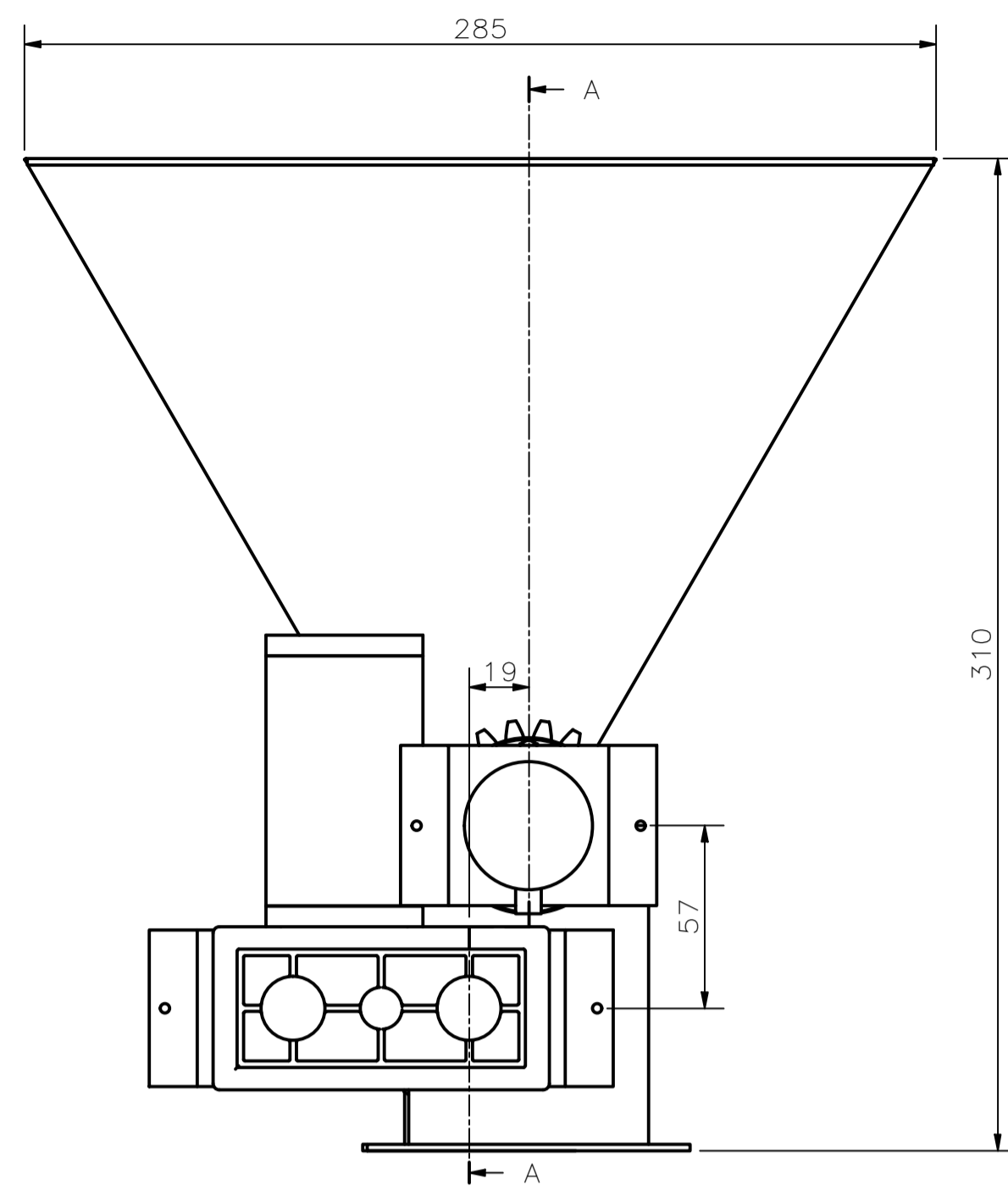


DETALLE G  
ESCALA 1 : 1

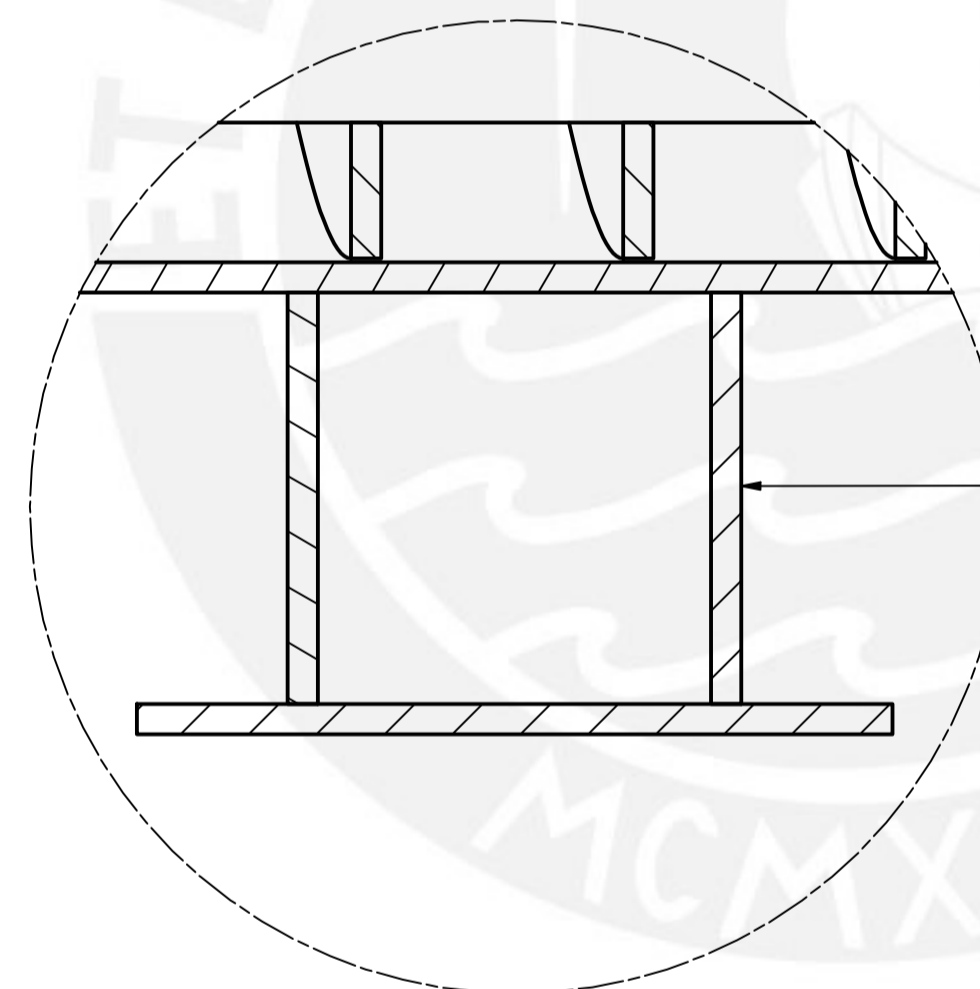
18	1	ENCODER			
17	1	MOTOR BOW			
16	1	ACOPLE FLEXIBLE 6x8		ALUMINIO	
15	1	APOYO RODAMIENTOS MASTERBATCH	ASTM A182 - F61	ACERO	VER PD16
14	2	TAPA RODAMIENTOS MASTERBATCH	ASTM A182 - F61	ACERO	VER PD17
13	16	TORNILLO M3x20	DIN 931 - 1	ACERO	
12	2	RODAMIENTO SKF 628			
11	1	EJE ENCODER ESCAMAS	ASTM A276	ACERO	VER PD11
10	1	ACOPLE FLEXIBLE 12x20		ALUMINIO	
9	2	RODAMIENTO SKF 6004 - 2RSL			
8	1	SOPORTE ENCODER ESCAMAS	ASTM A36	ACERO	VER PD8
7	1	SOPORTE MOTOR ESCAMAS	ASTM A36	ACERO	VER PD7
6	1	TAPA RODAMIENTOS ESCAMAS	ASTM A182 - F61	ACERO	VER PD6
5	1	APOYO RODAMIENTOS ESCAMAS	ASTM A182 - F61	ACERO	VER PD5
4	1	TOLVA Y GARGANTA ESCAMAS	INOX 304	ACERO	VER PD4
3	2	SOPORTE CILINDRO ESCAMAS	ASTM A36	ACERO	VER PD3
2	1	CILINDRO Y TAPA ESCAMAS		ACERO	VER PD2
1	1	TORNILLO ESCAMAS	ASTM A276	ACERO	VER PD1
POS. CANT.		DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	<b>SISTEMA SUMINISTRO DE ESCAMAS</b>	<b>1:5</b>
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.06
		LÁMINA: PE1 - A1

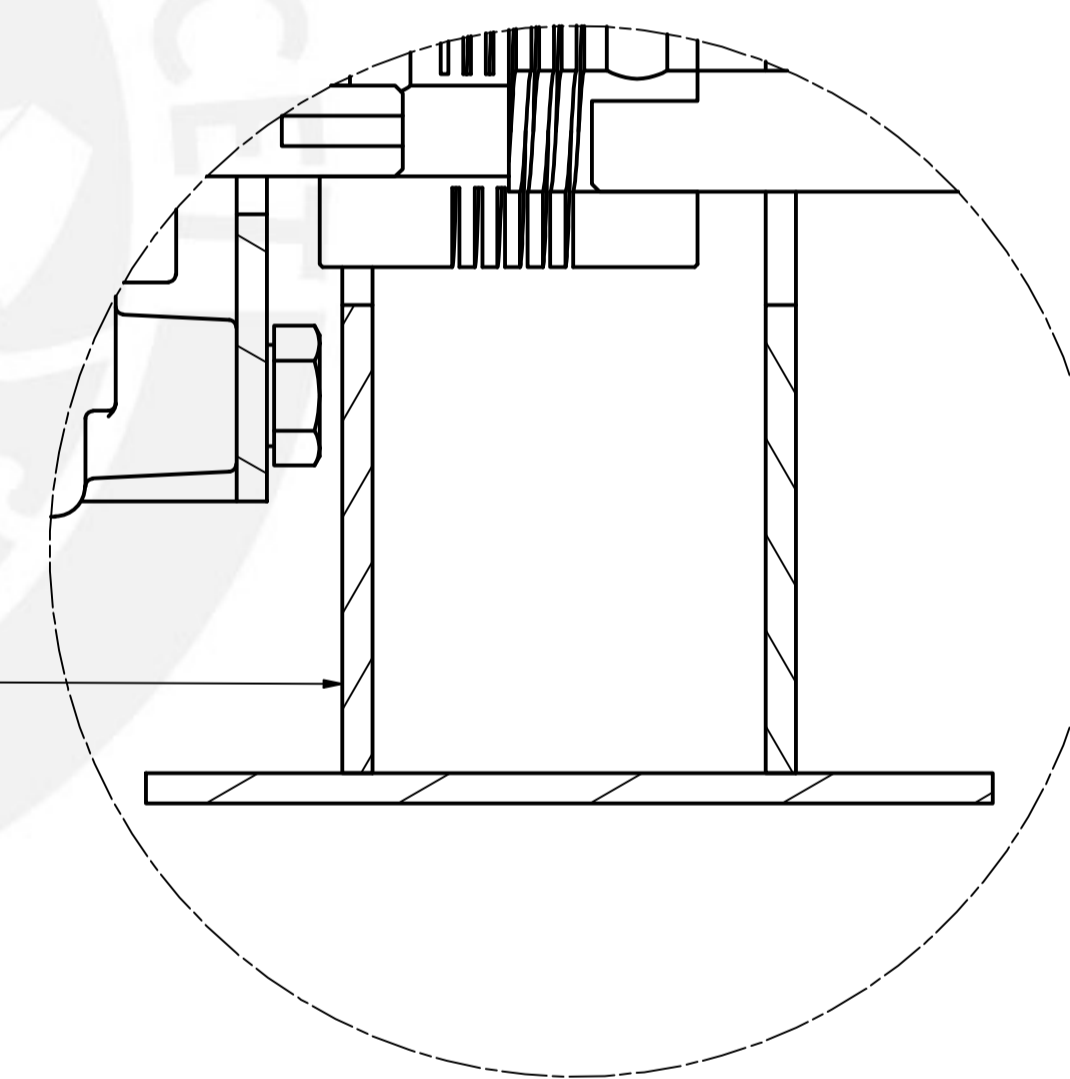
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



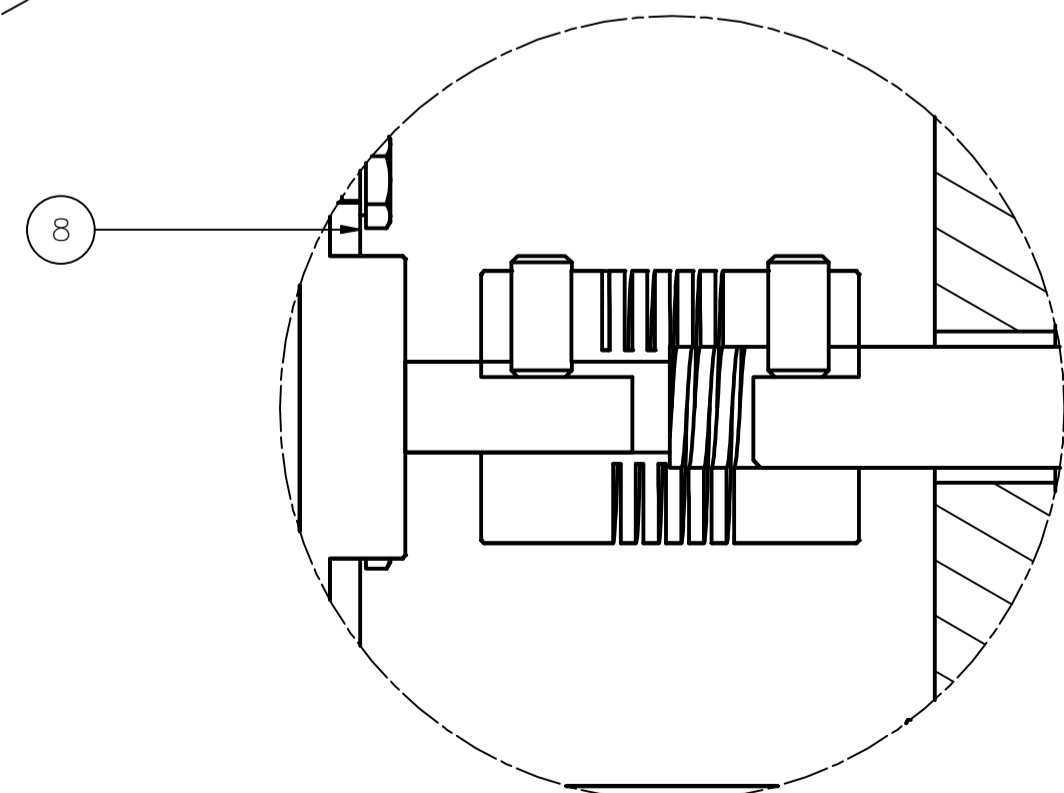
DETALLE B  
ESCALA 2 : 1



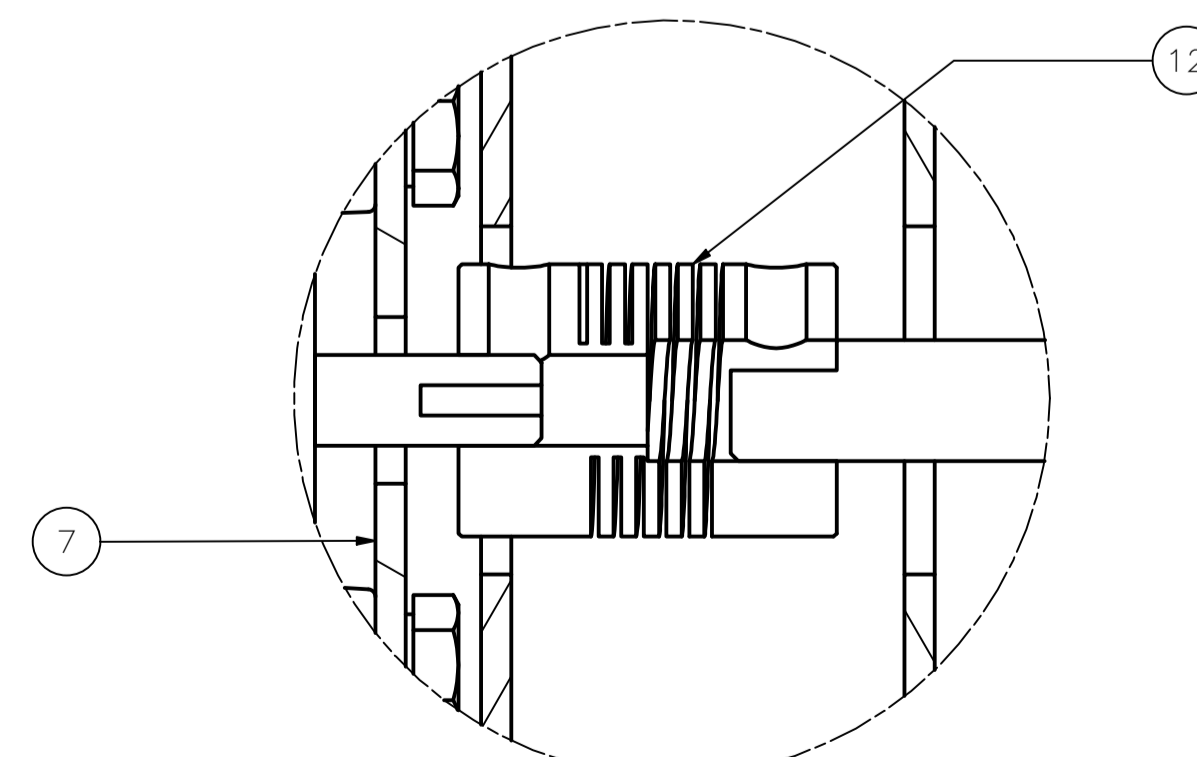
DETALLE C  
ESCALA 2 : 1



DETALLE D  
ESCALA 2 : 1



DETALLE E  
ESCALA 2 : 1

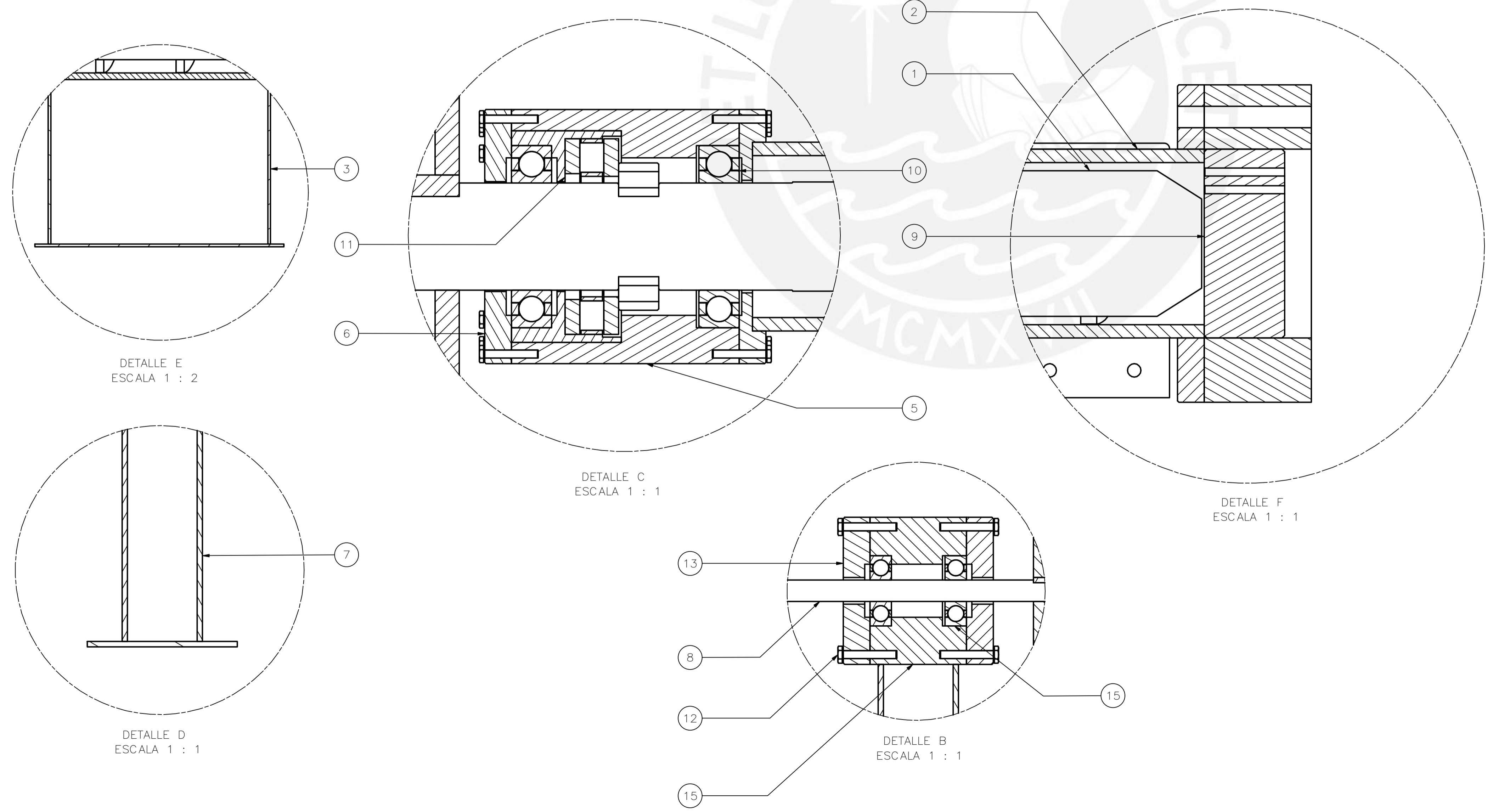
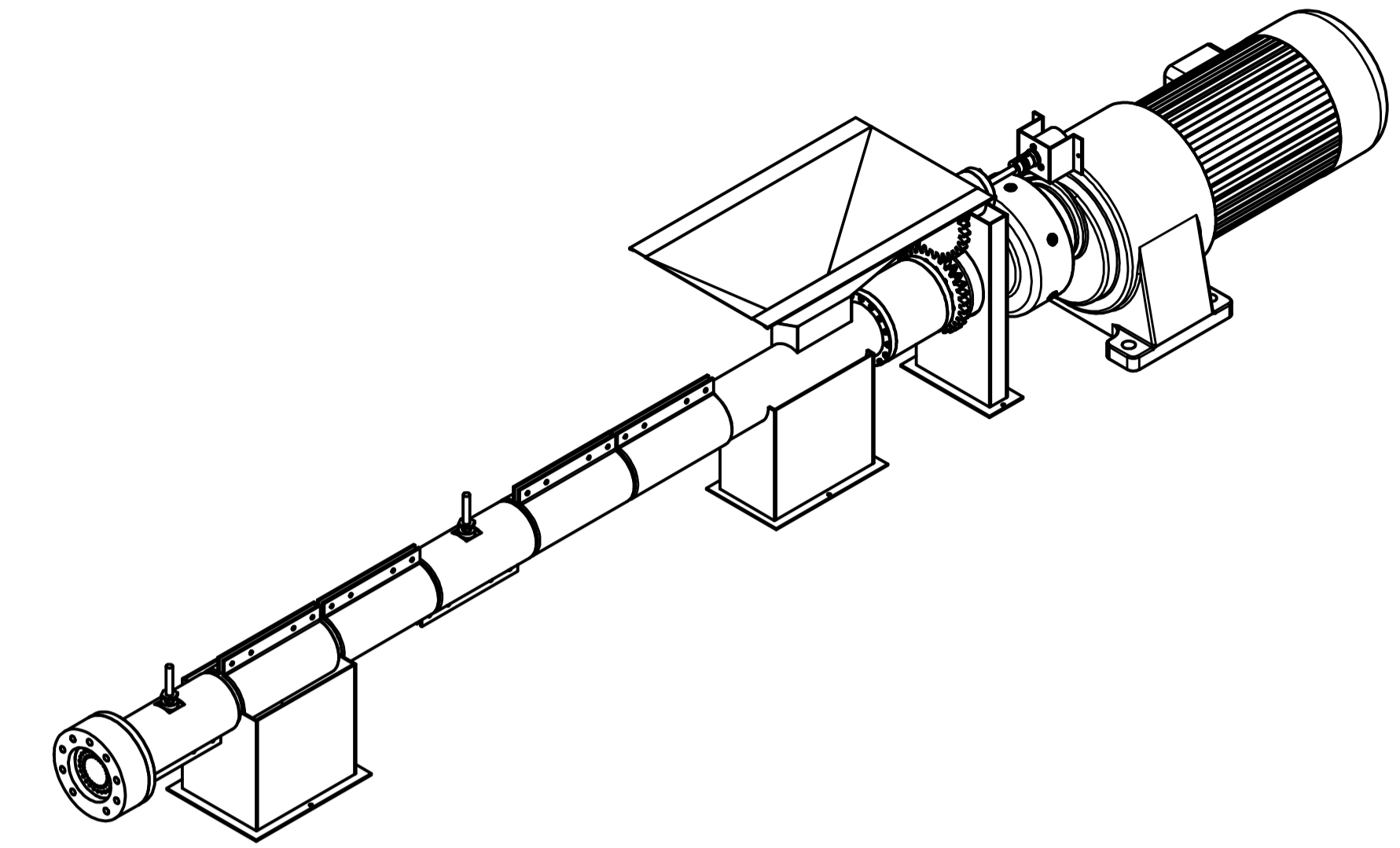
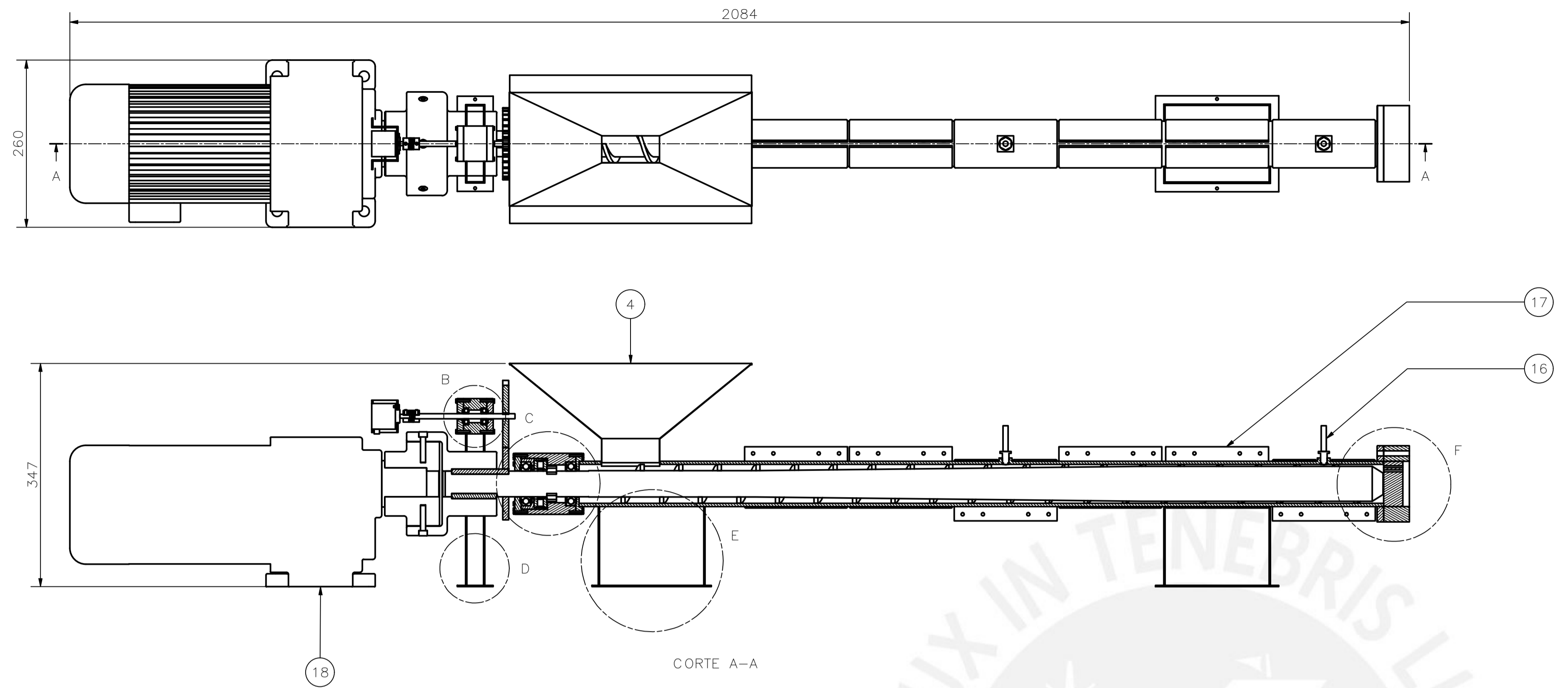


DETALLE F  
ESCALA 2 : 1

15	1	APOYO ENCODER MASTERBATCH	ASTM A36	ACERO	VER PD38
14	1	ENCODER			
13	1	MOTOR 20W			
12	2	ACOPLE FLEXIBLE 6x8		ALUMINIO	
11	1	EJE ENCODER MASTERBATCH	ASTM A276	ACERO	VER PD22
10	16	TORNILLO M3x20	DIN 931 - 1	ACERO	
9	4	RODAMIENTO SKF 628			
8	1	SOPORTE ENCODER MASTERBATCH	ASTM A36	ACERO	VER PD19
7	1	SOPORTE MOTOR MASTERBATCH	ASTM A36	ACERO	VER PD18
6	4	TAPA RODAMIENTOS MASTERBATCH	ASTM A182 - F61	ACERO	VER PD17
5	2	APOYO RODAMIENTOS MASTERBATCH	ASTM A182 - F61	ACERO	VER PD16
4	1	TOLVA Y GARGANTA MASTERBATCH	INOX 304	ACERO	VER PD15
3	2	SOPORTE CILINDRO MASTERBATCH	ASTM A36	ACERO	VER PD14
2	1	CILINDRO Y TAPA MASTERBATCH		ACERO	VER PD13
1	1	TORNILLO MASTERBATCH	ASTM A276	ACERO	VER PD12
POS. CANT.		DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	<b>SISTEMA SUMINISTRO DE MASTERBATCH</b>	<b>1:2</b>
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.07
		LÁMINA: A1 - PE2

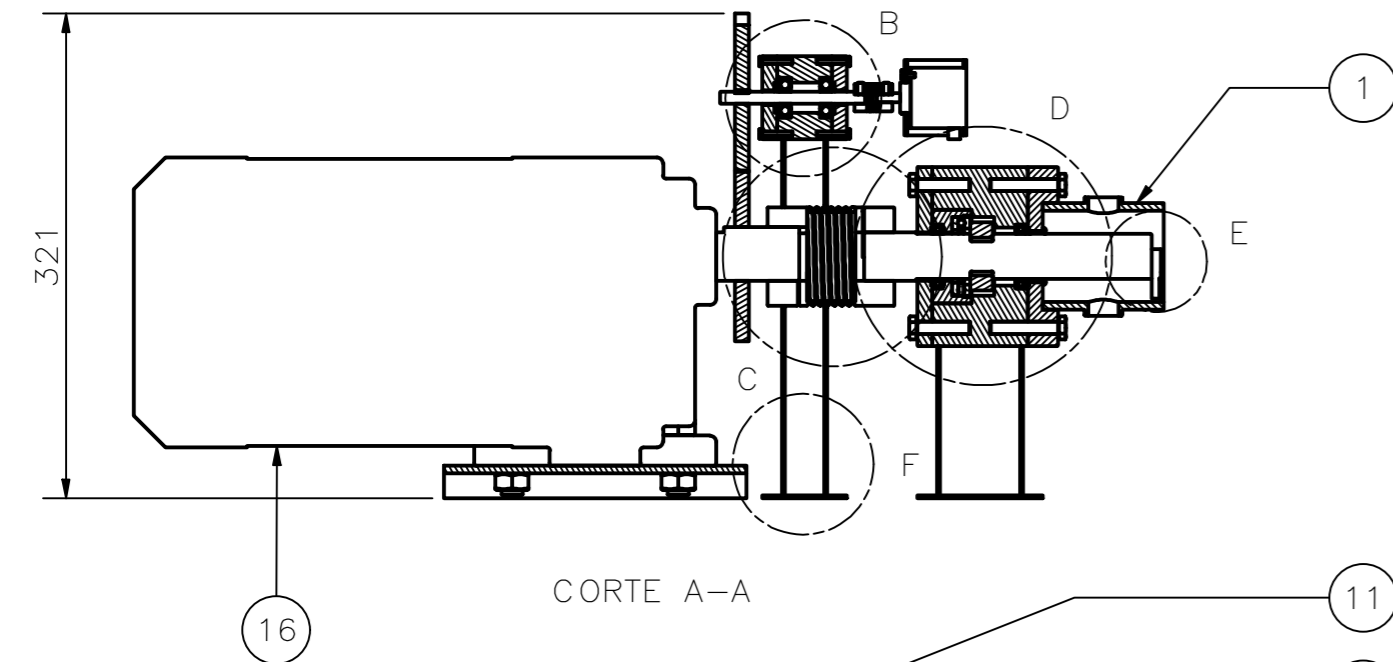
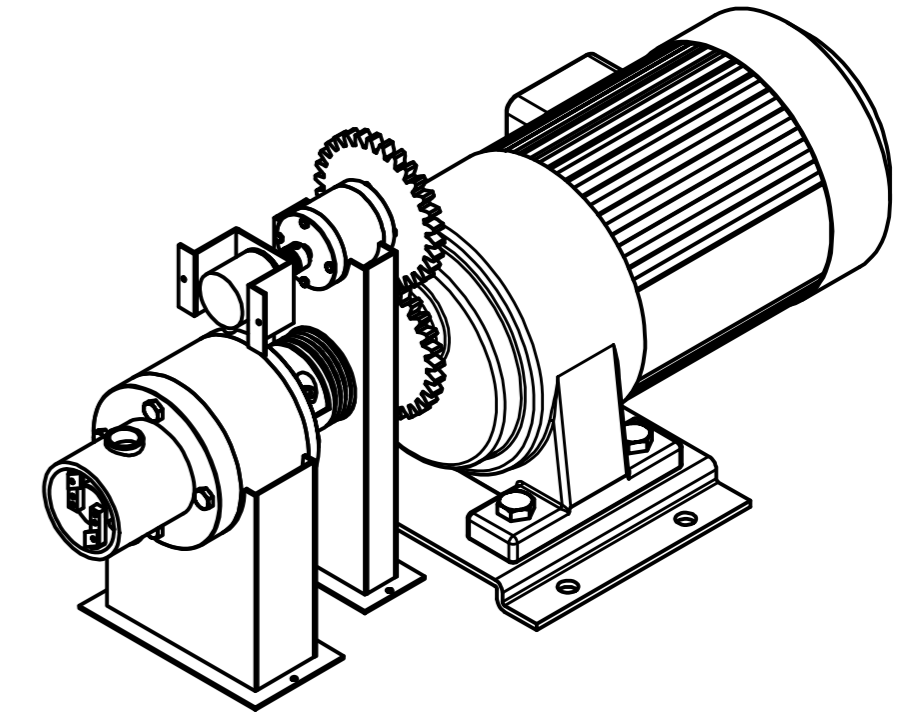
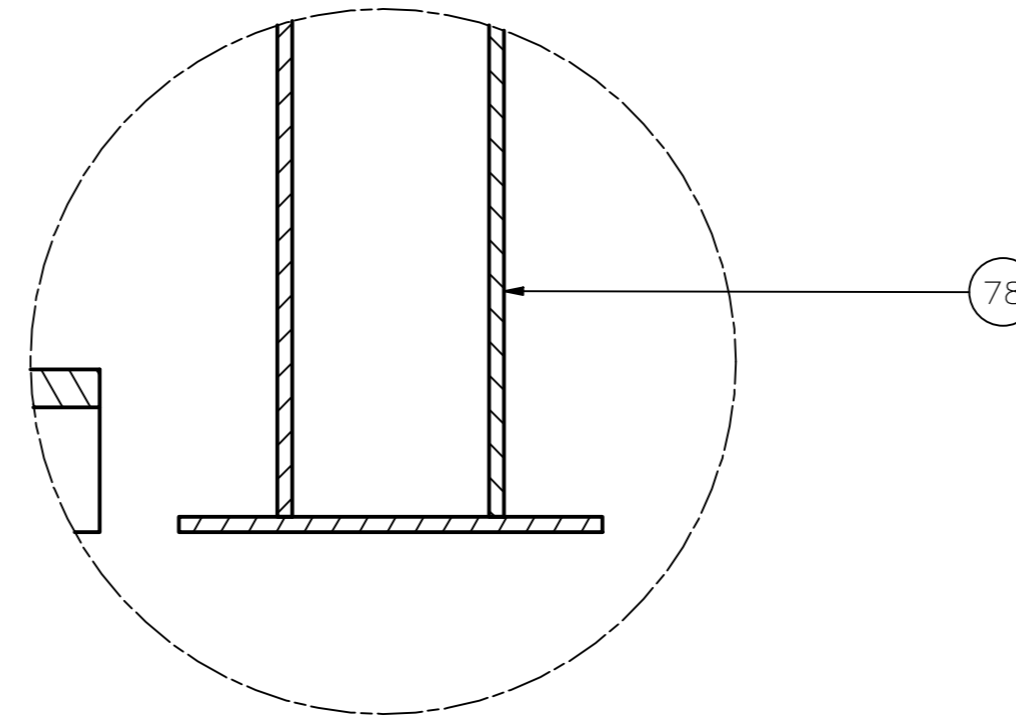
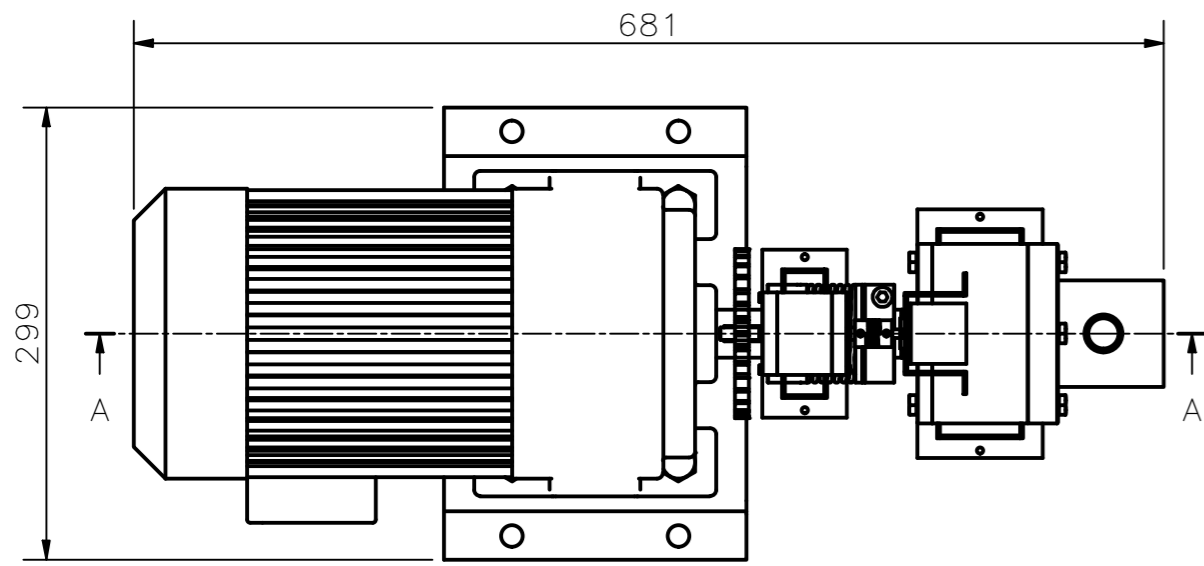
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



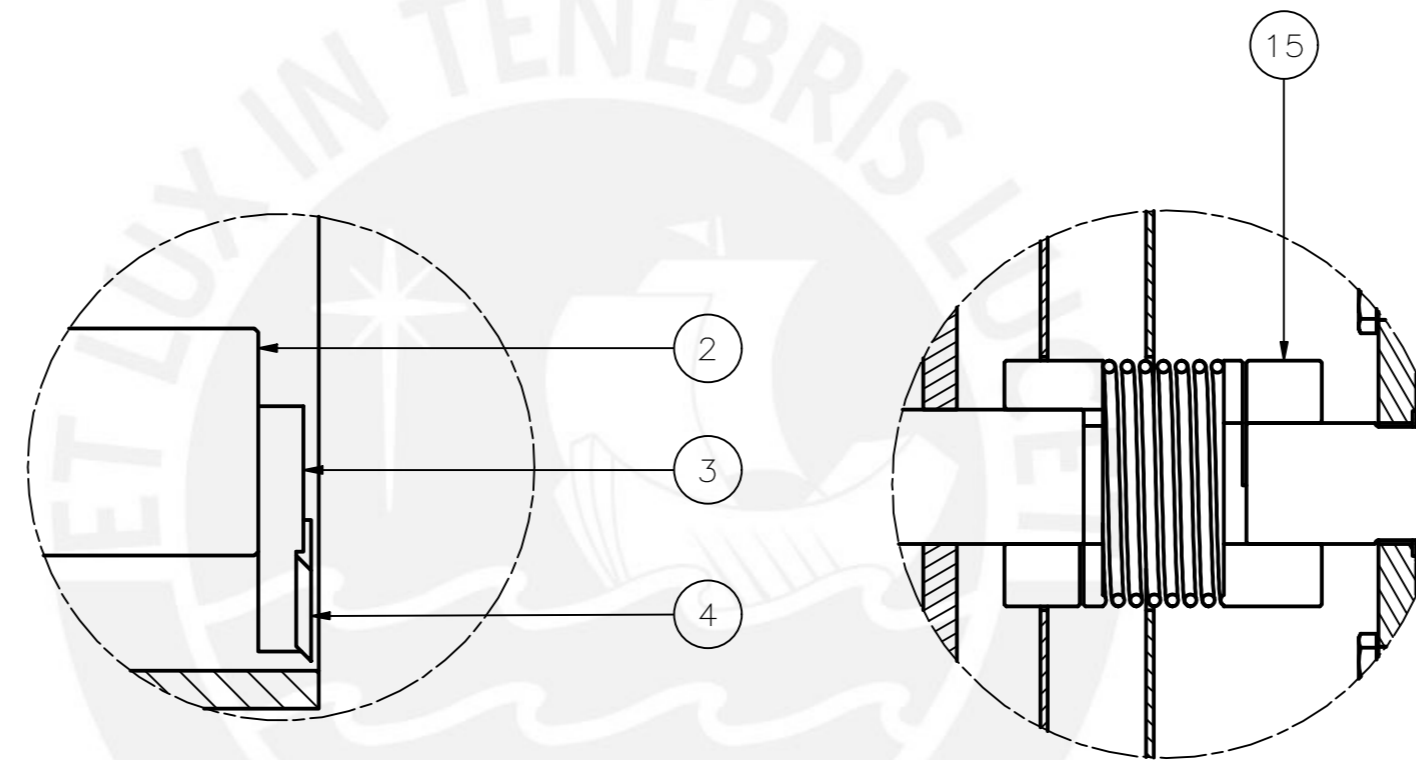
18	1	MOTOR AC 3.7 kW			
17	6	RESISTENCIA CALENTADORA			
16	2	TERMOCUPLA			
15	2	RODAMIENTO SKF628			
14	1	APOYO RODAMIENTOS MASTERBATCH	ASTM A182 F61	ACERO	VER PD16
13	2	TAPA RODAMIENTOS MASTERBATCH	ASTM A182 F61	ACERO	VER PD17
12	40	TORNILLO M3x20	DIN 931-1	ACERO	
11	1	RODAMIENTO AXIAL SKF B1209 TN			
10	2	RODAMIENTO SKF 6008			
9	1	MATRIZ DE EXTRUSION	ASTM A182 F61	ACERO	VER PD31
8	1	EJE ENCODER FUNDICION	ASTM A276	ACERO	VER PD30
7	1	SOPORTE APOYO ENCODER FUNDICION	ASTM A36	ACERO	VER PD29
6	1	TAPA RODAMIENTOS FUNDICION	ASTM A182 F61	ACERO	VER PD28
5	1	APOYO RODAMIENTOS FUNDICION	ASTM A182 F61	ACERO	VER PD27
4	1	TOLVA Y GARGANTA FUNDICION	INOX 304	ACERO	VER PD26
3	2	SOPORTE CILINDRO FUNDICION	ASTM A36	ACERO	VER PD25
2	1	CAMARA DE FUNDICION		ACERO	VER PD24
1	1	HUSILLO EXTRUSOR	ASTM A276		VER PD23
POS. CANT.		DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	<b>SISTEMA DE FUNDICIÓN Y EXTRUSIÓN</b>	<b>1:5</b>
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.08
		LÁMINA: A1 – PE3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

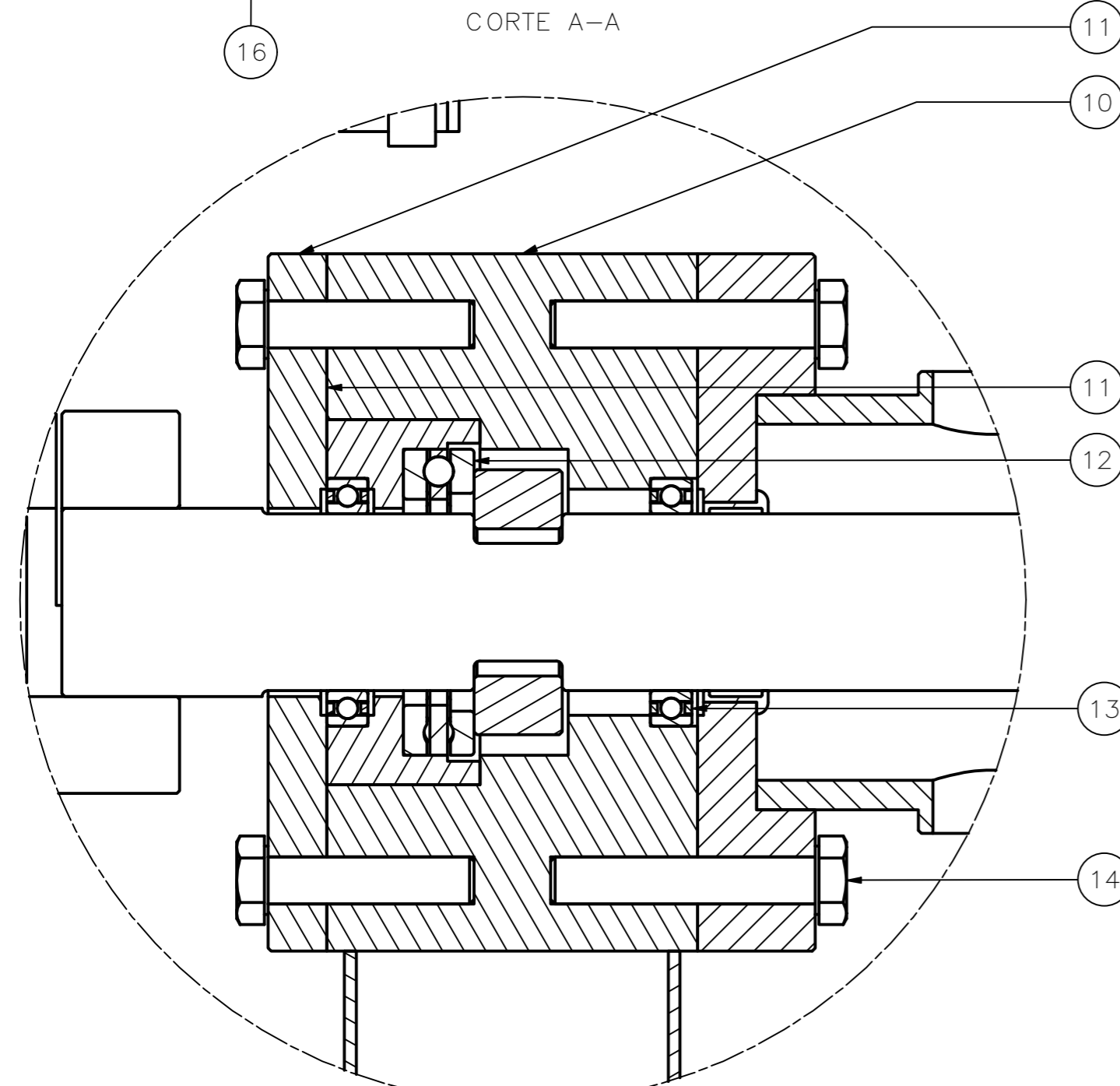


DETALLE F  
ESCALA 1 : 1

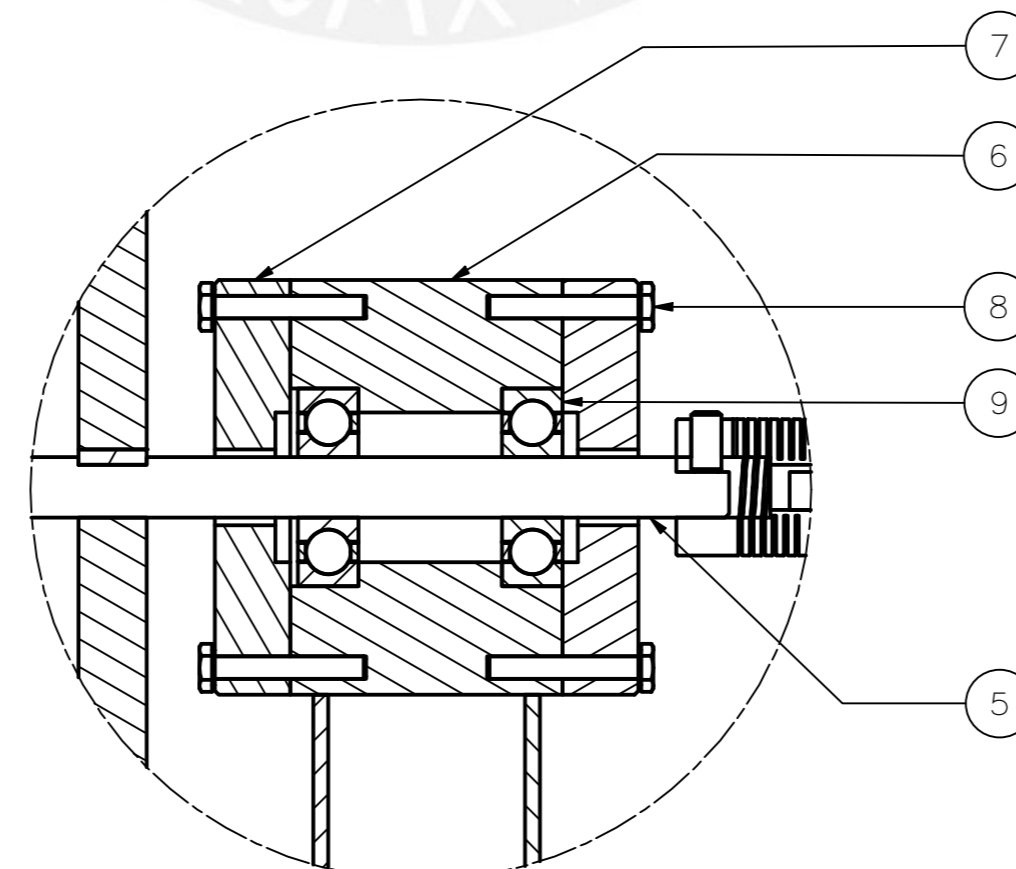


DETALLE E  
ESCALA 1 : 1

DETALLE C  
ESCALA 1 : 2



DETALLE D  
ESCALA 1 : 1



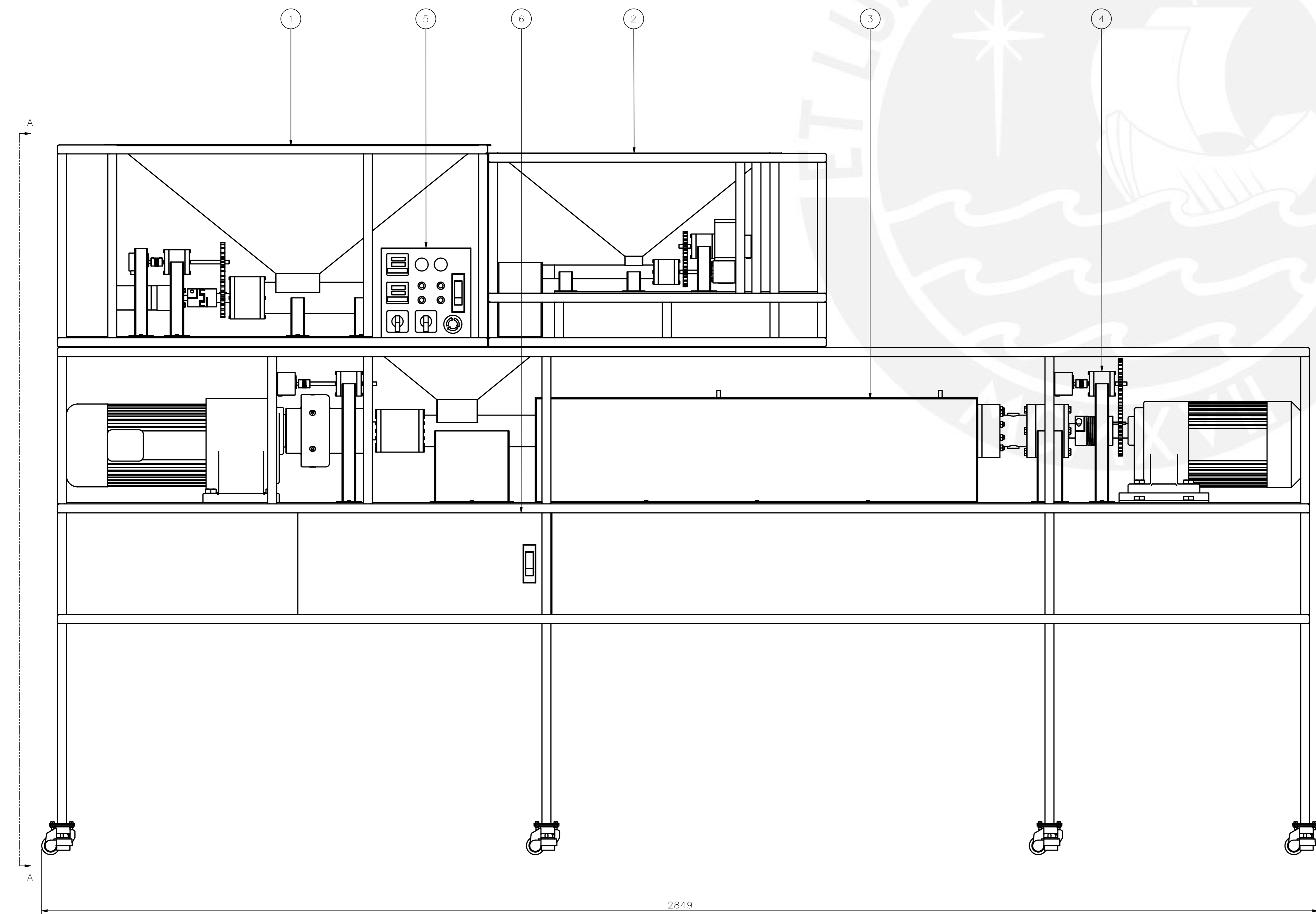
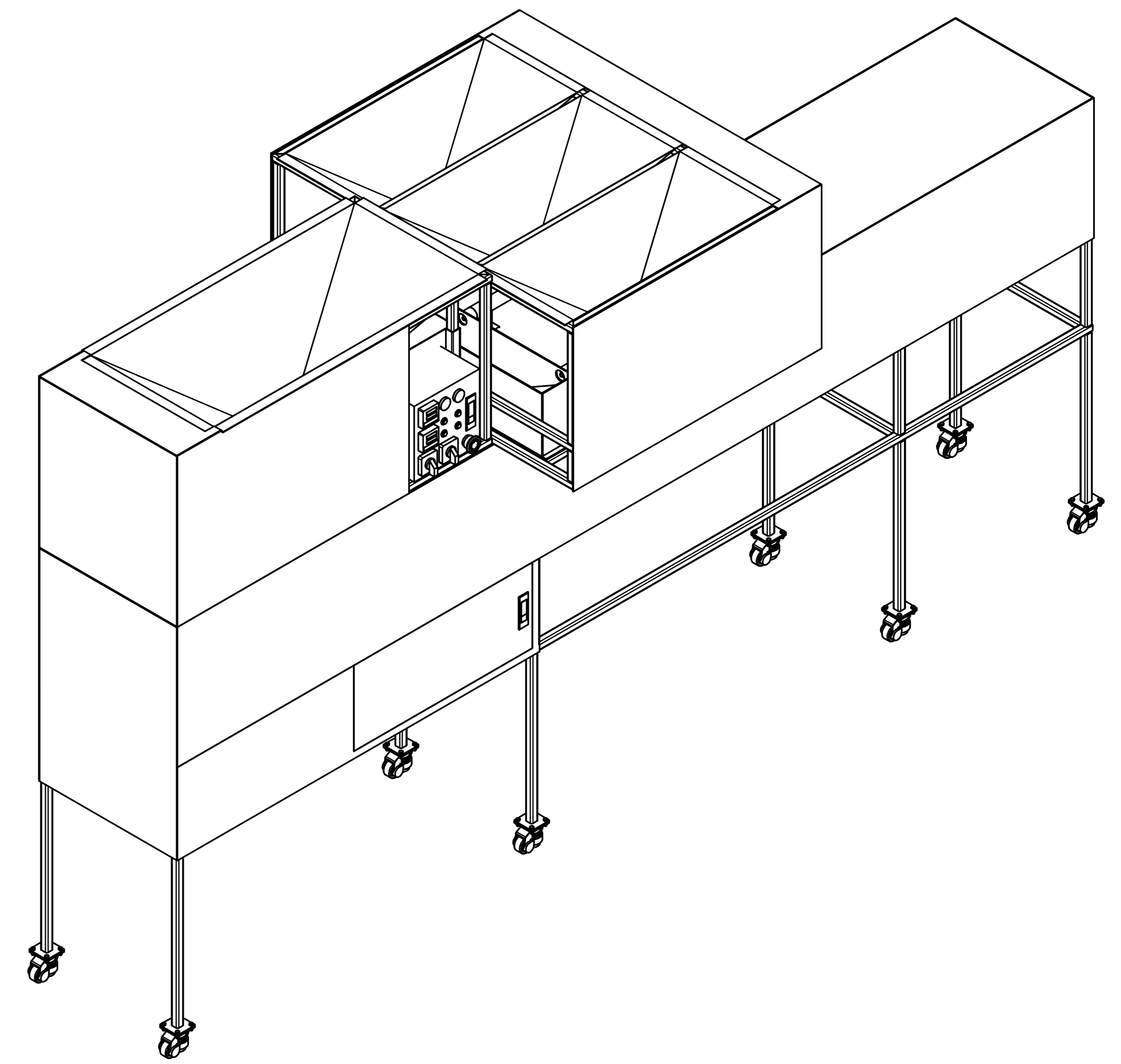
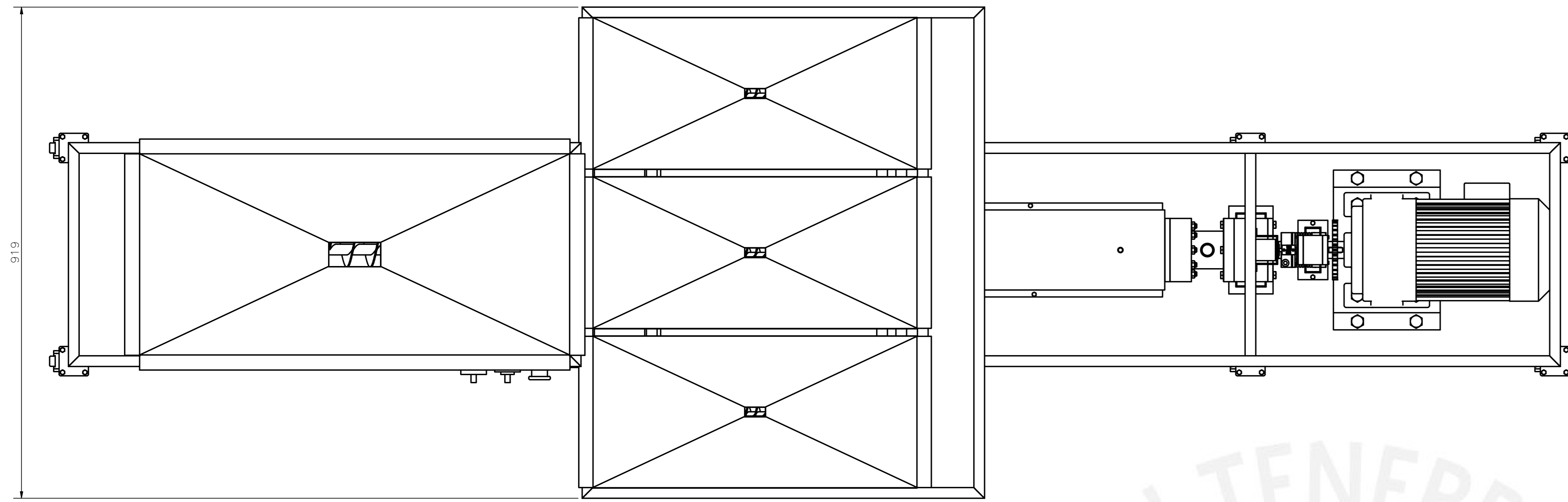
DETALLE B  
ESCALA 1 : 1

16	1	MOTOR AC 1.4kW			
15	1	ACOPLE TIPO FUELLE 32x32			
14	8	TORNILLO M8x45	DIN 931 - 1	ACERO	
13	2	RODAMIENTO SKF 61806 - 2RS1			
12	1	RODAMIENTO SKF AXIAL 81107 TN			
11	1	TAPA APOYO RODAMIENTOS CORTE	ASTM A182 F61	ACERO	VER PD40
10	1	APOYO RODAMIENTOS CORTE	ASTM A182 F61	ACERO	VER PD39
9	2	RODAMIENTO SKF628			
8	8	TORNILLO M3x20		ACERO	
7	2	TAPA APOYO RODAMIENTOS MASTERBATCH	ASTM A182 F61	ACERO	VER PD17
6	1	APOYO RODAMIENTOS MASTERBATCH	ASTM A182 F61	ACERO	VER PD16
5	1	EJE ENCODER CORTE	ASTM A276	ACERO	VER PD36
4	2	CUCHILLA	K110 D - 2	ACERO	VER PD35
3	2	PORTACUCHILLA	INOX 304	ACERO	VER PD34
2	1	EJE PORTACUCHILLAS	ASTM A276	ACERO	VER PD33
1	1	CAMARA DE ENFRIAMIENTO		ACERO	VER PD32
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO	ESCALA
	<b>SISTEMA DE CORTE</b>	<b>1:5</b>
20162903	VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI	FECHA: 2022.12.09
		LÁMINA: PE4 - A2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



VISTA A-A

6	1	CAJA ELECTRICA - ELECTRONICA			
5	1	PANEL DE CONTROL			
4	1	SISTEMA DE CORTE			VER PE4
3	1	SISTEMA DE FUNDICION Y EXTRUSION			VER PE3
2	1	SISTEMA DE SUMINISTRO DE MASTERBATCH			VER PE2
1	1	SISTEMA DE SUMINISTRO DE ESCAMAS			VER PE1
POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - INGENIERIA MECATRONICA					
		DISEÑO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO <b>MÁQUINA EXTRUSORA PELETIZADORA DE PET</b>			ESCALA <b>1:5</b>
20162903		VEGA SORIA, BRANDON GIOVANNI			FECHA: 2022.12.10 LÁMINA: PES - A0

COTA NOMINAL COTA MÁXIMA COTA MÍNIMA

