

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño mecánico del módulo peletizador para línea de
reciclaje de botellas de tereftalato de polietileno**

Trabajo de graduación presentado por Yessika María Quintanilla Muñoz
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica
Industrial

Guatemala
2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño mecánico del módulo peletizador para línea de
reciclaje de botellas de tereftalato de polietileno**

Trabajo de graduación presentado por Yessika María Quintanilla Muñoz
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica
Industrial

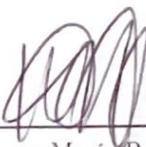
Guatemala
2024

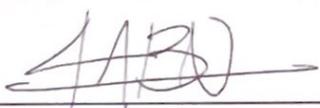
Vo.Bo.:

(f) 
Ing. César Alberto Rosales Gómez

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. César Alberto Rosales Gómez

(f) 
Ing. Laura María Roldán Reyes

(f) 
Ing. José Antonio Bagur Nájera

Fecha de aprobación: Guatemala, 4 de enero de 2024.

Lista de figuras	VI
Lista de cuadros	VII
Resumen	IX
I. Introducción	1
II. Justificación	3
III. Objetivos	5
A. Objetivo general	5
B. Objetivos específicos	5
IV. Marco teórico	1
A. Tereftalato de polietileno	1
B. Reciclaje mecánico	3
C. Preparación del material	4
D. <i>Pellets</i>	6
E. Peletizadora	7
1. Dado peletizador	8
2. Sistema de enfriamiento	9
3. Cámara de corte	10
4. Sistema de movimiento	10
V. Metodología	11
A. Selección de sistema de peletización	12
B. Requisitos	12
C. Cálculos y resultados	13
1. Especificaciones de diseño	13
2. <i>Pellets</i>	14
3. Dado peletizador	15
4. Baño de agua	23

5. Factor de seguridad	32
6. Cámara de corte	33
7. Selección del motor	39
8. Transmisión de potencia	39
9. Dimensionamiento de ejes	41
10. Selección de chumaceras	47
D. Simulación	48
1. Tipo de análisis	49
2. Material	49
3. Soportes, contactos y cargas	49
4. Mallado	52
5. Resultados de la simulación	52
E. Cotización de materiales	56
F. Equipo de seguridad	59
1. Riesgos	59
2. Equipo de seguridad	60
VI. Resultados	61
A. Diseño	61
B. Requisitos	68
VII. Conclusiones	69
VIII. Recomendaciones	71
IX. Bibliografía	73
X. Anexos	77
A. Botón de emergencia y protección contra sobrecargas y cortocircuitos	77
B. Manual de mantenimiento	78
1. Dado peletizador	79
2. Baño de agua	80
3. Intercambiador de calor	81
4. Bomba de agua	83
5. Cámara de corte	84
6. Criba de captación	85
7. Motor	86
8. Bandas de transmisión	87
C. Planos de construcción	88

Lista de figuras

1. Botellas PET	3
2. Extrusora de monohusillo	6
3. Pellets	6
4. Cámara de corte peletizadora de hebras	7
5. Cámara de corte peletizadora bajo el agua	8
6. Dado peletizador	9
7. Boquilla de dado peletizador, primera iteración	16
8. Base de dado peletizador, primera iteración	16
9. Dado peletizador, primera iteración	16
10. Boquilla de dado peletizador, segunda iteración	17
11. Base de dado peletizador, segunda iteración	18
12. Dado peletizador, segunda iteración	19
13. Baño de agua	24
14. Baño de agua lleno	24
15. Guía de hilos, primera iteración	25
16. Guía de hilos, segunda iteración	25
17. Esquema intercambiador agua-PET	26
18. DCL cámara de corte	34
19. DCL rodillo de alimentación superior	35
20. Representación diente de tambor de corte	37
21. Representación distancia c del diente	38
22. DCL eje tambor de corte	43
23. Análisis de momento alternante máximo del tambor de corte	44
24. DCL eje rodillo superior	44
25. Análisis de momento alternante máximo del rodillo superior	45
26. DCL eje rodillo inferior	46
27. Análisis de momento alternante máximo del rodillo inferior	46
28. Soporte fijo del dado peletizador	50
29. Contacto <i>bonded</i> entre base y boquilla	50
30. <i>Pressure</i> en base de dado peletizador	51
31. <i>Pressure</i> en boquilla de dado peletizador	51
32. Mallado en ambas piezas	52

33. Esfuerzo von Misses en base y boquilla	53
34. Factor de seguridad en base y boquilla	54
35. Deformación en base y boquilla	55
36. Cotización tambor de corte	58
37. Módulo peletizador de PET	61
38. Explosión módulo peletizador de PET	62
39. Dado peletizador — Vista frontal	64
40. Baño de agua — Vista isométrica	64
41. Cámara de corte — Vista isométrica	65
42. Ejes de transmisión — Vista frontal	66
43. Tolva	66
44. Rodillos de alimentación superior e inferior	67
45. Esquema botón de emergencia	78

Lista de cuadros

1. Propiedades mecánicas y térmicas del tereftalato de polietileno a 23 °C	3
2. Matriz de ponderación de tipo de peletizadora	12
3. Identificación de códigos	12
4. Definición de requisitos	13
5. Datos a utilizar	14
6. Resultados de pernos	23
7. Datos de la transferencia de calor por convección	27
8. Datos de la transferencia de calor por radiación	29
9. Factor de seguridad para distintos componentes	32
10. Datos de tambor de corte Renda Blades	33
11. Valores del rodillo superior	35
12. Factores de modificación y propiedades D2	38
13. Cálculo de bandas	40
14. Poleas seleccionadas	41
15. Factores de modificación y propiedades de AISI 1045 CD	42
16. Factores de seguridad criterio ED-Goodman	47
17. Vida nominal básica con confiabilidad de 90%	48
18. Propiedades de AISI 304	49
19. Resultados y discusión de la simulación	52
20. Cotización de materiales para peletizadora de hebras con enfriamiento posterior	57
21. Cotización de componentes para peletizadora de hebras con enfriamiento posterior	58
22. Cotización total de materiales para peletizadora de hebras con enfriamiento posterior	59
23. Listado de componentes de módulo peletizador de PET	63
24. Definición de requisitos	68

El reciclaje mecánico del tereftalato de polietileno es un proceso que requiere de una línea de máquinas, entre ellas la peletizadora, por lo que se realizó el diseño teórico de los componentes presentes en esta máquina. Se determinó que los componentes principales son el dado peletizador, el baño de agua y la cámara de corte, se determinó que el dado peletizador requiere de 25 agujeros y se utiliza acero inoxidable AISI 304, se obtuvo un factor de seguridad de 2.43 con una simulación realizada en ANSYS®. En el baño de agua se requiere un intercambiador de calor con potencia mínima de 10,882 W y una bomba de agua de 0.5 hp con el fin de mantener el agua a 25°C, para la estructura de este se utiliza AISI 304 con recubrimiento de pvc. El tambor de corte se cotizó con Renda Blades y cuenta con 24 dientes y ángulo de inclinación de cuchillas de 15° y de cizalla de 2°, se obtuvo un factor de seguridad para esfuerzo fluctuante de 4.20. Se utilizan tres ejes de transmisión y se utiliza AISI 1045 CD, para el tambor de corte se obtuvo un factor de seguridad de 132.2, para el rodillo superior de 5.686 y para el rodillo inferior de 2.592. Se recomienda a futuros diseñadores buscar otros proveedores para el tambor de corte y realizar simulaciones de elementos finitos para verificar la resistencia de todos los componentes.

En un mundo cada vez más consciente del impacto ambiental, el reciclaje se convierte en una acción fundamental para la sostenibilidad. En este contexto, el tereftalato de polietileno (PET), comúnmente utilizado en botellas y envases, representa un desafío importante debido a su amplia presencia en residuos. Por ello se realiza el diseño mecánico del módulo peletizador para una línea de reciclaje de botellas de PET, considerado un componente clave que transforma estas botellas en *pellets*, facilitando su reutilización en la fabricación de nuevos productos.

El objetivo de este trabajo de graduación es desarrollar un módulo peletizador eficiente y funcional dentro de una línea de reciclaje integral de botellas de PET. Esto implica un proceso de diseño completo, que abarca desde la investigación de tecnologías existentes hasta la selección de materiales. Se busca crear una solución que no solo cumpla con los estándares de calidad necesarios para la reutilización de los *pellets*, sino que también contribuya a la promoción de la economía circular y la reducción del impacto ambiental asociado al plástico PET.

Se espera que este proyecto no solo sea una herramienta práctica para empresas e instituciones interesadas en implementar procesos de reciclaje eficientes, sino que también sea un paso hacia adelante en el desarrollo de soluciones innovadoras para el manejo responsable de los residuos plásticos, ayudando así a construir un futuro más sostenible.

Las botellas de plástico tipo PET se han hecho famosas a través de los años debido a su bajo costo de producción, precio de venta y propiedades que les permiten almacenar líquidos de forma segura. Estas ventajas han logrado que este tipo de envase sustituya a otros tipos, como los fabricados con vidrio. Sin embargo, cuando estos no son desechados correctamente en centros de reciclaje, por lo general terminan en ríos, mares y océanos, contaminando y generando gases de efecto invernadero. A largo plazo, el desecho incorrecto, puede generar microplásticos en cuerpos de agua y aumento de la temperatura terrestre.

En Guatemala, el reciclaje de botellas PET, aún no es conocido por toda la población, y no existen centros de reciclaje al alcance de todos. De los residuos plásticos presentes en los océanos, el 80 % es por el desecho incorrecto y el otro 20 % es arrojado por embarcaciones (Barrera, 2019). La playa “El Quetzalito” ubicada al norte del país, es una playa protegida por sus manglares y arrecifes de corales; en una investigación realizada por Roberto Meigikos dos Anjos, investigador de la Universidad Federal Fluminense (Brasil), se encontraron microplásticos menores a 5 mm en esta playa, un 66.8 % de estos eran PET (SciDev.net, 2020). La importancia de evitar que este tipo de plástico siga esparciéndose y causando estragos para el medio ambiente, es realmente importante. Para ello, se debe llevar a centros de acopio y posteriormente de reciclaje, para poder darle un segundo uso y evitar que llegue a cuerpos de agua.

El proceso de reciclaje consta de varias etapas, entre ellas está la peletizadora, que se encarga darle forma de *pellets* al plástico extruido, para facilitar y mejorar el moldeo final del mismo. Se propone realizar el diseño del módulo peletizador de plástico PET como parte de una línea de reciclaje que pueda utilizarse en municipalidades de Guatemala, para promover el reciclaje de estas y el cuidado del medio ambiente y de las personas. El diseño de este está limitado por el tamaño de la línea de reciclaje, el tamaño de *pellets* que debe de entregar, la capacidad de peletización por hora del módulo y los requisitos de seguridad para operarios, así como especificar el menor costo de materiales posible. Delimitando el alcance del proyecto, se concluye que es una forma viable para controlar la cantidad de plástico que llega a lugares no deseados como ríos, mares u océanos.

A. Objetivo general

Realizar el diseño mecánico del módulo peletizador de PET dentro del montaje de una línea de reciclaje con capacidad de 150 kg/h.

B. Objetivos específicos

- Realizar un diseño que permita el funcionamiento del módulo peletizador en conjunto con la extrusora en un proceso lineal de producción.
- Establecer dimensiones y seleccionar componentes estándar del módulo peletizador de acuerdo a la producción esperada de la línea de reciclaje.
- Determinar el costo de materiales.
- Crear los manuales de ensamble y mantenimiento de los componentes del módulo peletizador.

A. Tereftalato de polietileno

El tereftalato de polietileno mejor conocido como PET, es un polímero a base de petróleo, este no se descompone rápidamente en el ambiente. Este tipo de plástico se ha vuelto inevitable en la vida diaria. Sin embargo, el uso y desecho inadecuado de este ha tenido importantes implicaciones ambientales y en el bienestar humano. El PET es uno de los productos plásticos más consumidos, debido a sus excelentes propiedades como la transparencia, peso ligero, barreras contra el gas y el agua, resistencia al impacto, resistencia al desgaste, resistencia a los rayos UV y dureza; este se encuentra presente en la mayoría de alimentos líquidos envasados, y estos envases están destinados a un solo uso y desecho inmediato (Benyathiar et al., 2022). Sus características, lo convierten en una materia prima versátil en el mundo de los polímeros, su uso principal es para fabricar botellas para bebidas.

Según datos extraídos de Euromonitor International (Londres, Inglaterra), en la industria de bebidas, la botella PET representa un 67% del mercado del agua pura, refrescos carbonatados, bebidas energéticas, té y café. Las botellas individuales menores a un litro, representaron 44.7% en Estados Unidos en el 2021; en comparación con las latas de aluminio que representaron 39%, el vidrio el 11% y el polietileno de alta densidad (HDPE) el 3.4% (Forrest, 2016).

En el 2015, los desechos plásticos globales generados fueron aproximadamente 141 millones de toneladas (Benyathiar et al., 2022). Los residuos de empaque que son enterrados en vertederos, todavía pueden contribuir a la contaminación del aire, el agua y el suelo. La filtración de plástico en vertederos, consume el espacio disponible de estos; el porcentaje de plástico en vertederos es mayor en volumen que en peso. La incineración de envases plásticos evita el consumo de espacio en vertederos y genera energía, sin embargo, esto crea emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación del aire. El reciclaje del PET conserva combustibles fósiles, reduce uso de energía y salva espacio de vertederos, lo que resulta en reducción de emisión de gases de efecto invernadero.

La temperatura y el tiempo de exposición al calor son parámetros que deben controlarse en el reprocesamiento del PET, para optimizar las propiedades mecánicas del material. No hacerlo puede resultar en degradación o falta de rendimiento del material. Al tener menos tiempo de procesamiento, el tereftalato de polietileno reciclado (rPET) presenta mejores propiedades de flexión e impacto (Ning et al., 2020). Los dueños de marcas reconocidas a nivel mundial, se interesan en la utilización de rPET para hacer una diferencia en sus marcas a nivel ambiental y económico (Elamri et al., 2017).

Contar con buenos programas de recolección, reutilización y reciclaje de botellas PET, es importante para evitar un mal uso y reducir el impacto ambiental que estas generan. Las dificultades en la recolección, mezcla de botellas de PET con otros materiales y las modificaciones para procesarlo con polímeros vírgenes, son razones por las que el reciclaje de estas no es implementado de manera generalizada. Se han creado normas y reglamentos en países desarrollados para desechar correctamente estas botellas; sin embargo, estas regulaciones no están presentes en todos los países en vías de desarrollo.

Contaminantes comunes de botellas PET:

- Policloruro de vinilo (PVC)
- Películas de plástico, bolsas
- Artículos no plásticos como vidrio, papel y silicón
- Suciedad, etiquetas sueltas, caucho, adhesivos
- Partes metálicas como clavos, tornillos o tuercas
- Contaminantes por colorantes
- Acetaldehído

Aplicaciones para botellas PET recicladas

- Cinturones, mantas, tarjetas de negocios, botellas de bebida
- Piezas de automóviles como parachoques y paneles exteriores, alfombras, cartones de huevo
- Tejido de poliéster para tapicería, playeras, suéteres, ropa deportiva y zapatos

(Gopalakrishna & Reddy, 2018)

Figura 1: Botellas PET



Fuente: Adaptado de the Food Tech, 2017. (<https://thefoodtech.com/insumos-para-empaque/panorama-de-la-botellas-pet-en-el-mercado-de-alimentos/>)

Cuadro 1: Propiedades mecánicas y térmicas del tereftalato de polietileno a 23 °C

Propiedad	Valor/rango	Unidad
Punto de fusión ¹	255	°C
Densidad ¹	1.38	g/cm ³
Calor específico ¹	1250	J/kg -K
Conductividad térmica ¹	0.21	W/mK
Resistencia mínima a la tensión ¹	60-85.5	MPa
Módulo de Young ¹	2.80-3.17	GPa
Resistencia al corte ³	55	MPa
Viscosidad intrínseca ²	0.0775	Pa-s
Peso molecular ²	192	g/mol

¹ («*Polyethylene Terephthalate (PET)*», [s.f.](#))

² (Elamri et al., [2017](#))

³ («*PET (Thermoplastic Polyester)* - *Poly-Tech Industrial*», [2011](#))

B. Reciclaje mecánico

El reciclaje mecánico utiliza procesos mecánicos para convertir el plástico en una nueva forma que pueda volver a utilizarse. Fue comercializado por primera vez en 1970 y el método involucra la remoción de contaminantes del desperdicio PET y lo re-procesa en *flakes* y por medio de fundición lo transforma en pellets. En algunos casos, los plásticos reciclados mecánicamente no pueden convertirse en el mismo producto debido a que su calidad se deteriora en cada ciclo de procesamiento. Es importante establecer normas con los clientes para determinar qué tipo de plástico reciclado es el que necesitan. El peso molecular del PET reciclado decrece debido a reacciones en cadena causadas por la presencia de agua y trazos de impurezas ácidas (Benyathiar et al., [2022](#)).

El PET, como la mayoría de polímeros, se degrada a lo largo de su vida debido a varios factores como la temperatura, radiación ultravioleta, oxígeno, ozono y estrés mecánico, lo que da como resultado alteración de propiedades en comparación con el PET virgen. El reciclaje mecánico puede realizarse en dos formas: la primera implica que el PET se convierte en forma de *pellets*, para combinarse con PET virgen y manufacturar nuevos productos de rPET. La segunda involucra el uso de los *pellets* para manufacturar productos que no sean de grado alimenticio, como textiles (Langer, 2020).

El reciclaje de materiales plásticos tiene un mejor desempeño cuando se utilizan desechos que tienen pequeñas cantidades de contaminación en el polímero homogéneo. Cuando se tiene mezcla de plásticos, estos se clasifican en un tanque de flotación, donde se separan debido a diferencias de densidad. La forma más fácil de separar los residuos de PET, es por medio de la flotación en agua, esto resulta en dos fracciones: una fracción ligera que flota en el agua, el polipropileno y el polietileno, y una fracción pesada PET y PVC. Para la separación de PET y PVC se utiliza un método manual que aprovecha la diferencia entre las propiedades físicas y químicas de estos polímeros (Langer, 2020).

C. Preparación del material

El material que se utiliza en este caso es el tereftalato de polietileno, y los criterios que se deben tener en cuenta respecto al material que ingresa a la peletizadora son los siguientes:

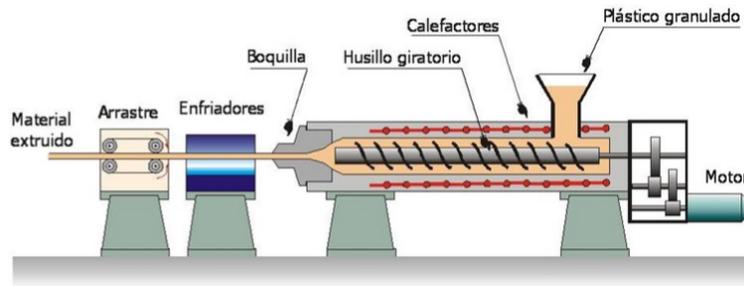
1. Equipo de seguridad: La seguridad de los trabajadores debe ser de suma importancia, ellos deben de tener guantes al manejar el material, y son necesarios guantes resistentes al calor para manejar el plástico al salir de la peletizadora, Los tapones de oído también son necesarios en las áreas donde el ruido sea muy alto. Al alimentar el material a la máquina, se deben de utilizar lentes para proteger los ojos. El uso de cubrebocas en áreas de limpieza y re-procesamiento del plástico, el uso de botas de punta de acero es recomendable durante todo el proceso (Costa-Smith et al., 2017).
2. Recolección del desperdicio plástico: Los desperdicios de plástico se recolectan a través de basureros recolectores específicos de PET de la municipalidad, o donación de centros de acopio y separación de desperdicios, ya sea privados o municipales. Se espera que en el material entregado, se encuentren otro tipo de materiales distintos al plástico (Chandara et al., 2015).
3. Clasificación: Luego de reunir el plástico y llevarlo a la planta de reciclaje, se debe clasificar. Esta clasificación se realiza con base en las propiedades físicas y químicas del plástico. Para lograr una calidad aceptable, es importante separar distintos tipos de plásticos unos de otros, porque la diferencia en sus puntos de fusión y otras propiedades fundamentales (resistencia química y térmica) significa que son incompatibles.

El primer paso es separar metales, madera u otros materiales del plástico; al tener solamente plástico, se debe clasificar de forma manual los plásticos PET, los trabajadores pueden hacerlo revisando el código de tipo de plástico (1), conociendo la textura o apariencia. Si se desea hacer de forma mecánica, se utiliza un imán para separar los metales, y diferencia de pesos, soplando aire al plástico restante, o mediante diferencia

de densidades (flotación, viento o hidrociclón) en un espacio con agua. Es importante la separación de distintos plásticos, para mantener la pureza del PET, y así su calidad (Chandara et al., 2015).

4. Limpieza: el valor del plástico reciclado recae sobre la pureza de este. Pequeñas partículas de polvo pueden reducir drásticamente la calidad del producto final. Mantener un ambiente limpio es importante en el proceso, se debe evitar el ingreso de polvo y de arena a la planta (Chandara et al., 2015).
5. Trituración: Luego de ser limpiado, se envía a la trituradora para poder hacer *flakes*, utilizando un cilindro de corte, la máquina se alimenta de forma manual. El tamaño de esta depende de cuánto plástico debe triturarse. Esta etapa es crucial para minimizar bolsas de aire al momento de la fusión (Chandara et al., 2015).
6. Lavado: En el proceso de creación de pellets, es necesario que los flakes obtenidos en el proceso de trituración, sean nuevamente lavados; estos pueden estar contaminados con suciedad, grasa, aceite y polvo se requiere usar detergentes y agua para eliminar los contaminantes (Chandara et al., 2015).
7. Secado: Esta parte del proceso puede ser de forma manual o mecánica. Con la forma manual, el plástico se extiende bajo el sol, volteándolo regularmente para asegurar un secado completo. Para la forma mecánica se utiliza un secador térmico a cierta temperatura para secar los *flakes* (Chandara et al., 2015).
8. Dehumidificación: Los *flakes* de plástico que se reciben, se procesan deshumedeciéndolos a 120°C por 5 horas, sirve para remover humedad del plástico, ya que esta crea pellets de calidad inconsistente. La temperatura a 120°C es para no romper las cadenas poliméricas dentro del material, más temperatura podría significar menos tiempo de deshumidificación pero degradaría las propiedades del material. El contenido de humedad no debe exceder 0.005 % (Cumbajin & Vásquez, 2013).
9. Extrusión: Por medio de una tolva, los *flakes* se envían a un barril de extrusión a 255°C (temperatura de fusión del PET, Cuadro 1) en donde se derriten y se extruyen a través de una parrilla fina para eliminar cualquier impureza que se haya colado. La extrusora se incorpora con un tornillo giratorio simple o doble en el barril de calentamiento. Cuando los *flakes* se derriten en este barril, se expulsan a través de un cilindro mediante la rotación de un tornillo (Cumbajin & Vásquez, 2013). Los *flakes* derretidos salen como hebras calientes unificadas a través de un dado peletizador y entran directamente a la cámara de agua para ser cortadas en forma de *pellets* mediante un cilindro de corte. En la Figura 37 se presenta el ejemplo de una extrusora de filamento o hebra monohusillo.

Figura 2: Extrusora de monohusillo



Fuente: (<https://www.seguas.com/refrigeracion-en-el-proceso-de-extrusion-de-plastico/>)

D. *Pellets*

Los *pellets* como se muestra en la Figura 3 son pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido, son el resultado de la fundición de *flakes* de tereftalato de polietileno, su extrusión en hebras y el corte de estas mediante una peletizadora.

Figura 3: Pellets



Fuente: («Startup Nyltec Polymers Makes PET Pellets to Replace Nylon 6», 2019)

Se prefiere la producción de *pellets* en lugar de dejar el PET triturado porque los *pellets* tienen una mayor densidad, ocupan menos espacio de almacenamiento y transporte. Tienen una mayor homogeneidad, es decir, son más uniformes en tamaño y forma, esto ayuda a garantizar una consistencia en la calidad del producto final. Son más fáciles de manejar y alimentar en procesos de fabricación, tienden a fluir más fácilmente a través de las máquinas. Generan menos polvo, lo que reduce el nivel de contaminación en el ambiente de trabajo. La producción de estos permite un mejor control en los procesos de fabricación, y se obtiene una mejor calidad del producto final (Lionetto et al., 2021).

Se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, como su re-proceso mezclándose con plástico virgen para fabricación de nuevos productos de plástico como botellas, frascos y otros envases para productos alimenticios, bebidas, cosméticos, productos de cuidado personal y limpieza. También se utilizan para la fabricación de fibras y telas para ropa, tapicería, alfombras y otros productos textiles. Pueden utilizarse también en películas para envolver

alimentos u otro tipo de películas plásticas, para fabricación de componentes electrónicos como conectores o carcasas de dispositivos, en la fabricación de piezas automotrices y en la fabricación de aislamientos térmicos y acústicos (Lionetto et al., 2021).

E. Peletizadora

La peletización es el proceso de cortar las hebras calientes de plástico derretido, mediante un tambor de corte con cuchillas en ángulo, para obtener cilindros de plástico compactado y limpio (Sepe, 2011).

Existen varios tipos de peletizadoras, entre los más comunes se encuentran:

- De hebras con enfriamiento posterior: Utilizan un cilindro de corte para cortar las hebras de plástico, son más adecuadas para aplicaciones de rendimiento bajo a medio, pueden producir *pellets* de varios tamaños y formas (Lin, 2022).

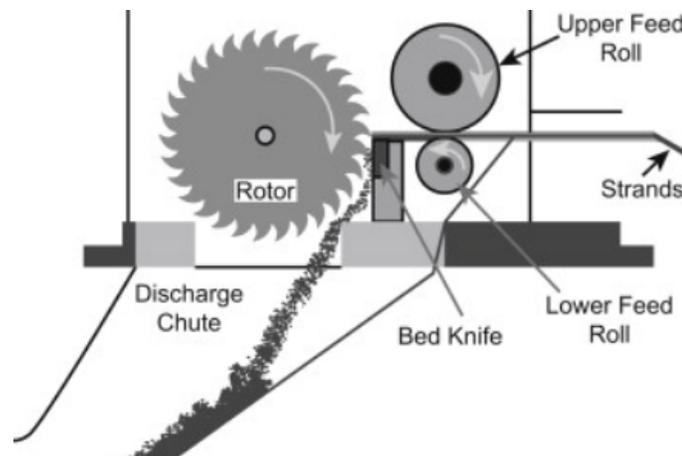
Ventajas:

- Producción continua, mayor eficiencia.
- Enfriamiento rápido ayuda a evitar la degradación del material.
- Produce *pellets* de alta calidad con tamaño y forma consistentes al tener la configuración correcta.
- Fácil de operar y de costo relativamente bajo.
- Bajo consumo de energía y menor generación de polvo.

Desventajas:

- Capacidad de rendimiento limitada en comparación con otros tipos.
- Requiere la atención del operador para la producción continua de *pellets*.
- Puede producir *pellets* de calidad inconsistente si no se configuracorrectamente.
- Requiere de mayor espacio para alojar los equipos.

Figura 4: Cámara de corte peletizadora de hebras



Fuente: («Pelletizer - an overview | ScienceDirect Topics», s.f.)

- Corte directo bajo el agua: Utilizan un baño de agua para enfriar y solidificar el plástico fundido a medida que se extruye a través del dado peletizador. Son ideales para el PET ya que es un material sensible al calor, pueden producir *pellets* de alta calidad. Son adecuados para aplicaciones de alto rendimiento pero pueden ser más costosos que otro tipo de peletizadoras (Lin, 2022).

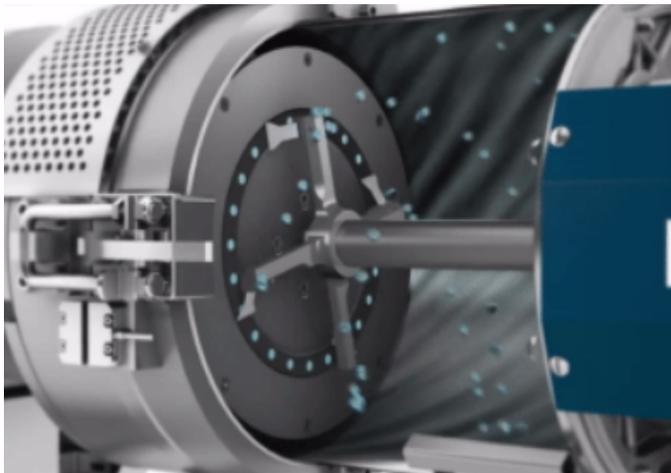
Ventajas:

- Minimiza la degradación térmica y reduce la generación de polvo.
- Alta capacidad de rendimiento y puede producir *pellets* de alta calidad.
- Reduce la necesidad de equipos de refrigeración adicionales.

Desventajas:

- Es costoso por su complejo diseño y requiere equipo adicional, como cámara de agua y sistema de secado.
- Requiere de un proceso de secado más riguroso.
- Requiere más mantenimiento y experiencia para operar en comparación con otros tipos.
- Tienen mayores costos de operación en consumo de agua y energía.

Figura 5: Cámara de corte peletizadora bajo el agua



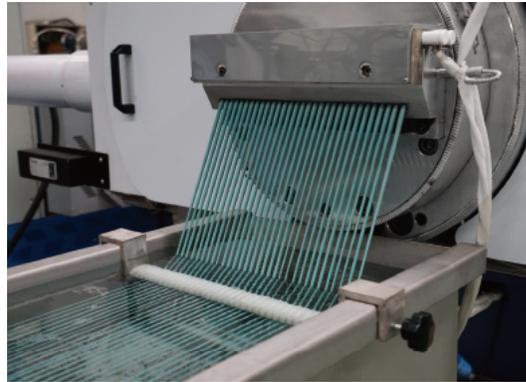
Fuente: («*CUCHILLAS DE Erema pelletizer blade - 46x24/13x1 mm - Underwater pelletizing knife - INTAREMA TVE Inoxidable*», s.f.)

1. Dado peletizador

El dado peletizador se encuentra en la salida de la extrusora; es un elemento que cuenta con agujeros barridos, en él se extruye el plástico derretido y sale a través de los agujeros en forma de hebras calientes. El perfil interno debe facilitar el flujo de material hacia la salida del dado, el material fluye del cilindro de extrusión al dado peletizador. La sección transversal del dado se diseña para proporcionar el flujo del material a velocidad constante.

De este sistema salen las hebras de PET como se observa en la Figura 6. Dentro del dado se almacena el material que sale del husillo provocando presión que impulsa a salir por los orificios de este, se enfrían al entrar en el baño de agua en donde se transportan, se secan y posteriormente son cortados (Cumbajin & Vásquez, 2013). El número de agujeros depende de varios factores, como el diámetro del husillo, el número de revoluciones del motor y la capacidad de peletización que se necesite.

Figura 6: Dado peletizador



Fuente: («Strand Die - Trendelkamp», s.f.)

2. Sistema de enfriamiento

Este sistema es esencial para garantizar la calidad de los *pellets* producidos y evitar su degradación debida al calor. El enfriamiento por agua es un método que implica sumergir los hilos extruidos en un tanque de agua fría para reducir rápidamente la temperatura del material para garantizar que los *pellets* tengan la forma y el tamaño adecuados. Este método permite un enfriamiento a una alta velocidad de forma controlada. El sistema de enfriamiento se compone de un baño de agua y un sistema de circulación de agua.

- Baño de agua
En este, los hilos extruidos se sumergen y enfrían rápidamente. La temperatura del agua y la velocidad de circulación deben de controlarse para garantizar que el enfriamiento sea uniforme.
- Sistema de circulación de agua
Se utiliza para mantener una temperatura adecuada en el baño de agua, este consta de una bomba y tuberías. La bomba es responsable de la circulación del agua a través de las tuberías diseñadas para resistir la corrosión del agua. Es importante mantener una velocidad de agua adecuada, ya que si esta es muy baja, los hilos pueden no enfriarse correctamente, y si es muy alta, se puede aumentar la turbulencia del agua y provocar que los hilos se rompan o deformen.

3. Cámara de corte

- Tambor de corte: este es el encargado de cortar los hilos extruidos en *pellets*. El material debe ser resistente y duradero para soportar la abrasión y el desgaste constante, entre los más comunes y fáciles de conseguir en Guatemala, se encuentran los aceros de herramienta. Las cuchillas del tambor de corte deben ser afiladas regularmente para mantener una calidad de corte consistente y así reducir el desgaste excesivo. Su mantenimiento regular es importante para prolongar su vida útil y garantizar una operación segura y eficiente de la peletizadora; este mantenimiento consta de limpieza regular, afilado e inspección visual para detectar signos de desgaste o daño (Rodríguez et al., 2011). El ángulo de la cuchilla afecta la fuerza de corte necesaria y la calidad de los *pellets* producidos, un ángulo más agudo reduce la fuerza de corte necesaria, pero puede producir *pellets* con bordes irregulares o astillas. Un ángulo más obtuso aumenta la fuerza de corte necesaria pero produce *pellets* con bordes más suaves y limpios (Machinery, s.f.).
- Rodillo de alimentación superior: se encarga de alimentar o guiar a los hilos hacia el cilindro de corte, también se le conoce como rodillo de alimentación de arrastre y se le da movimiento por medio del motor. Este debe girar en sentido opuesto al tambor de corte y del rodillo inferior para ayudar a agarrar y mover los hilos. Está hecho de un material con alta resistencia al desgaste y tiene una superficie rugosa para garantizar una sujeción adecuada.
- Rodillo de alimentación inferior: es el que sostiene los hilos extruidos y ayuda a su movimiento, su función es mantener la tensión adecuada de los hilos para asegurar una alimentación uniforme.

4. Sistema de movimiento

a. Motor

El motor es el componente responsable de suministrar la energía necesaria para producir el movimiento de los hilos extruidos hacia la cámara de corte. Se utilizan motores de corriente alterna para impulsar la transmisión, con frecuencia de 60 Hz y voltaje entre 110 y 120 V (Cumbajin & Vásquez, 2013).

b. Transmisión de potencia

La transmisión de potencia por correas y poleas se utiliza comúnmente en peletizadoras, este método implica el uso de una correa que se ajusta alrededor de una polea en el eje del motor y a otra polea en el eje del cilindro de corte. La potencia se transfiere de la polea del motor a la polea de la peletizadora a través de fricción. Para seleccionar las correas y poleas se deben considerar la potencia requerida, la velocidad del motor, la relación de transmisión, la distancia entre ejes y la carga de trabajo. Se debe asegurar que la correa se tense adecuadamente para evitar deslizamientos, estas requieren de mantenimiento periódico para asegurar que la transmisión sea eficiente. (Cumbajin & Vásquez, 2013).

Para el diseño mecánico del módulo peletizador de tereftalato de polietileno, se realizó una investigación previa sobre diseño de módulos similares, con el fin de tomar ideas de diseño y de cálculos para garantizar la fiabilidad del módulo.

Se encontró que existen distintos tipos de peletizadoras, en este trabajo se analizaron las ventajas y desventajas de dos tipos, de hebras con enfriamiento posterior y de corte directo bajo el agua, se determinó la más adecuada para la aplicación en una municipalidad de Guatemala, mediante una matriz de ponderación.

Para comenzar el diseño de la peletizadora, se definieron los requisitos fundamentales de diseño, funcionamiento, seguridad y mantenimiento con el fin de guiarse de estos en el diseño y tener el mejor diseño posible.

Se determinó cuáles son los componentes esenciales que forman a una peletizadora: dado peletizador, baño de agua, intercambiador de calor, tambor de corte, rodillos de alimentación superior e inferior, motor, bandas de transmisión de potencia, ejes, rodamientos y criba de captación con su tolva correspondiente. El diseño, cálculos y materiales necesarios para cada componente se presentan en esta sección.

Se realizó una cotización de los materiales y de componentes buscando mantener proveedores nacionales con medidas que se acoplen a las dimensiones de las piezas. De igual forma se realizó un manual de ensamble y de mantenimiento de estos componentes.

Se determinó que el componente clave de la peletizadora es el dado peletizador, y se le realizó un análisis de elementos finitos mediante el *software ANSYS*.

A. Selección de sistema de peletización

De acuerdo con lo planteado en el marco teórico, existen distintos métodos de peletización de PET, entre ellos se encuentra la peletización de hebras con enfriamiento posterior y peletización de corte directo bajo el agua. Para poder seleccionar de forma adecuada el sistema de peletización que mejor se acople a los requisitos, se presenta una matriz de ponderación. Los criterios a evaluar son los siguientes: costo, mantenimiento, facilidad de operación y capacitación, calidad del *pellet*.

Cada criterio tiene una ponderación de 25 puntos. Una nota de 25 puntos significa que ese tipo de peletizadora es la que mejor satisface el criterio, mientras que una nota de 0 puntos, significa que ese tipo de peletizadora es la que menos satisface el criterio. Cada nota se asigna según lo descrito en las ventajas y desventajas de cada peletizadora en el marco teórico.

Cuadro 2: Matriz de ponderación de tipo de peletizadora

	Costo	Mantenimiento	Facilidad de operación y capacitación	Calidad	Total
De hebras	25	25	25	0	75
Bajo el agua	0	0	0	25	25

Se observa que la peletizadora de hebras con enfriamiento posterior obtuvo una nota de 75 puntos, mientras que la peletizadora de corte directo bajo el agua obtuvo una nota de 25 puntos. Por lo que se selecciona un diseño de peletizadora de hebras.

B. Requisitos

Cuadro 3: Identificación de códigos

Código	Significado
F	Funcionamiento
S	Seguridad
P	Pellets
M	Mantenimiento
C	Componentes electromecánicos

Cuadro 4: Definición de requisitos

Código	Requisito
F01	La capacidad de la peletizadora debe de ser de al menos 150 kg/h.
F02	El módulo debe funcionar con la supervisión de solo un operario.
F03	El módulo debe contar con una criba de captación de <i>pellets</i> .
S01	Utilizar guardas de seguridad para evitar contacto físico con partes móviles.
S02	El sistema eléctrico no debe estar expuesto al operario.
S03	El módulo debe contar con un botón de emergencia para interrumpir el proceso en cualquier momento.
S04	Se debe identificar el equipo de seguridad personal necesario para manipular el módulo.
P01	Diámetro de pellets debe estar entre 3 y 5 mm.
P02	El largo de los pellets debe estar entre 4 y 6 mm.
M01	El diseño debe permitir fácil acceso a los componentes.
C01	El dado peletizador debe ser capaz de acoplarse a la salida de la extrusora.
C02	El dado peletizador debe contar con la cantidad suficiente de agujeros para cumplir con la capacidad de peletización del módulo.
C03	Los materiales de componentes a maquinar deben conseguirse localmente.
C04	La temperatura del agua debe poder mantenerse a 25°C.
C05	El tamaño del baño de agua debe garantizar el acomodamiento de los hilos extruidos para ser enfriados.
C06	El baño de agua debe ser rectangular para facilitar el mantenimiento.
C07	La guía de hilos debe ser capaz de guiar la cantidad de hilos extruidos de forma continua y sin interferencias.
C08	El motor debe ser capaz de girar a una velocidad que permita lograr la capacidad de peletización deseada.
C09	El motor debe tener sistemas de protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

C. Cálculos y resultados

1. Especificaciones de diseño

En la etapa de diseño se consideran algunos datos que serán de utilidad para guiar el proceso de diseño, estos se observan en el Cuadro 5.

El flujo másico, es la capacidad de peletización que debe de tener la peletizadora y este valor está dado por la capacidad de la línea de reciclaje; el diámetro y largo de *pellet*, son datos que se asumieron basándose en parámetros utilizados en la industria para este tipo de producto. La densidad del *pellet*, se asume basándose en datos de densidad del tereftalato de polietileno. La velocidad de producción o lineal se asume basándose en valores típicos de peletizadoras con la misma capacidad de producción. Se tiene el dato de la densidad del agua a 25°C, ya que esta temperatura se considera ambiente, se incluye también la gravedad.

Cuadro 5: Datos a utilizar

Dato	Valor	Unidad
Flujo másico	150	kg/hr
	42	g/s
Fiámetro <i>pellet</i>	3	mm
Largo <i>pellet</i>	5	mm
Densidad <i>pellet</i>	1.38	g/cm ³
	0.00138	g/mm ³
Velocidad de producción	170	mm/s
Densidad del agua @25°C	997	kg/m ³
Gravedad	9.81	m/s ²

2. Pellets

Los *pellets* son el producto que se desea entregar, por esta razón es importante definir algunas variables referentes a este producto. Estos se asumen en forma de cilindros perfectos. A continuación, se presenta el cálculo del volumen de un *pellet*, esto considerando el diámetro y largo definidos en el Cuadro 5.

$$\begin{aligned}
 v &= \pi * r^2 * l \\
 v &= \pi * \frac{1}{4} * (3mm)^2 * 5 mm \\
 v &= 35.34 mm^3
 \end{aligned} \tag{1}$$

Donde:

v = volumen *pellet*

r = radio *pellet*

l = largo *pellet*

Se desea conocer la masa de un *pellet*, para este se utiliza la densidad definida en el Cuadro 5, y el volumen definido en la ecuación 1.

$$\begin{aligned}
m &= \rho * v \\
m &= 0.00138 \text{ g/mm}^3 * 35.34 \text{ mm}^3 \\
m &= 0.0488 \text{ g}
\end{aligned} \tag{2}$$

Donde:

m = masa *pellet*
 ρ = densidad *pellet*
 v = volumen *pellet*

Se calcula el flujo volumétrico del plástico que se mueve a través de la peletizadora, utilizando el flujo másico descrito en el Cuadro 5, y la masa que se calcula con la ecuación 2.

$$\begin{aligned}
\dot{v} &= \frac{\dot{m}}{\rho} \\
\dot{v} &= \frac{42 \text{ g/s}}{1.38 \text{ g/cm}^3} \\
\dot{v} &= 30.19 \text{ cm}^3/\text{s}
\end{aligned} \tag{3}$$

Donde:

\dot{v} = flujo volumétrico
 ρ = densidad *pellet*
 \dot{m} = flujo másico

3. Dado peletizador

El dado peletizador es la unión entre la extrusora y el sistema de peletizado. En este elemento es importante realizar una serie de cálculos para determinar propiedades y comprobar si el material elegido, cumple con los valores que el dado requiere para garantizar su funcionamiento.

Como primer paso, se calcula el área de cada agujero del dado peletizador, utilizando el diámetro de cada *pellet* definido en el Cuadro 5.

$$\begin{aligned}
a_{\text{agujero}} &= \pi * \frac{1}{4} * (d)^2 \\
a_{\text{agujero}} &= \pi * \frac{1}{4} * (3\text{mm})^2 \\
a_{\text{agujero}} &= 7.069 \text{ mm}^2
\end{aligned} \tag{4}$$

Donde:

a_{agujero} = área de un agujero

d = diámetro de un *pellet*

Se realiza una primera iteración de diseño. Se inicia con la boquilla del dado peletizador, en esta se encuentran los agujeros por donde saldrán los hilos extruidos como muestra la Figura 7

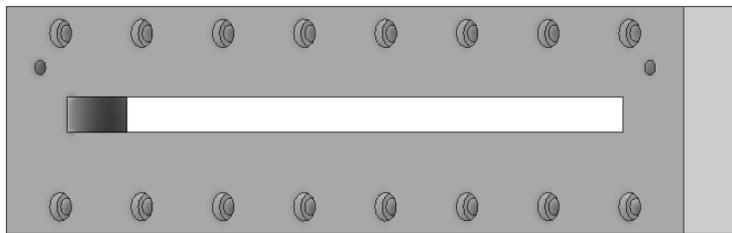
Figura 7: Boquilla de dado peletizador, primera iteración



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

La boquilla se encuentra atornillada a una base que es la conexión con la extrusora. Se utiliza un total de 16 pernos para asegurar que la presión del plástico saliendo, no vencerá a los pernos. Cuenta con un agujero rectangular para que el flujo de plástico pueda fluir sin interferencias como se muestra en la Figura 8

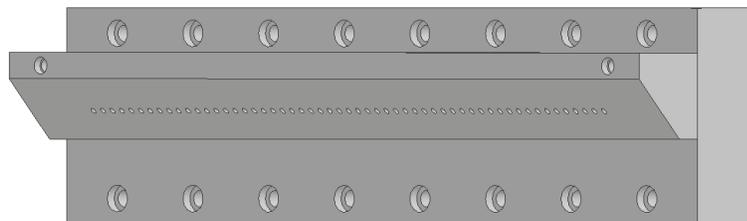
Figura 8: Base de dado peletizador, primera iteración



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

En la Figura 9 se observa el diseño unificado del dado peletizador.

Figura 9: Dado peletizador, primera iteración



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

Se realizó una segunda iteración considerando la capacidad de peletización según el Cuadro 5. Para calcular el número de agujeros necesarios, se utilizan dos ecuaciones provenientes del flujo volumétrico, y se realiza una igualación de las variables como se muestra a continuación:

$$\dot{v} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (5)$$

$$\dot{v} = vA \quad (6)$$

En donde \dot{m} es el flujo másico, ρ es la densidad del PET y v es la velocidad lineal o de producción de la peletizadora; estos datos se encuentran descritos en el Cuadro 5. A es el área total de los agujeros del dado peletizador, este puede descomponerse en $a_{\text{agujero}} * n$, en donde n es el número de agujeros que debería de tener el dado peletizador. Al igualar ambas ecuaciones se obtiene:

$$\frac{\dot{m}}{\rho} = v * a_{\text{agujero}} * n \quad (7)$$

Se desea conocer el número de agujeros, por lo que se despeja esta variable y se sustituyen los valores correspondientes para determinar lo que estamos buscando, es decir, el número de agujeros.

$$n = \frac{\dot{m}}{\rho * v * a_{\text{agujero}}} \quad (8)$$

$$n = \frac{42 \text{ g/s}}{0.00138 \text{ g/mm}^3 * 170 \text{ mm/s} * 7.069 \text{ mm}^2}$$

$$n = 25 \text{ agujeros}$$

En la Figura 10, se observa el nuevo diseño de la boquilla del dado peletizador, la cantidad de agujeros para extruir el PET, coincide con el cálculo anterior. Se tienen cinco agujeros para ser atornillada a la base del dado para tener soporte, se consideran medidas estándar de acero inoxidable disponibles en Guatemala para el ancho y alto .

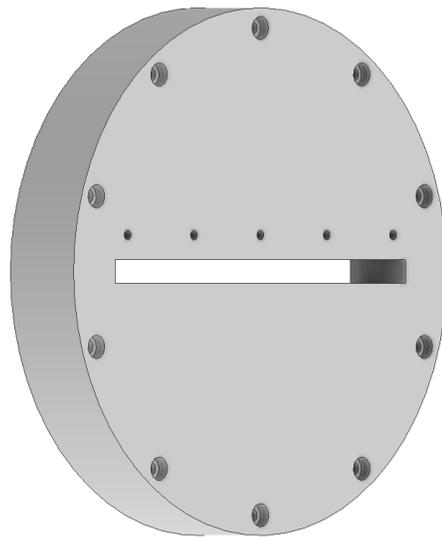
Figura 10: Boquilla de dado peletizador, segunda iteración



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

En esta segunda iteración, se realizaron cambios en la base del dado peletizador, como se observa en la Figura 11, ahora se tiene un diseño circular para que la fuerza sea distribuida uniformemente alrededor de la circunferencia de la base, además, en un diseño cuadrado se concentran las fuerzas en las esquinas, lo que puede conducir a una falla.

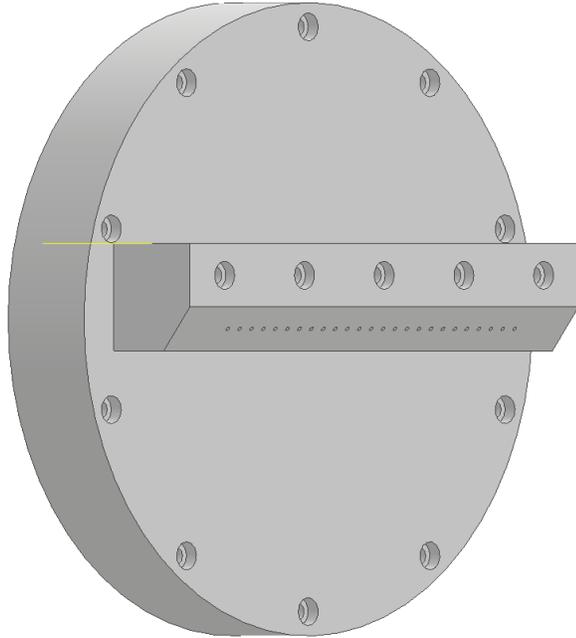
Figura 11: Base de dado peletizador, segunda iteración



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

En la Figura 12 se observa el diseño unificado del dado peletizador para la segunda iteración.

Figura 12: Dado peletizador, segunda iteración



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

Para determinar que los pernos que sujetan la base del dado peletizador a la salida de la extrusora, y los que sujetan la boquilla a la base del dado son suficientes para soportar la presión ejercida por el plástico pasando a través de ellos, se utiliza el concepto de uniones a tensión estática, en donde se busca calcular el factor de seguridad contra la fluencia estática. Los pernos son M12 de paso grueso 1.75 mm.

Para iniciar el cálculo se debe determinar la precarga, se utiliza la ecuación

$$F_i = 0.75 * F_p \quad (9)$$

Donde:

F_i = precarga

F_p = factor carga de prueba

El factor carga de prueba se obtiene mediante la ecuación

$$F_p = A_t * S_p \quad (10)$$

Donde:

A_t = área transversal de esfuerzo de tensión del perno

S_p = resistencia de prueba mínima

El área transversal de esfuerzo de tensión del perno A_t se obtiene de la Tabla 8-1 de Shigley en la columna serie de paso grueso y fila M12 (Budynas & Nisbett, 2008) un valor de 84.3 mm^2 . La resistencia de prueba mínima S_p se obtiene de la Tabla 8-11 clase 5.8 (Budynas & Nisbett, 2008) un valor de 380 MPa. Conociendo estos valores se calcula el factor carga de prueba F_p mediante la ecuación 10, y se obtiene un valor de 32,034 N, conociendo este factor se calcula la precarga F_i mediante la ecuación 9, y se obtiene un valor de 24,025.5 N. Este valor indica la precarga que debe darse a cada perno, y se busca encontrar el valor del torque que esta precarga representa, y se hace mediante la ecuación

$$T = K * F_i * d \quad (11)$$

Donde:

T = torque necesario para el perno

K = coeficiente de torque

d = diámetro nominal

El coeficiente del torque se obtiene de la tabla 8-15 con condición de galvanizado (Budynas & Nisbett, 2008), un valor de 0.2. El diámetro nominal es de 12 mm, conociendo estos valores se calcula el torque mediante la ecuación 11 y se obtiene un valor de 57.66 Nm.

La carga resultante en el perno se obtiene mediante la ecuación

$$F_b = C * P + F_i \quad (12)$$

Donde:

F_b = carga resultante en el perno

C = constante de rigidez de la unión

P = carga externa de tensión

La constante de rigidez de la unión (perno y elementos) se obtiene mediante la ecuación

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (13)$$

Donde:

k_b = constante de rigidez del perno

k_m = constante de rigidez de los elementos sujetos

Para obtener la constante de rigidez del perno se utiliza la ecuación:

$$k_b = \frac{A_d * A_t * E}{A_d * l_t + A_t * l_d} \quad (14)$$

Donde A_d es el área del diámetro mayor del sujetador que se determina como el área del diámetro nominal (12 mm) y tiene un valor de 113.10 mm², A_t es el área de esfuerzo sometida a tensión que se determinó anteriormente, E es el módulo de elasticidad del acero y se obtiene de la Tabla 8-8 (Budynas & Nisbett, 2008) un valor de 207 GPa. l_t es la longitud de la parte roscada de agarre, al tener un largo nominal de 100 mm, esta longitud se determina como $2 * d + 6$ (Budynas & Nisbett, 2008) y se obtiene un valor de 30 mm. l_d es la longitud de la parte sin rosca en agarre y se obtiene restando el largo nominal con l_t y se obtiene un valor de 70 mm. Al tener 30 mm de rosca y 70 mm de parte lisa, no existiría apriete, por lo que se opta por usar una rosca corrida cuya constante de rigidez se calcula de la siguiente forma:

$$k_t = \frac{A_t * E}{l_t} \quad (15)$$

Conociendo todos los términos se obtiene $k_b = 229.00$ MN/m.

La constante de rigidez de los elementos sujetados se obtiene con la siguiente ecuación:

$$k_m = \frac{0.5774\pi Ed}{2 \ln 5 \left(\frac{0.5774l + 0.5d}{0.5774l + 2.5d} \right)} \quad (16)$$

Donde E es el módulo de young del acero inoxidable AISI 304 de la base del dado, y tiene un valor de 193 GPa según el Cuadro 18, d es el diámetro nominal (12 mm), y l es el agarre que tiene el perno, 2 pulgadas de la placa con agujero pasado y 1 pulgada de la placa con agujero roscado, lo que resulta en una distancia de 76.2 mm. Conociendo todos los términos se obtiene $k_m = 1,850.64$ MN/m.

Al tener los términos k_b y k_m , se determina la constante de rigidez de la unión con la ecuación 13 con un valor de 0.1101.

La carga externa de tensión P es la fuerza que experimenta cada perno, para determinarla se encuentra el área donde ejerce presión el plástico extruido, para la base y para la boquilla del dado, ambas medidas se determinan a partir de las dimensiones de cada elemento. Además, se requiere la presión del plástico a la salida de la extrusora que se supone de 6 kg/cm² que se aproxima a 0.588 MPa («*Extrusora de plastico – Estibas Plasticas, Canastillas Plasticas, Postes Plasticos-Soluciones en Ingenieria y Logistica SILOGSAS*», s.f.). Con estos datos se puede encontrar la fuerza de presión que experimentan los elementos multiplicando la presión por el área. La carga externa de tensión se debe determinar para cada perno, por lo que la fuerza de presión debe dividirse dentro del número de pernos de cada elemento. Los resultados se encuentran en el Cuadro 6.

Al tener la constante de rigidez de la unión y la carga externa de tensión por perno, se utiliza la ecuación 12 para determinar la carga resultante F_b en cada perno de ambos elementos. Los resultados se encuentran en el Cuadro 6.

Se debe determinar el esfuerzo axial en cada perno mediante la siguiente ecuación, los resultados se encuentran en el Cuadro 6.

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} \quad (17)$$

Donde:

σ_b = esfuerzo axial en el perno

Para determinar si los pernos soportan las cargas, se debe encontrar el factor de seguridad a la fluencia estática, de sobrecarga y de separación mediante las siguientes ecuaciones, los resultados se encuentran en el Cuadro 6.

$$n_p = \frac{S_p}{\sigma_b} \quad (18)$$

Donde:

n_p = factor de seguridad a la fluencia estática

$$n_L = \frac{S_p * A_t - F_i}{C * P} \quad (19)$$

Donde:

n_L = factor de seguridad de sobrecarga

$$n_0 = \frac{F_i}{P(1 - C)} \quad (20)$$

Donde:

n_0 = factor de seguridad de separación

Cuadro 6: Resultados de pernos

	Base	Boquilla
Área (mm ²)	90,793	7,014
Fuerza en el elemento (N)	53,422	4,127
Número de pernos	10	5
Fuerza por perno P (N)	5,342.2	825.41
Carga resultante en el perno F _b (N)	24,613.77	24,116.39
Esfuerzo axial en el perno σ _b (MPa)	291.98	286.08
Factor de seguridad a la fluencia estática n _p	1.30	1.33
Factor de seguridad de sobrecarga n _L	13.61	88.11
Factor de seguridad de separación n ₀	5.05	32.71

Con los resultados del Cuadro 6 se concluye que los 10 pernos que sostienen la base del dado peletizador a la salida de la extrusora, y los 5 pernos que sostienen la boquilla con la base del dado peletizador, son suficientes y soportan las cargas generadas por los esfuerzos generados por la extrusión del plástico.

4. Baño de agua

Luego de que el plástico fluya a través del dado peletizador, se extruye en los agujeros y salen hilos de plástico calientes, estos deben ser enfriados por lo que pasan por el baño de agua. El diseño y cálculos para este son necesarios para garantizar que los hilos puedan ser enfriados de forma uniforme.

Como primer punto se calcula el volumen del baño de agua en su máxima capacidad, para ello se utiliza el largo, el alto y la profundidad definida para el baño. Estas dimensiones se definen a partir de una plancha de acero inoxidable disponible en Guatemala.

$$\begin{aligned}
 vb &= l * h * w \\
 vb &= 2000 \text{ mm} * 200 \text{ mm} * 600 \text{ mm} \\
 vb &= 240,000,000 \text{ mm}^3 \\
 vb &= 0.24 \text{ m}^3
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

Donde:

l = largo baño de agua

h = altura del baño de agua

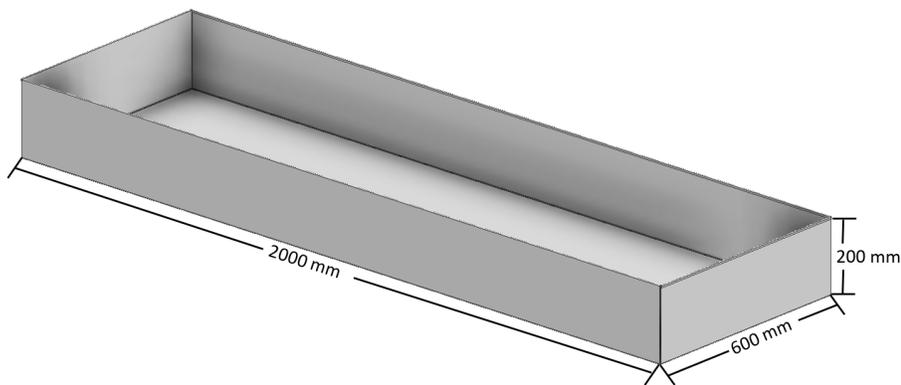
w = ancho baño de agua

Se asume que el baño de agua estará lleno a una altura de 10 cm, por lo que se calcula el volumen de agua necesario para esta altura.

$$\begin{aligned}
 vb10 &= l * h * w \\
 vb10 &= 2000 \text{ mm} * 100 \text{ mm} * 600 \text{ mm} \\
 vb10 &= 120,000,000 \text{ mm}^3 \\
 vb10 &= 0.12 \text{ m}^3
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

El diseño del baño de agua, toma en cuenta las dimensiones de la plancha de acero inoxidable que puede conseguirse localmente y que cumple con los requisitos. Este se observa en la Figura 13.

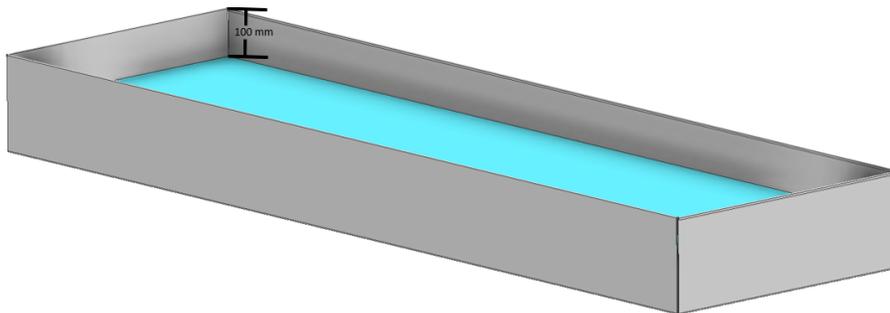
Figura 13: Baño de agua



Fuente: elaboración propia

En la Figura 14 se observa el baño de agua lleno a 10 cm.

Figura 14: Baño de agua lleno

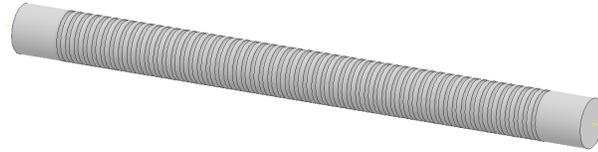


Fuente: elaboración propia

A lo largo del baño de agua se encuentran dos guías de hilos, estas tienen el fin de guiar a los hilos extruidos y de separarlos para garantizar que puedan tener un movimiento fluido

y sin interrupciones, tienen la capacidad de girar con el movimiento de los hilos. Este diseño se observa en la Figura 15. Esta guía cuenta el número exacto de espacios para almacenar a todos los hilos extruidos de la primera iteración.

Figura 15: Guía de hilos, primera iteración



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

En la segunda iteración de diseño, se encontró un nuevo número de agujeros en la boquilla del dado peletizador, por lo que se realizó un nuevo diseño para la guía de hilos, con el nuevo número de agujeros, esta se observa en la Figura 16.

Figura 16: Guía de hilos, segunda iteración



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

Para garantizar que el agua del baño se encuentre siempre a una temperatura óptima para enfriar los hilos que se mueven constantemente dentro de este, se requiere de un intercambiador de calor. Se desea utilizar un radiador, esto debido a que tiene una operación simple y es menos costoso en términos de mantenimiento (León & Zurita, 2021).

Para poder seleccionar el adecuado para esta aplicación, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros: el caudal de agua y la tasa de transferencia de calor necesaria, así como la temperatura de entrada y salida del plástico y del agua.

Para encontrar el caudal de agua que se necesita, se utiliza la transferencia de calor: $Q = m * C_p * \Delta T$, y se realiza el intercambio de calor del agua dentro del baño, es decir, con los hilos extruidos de plástico. Al realizar un balance de energía se obtiene:

- Balance de energía en el baño de agua

$$E_{in} = E_{out} + \dot{Q}_{out} \tag{23}$$

$$\dot{m}_{agua} * C_{p_{agua}} * (T_2 - T_1) = \dot{m}_{PET} * C_{p_{PET}} * (T_3 - T_4) + \dot{Q}_{out}$$

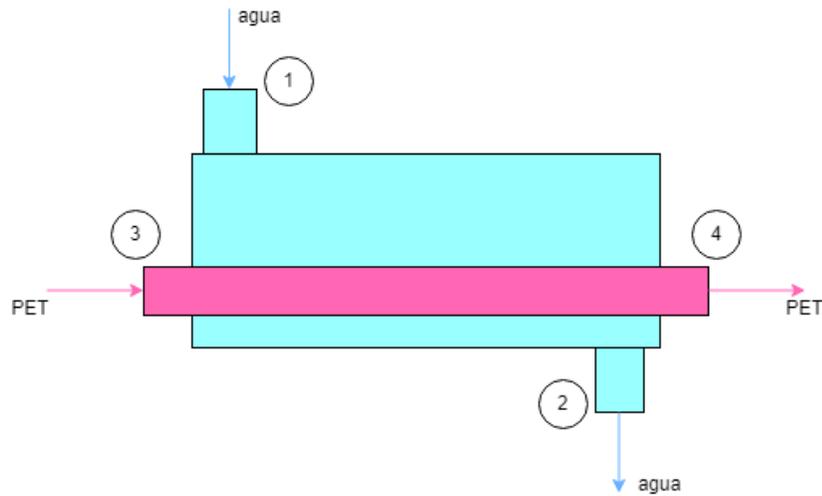
Donde:

\dot{m}_{agua} = flujo másico de agua

$C_{p_{agua}}$ = calor específico del agua = 4182 J/kgK

T_1 = temperatura de entrada al baño = 20 °C = 294.15 K
 T_2 = temperatura de salida al baño = 60 °C = 334.15 K
 \dot{m}_{PET} = flujo másico de PET = 150 kg/h = 0.042 kg/s
 C_{pPET} = calor específico del PET = 1250 J/kgK
 T_4 = temperatura de salida del PET = 50 °C = 324.15 K
 T_3 = temperatura de entrada del PET = 200 °C = 474.15 K
 \dot{Q}_{out} = pérdidas por transferencia de calor

Figura 17: Esquema intercambiador agua-PET



Fuente: elaboración propia

Del balance realizado anteriormente, nos interesa conocer el flujo másico que se requiere de agua, por lo que se despeja de la ecuación planteada.

- Flujo másico de agua

$$\dot{m}_{agua} = \frac{\dot{m}_{PET} * C_{pPET} * (T_3 - T_4) + \dot{Q}_{out}}{C_{p_{agua}} * (T_2 - T_1)} \quad (24)$$

Las pérdidas de calor en el baño se producen por convección libre a través de la transferencia de calor entre el agua y los hilos de PET, así como entre las paredes de acero inoxidable del baño de agua y el aire circundante. Las pérdidas por radiación ocurren debido a la transferencia de energía térmica entre el agua y los hilos de PET, así como entre el agua y el aire circundante. No se consideran pérdidas de calor por conducción ya que los hilos extruidos no están en contacto directo con el baño de agua, por lo que no es un factor relevante en el proceso de enfriamiento.

La transferencia de calor por convección se considera libre, a pesar de que se utiliza una bomba para hacer circular el agua caliente del baño hacia el intercambiador de calor y enviar el agua enfriada de vuelta al baño, la velocidad a la que se hace se considera mínima para determinar otro tipo de convección. La razón de transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperaturas y se expresa con la Ley de Newton de Enfriamiento (Cengel, 2011).

La transferencia de calor por convección se calcula de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{conv} = h * A_s * (T_s - T_{\infty}) \quad (25)$$

Donde:

\dot{Q}_{conv} = razón de convección de calor

h = coeficiente de transferencia de calor por convección

A_s = área superficial de transferencia de calor

T_s = temperatura de la superficie

T_{∞} = temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie

En el Cuadro 7, se observan los valores asumidos para ambos escenarios de transferencia de calor por convección.

Cuadro 7: Datos de la transferencia de calor por convección

	Agua dentro del baño e hilos de PET	Paredes de acero inoxidable y aire circundante
h [W/m ² * K]	100	25
A_s [m ²]	0.178	1.72
T_s [K]	474.15	295.08
T_{∞} [K]	334.15	299.15
\dot{Q}_{conv} [W]	2489	175

Fuente: (Cengel, 2011)

El coeficiente de transferencia de calor por convección no es una propiedad del fluido, es un parámetro que se determina de forma experimental y su valor depende de variables que influyen en la convección como la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades y su velocidad.

Según (Cengel, 2011), se presentan valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección, en la Tabla 1-5. De esta Tabla, se asume un valor h de 100 W/m² * K en convección libre de líquidos para la transferencia del agua con los hilos de PET, y un valor h de 25 W/m² * K para la transferencia entre las paredes de acero inoxidable y el aire circundante, se consideran estos valores como aproximaciones conservadoras, por la ausencia de datos precisos. El valor h de las paredes y el aire se asume con el valor más bajo presentado en la tabla ya que se considera que la velocidad del aire circundante es muy baja (Cengel, 2011).

El área superficial de transferencia de calor para el agua y los hilos, se refiere al área de un hilo extruido, asumiendo que la distancia que está sumergido en el baño de agua, es de

1.5 m, El largo definido para el baño es de 2 m, la diferencia de 50 cm, se debe a que los hilos salen en diagonal del dado peletizador, por lo que se asume una distancia de 25 cm para la entrada y la salida de hilos del baño de agua. Para este cálculo se utiliza el área de un cilindro, y se toma el radio del hilo (del *pellet*), y el largo sumergido. Se calcula el área de un hilo sumergido.

$$\begin{aligned}
 a_{sum} &= \pi * r * (r + h) \\
 a_{sum} &= \pi * \frac{3 \text{ mm}}{2} * \left(\frac{3 \text{ mm}}{2} + 1500 \text{ mm} \right) \\
 a_{sum} &= 7076 \text{ mm}^2 \\
 a_{sum} &= 0.0071 \text{ m}^2
 \end{aligned} \tag{26}$$

Donde:

a_{sum} = área de un hilo sumergido

r = radio de un *pellet*

h = largo de hilo sumergido (1.5 m)

Se procede a calcular el área total de todos los hilos extruidos, por el número de agujeros del dado peletizador.

$$\begin{aligned}
 A_{sh} &= a_{sum} * n \text{ agujeros} \\
 A_{sh} &= 0.0071 \text{ m}^2 * 25 \text{ agujeros} \\
 A_{sh} &= 0.178 \text{ m}^2
 \end{aligned} \tag{27}$$

Donde:

A_{sh} = área de los hilos sumergidos

a_{sum} = área de un hilo sumergido

Para la transferencia de las paredes y el aire circundante, el área superficial se refiere al área de las paredes en contacto con el agua que a su vez tienen contacto con el aire circundante. Para ello se utilizan las medidas presentadas en la Figura 13, con el volumen lleno a 10 cm, como se muestra en la Figura 14. Se calcula el área de las paredes de acero inoxidable.

$$\begin{aligned}
 A_{sp} &= l * w + 2 * l * 100 \text{ mm} + 2 * w * 100 \text{ mm} \\
 A_{sp} &= 2000 \text{ mm} * 600 \text{ mm} + 2 * 2000 \text{ mm} * 100 \text{ mm} + 2 * 600 \text{ mm} * 100 \text{ mm} \\
 A_{sp} &= 1,720,000 \text{ mm}^2 \\
 A_{sp} &= 1.72 \text{ m}^2
 \end{aligned} \tag{28}$$

Donde:

A_{sp} = área de las paredes en contacto con el agua y el aire

La temperatura de la superficie para la convección del agua con los hilos, se asume como la temperatura de entrada de los hilos al baño de agua, en este caso 200 °C o 474.15 K, mientras que la temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, se asume como la temperatura de salida del agua del baño, en este caso 60 °C o 334.15 K. Considerando los datos anteriores, se procede a sustituir los valores en la ecuación 25:

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = 100 \text{ W/m}^2\text{K} * 0.178 \text{ m}^2 * (474.15\text{K} - 334.15\text{K}) = 2489 \text{ W}.$$

Para determinar la temperatura de la superficie en la convección de las paredes y el aire circundante, se utiliza un sistema simplificado estático, sin circulación de agua, se estima una hora de trabajo, procesando 150 kg de plástico, y se obtiene un aumento de 0.93 grados, de esta forma, se puede tomar la temperatura de entrada al baño T_1 , de la ecuación 23 y sumarle este aumento, obteniendo 20.93°C o 295.08K. Mientras que la temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, se asume como temperatura ambiente en Guatemala, en este caso 25°C o 299.15 K. Considerando los datos anteriores, se procede a sustituir los valores en la ecuación 25:

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = 25 \text{ W/m}^2\text{K} * 1.72 \text{ m}^2 * (299.15\text{K} - 295.08\text{K}) = 175 \text{ W}.$$

La transferencia de calor por radiación se calcula de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \varepsilon * \sigma * A_s * (T_s^4 - T_{\text{alred}}^4) \quad (29)$$

Donde:

\dot{Q}_{rad} = razón de radiación

ε = emisividad de la superficie

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

A_s = área superficial de transferencia de calor

T_s = temperatura de la superficie

T_{alred} = temperatura de los alrededores

En el Cuadro 8 se observan los valores asumidos para ambos escenarios de transferencia de calor por convección.

Cuadro 8: Datos de la transferencia de calor por radiación

	Agua dentro del baño e hilos de PET	Agua dentro del baño y aire circundante
ε	0.95	0.98
σ [W/m ² K ⁴]	5.67×10^{-8}	5.67×10^{-8}
A_s [m ²]	0.178	1.72
T_s [K]	474.15	295.08
T_{alred} [K]	334.15	299.15
\dot{Q}_{rad} [W]	365	41

En la transferencia de calor por radiación del agua dentro de baño de agua y los hilos

de PET, la emisividad del PET se asume con un valor de 0.95 como un valor conservador según ETI (ETI, 2012), el área superficial es de los hilos extruidos y que fue descrita en el cálculo de la transferencia de calor por convección forzada (0.178 m²). La temperatura de la superficie se asume igualmente como la del plástico extruido (474.15 K), y la temperatura de los alrededores como la de salida del agua del baño (334.15 K). Sustituyendo los valores en la ecuación 29:

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = 0.95 * 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 * 0.178 \text{ m}^2 * (474.15^4 \text{ K} - 334.15^4 \text{ K}) = 365 \text{ W}.$$

En la transferencia de calor por radiación del agua dentro de baño de agua y el aire circundante, la emisividad del agua se asume con un valor de 0.98 (ETI, 2012), el área superficial es el valor del área de las paredes de acero inoxidable en contacto con el agua, valor descrito en la ecuación 28 (1.72 m²). La temperatura de la superficie se asume de la misma forma que en la transferencia por conducción (295.08) K, y la temperatura de los alrededores como la ambiente (299.15 K). Sustituyendo los valores en la ecuación 29:

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = 0.98 * 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 * 1.72 \text{ m}^2 * (299.15^4 \text{ K} - 295.08^4 \text{ K}) = 41 \text{ W}.$$

El valor de las pérdidas de calor en la transferencia de calor por convección y radiación es simplemente la suma de todas las transferencias de calor, se obtiene un total de $\dot{Q}_{\text{out}} = 3069 \text{ W}$.

Conociendo el valor de estas pérdidas, se retoma la ecuación 24 y se sustituyen los valores planteados anteriormente, obteniendo:

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \frac{0.042 \text{ kg/s} * 1250 \text{ J/kgK} * (474.15 \text{ K} - 324.15 \text{ K}) + 3069 \text{ W}}{4182 \text{ J/kgK} * (334.15 \text{ K} - 294.15 \text{ K})} = 0.065 \text{ kg/s}.$$

Conociendo el flujo másico de agua necesario en el baño de agua, se procede a calcular la tasa de transferencia de calor necesaria de la siguiente forma:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} * (T_2 - T_1) \quad (30)$$

Donde:

\dot{Q} = tasa de transferencia de calor

\dot{m}_{agua} = flujo másico de agua = 0.065 kg/s

$C_{p_{\text{agua}}}$ = calor específico del agua = 4182 J/kgK

T_2 = temperatura de entrada del agua = 60 °C = 334.15 K

T_1 = temperatura de salida del agua = 20 °C = 294.15 K

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$\dot{Q} = 0.065 \text{ kg/s} * 4182 \text{ J/kgK} * (334.15 \text{ K} - 294.15 \text{ K}) = 10\,882 \text{ W}.$$

Este valor indica la potencia mínima que debe de tener el radiador que se compre para el baño de agua. Conociendo la tasa de transferencia de calor, se procede a determinar la bomba que se requiere para hacer circular el agua a través del baño de agua y del radiador.

Para seleccionar una bomba de agua adecuada para el intercambiador de calor. El primer paso es determinar el caudal de agua requerido, se hace utilizando el flujo másico del intercambiador \dot{m}_{agua} , y la densidad descrita en el Cuadro 5.

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\dot{m}_{\text{agua}}}{\rho} \\ Q &= \frac{0.064 \text{ kg/s}}{997 \text{ kg/m}^3} \\ Q &= 0.000064 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q &= 1.014 \text{ gpm} \\ Q &= 4.608 \text{ lpm} \end{aligned} \tag{31}$$

Debido a que se obtiene un caudal menor a 30 lpm, se decide utilizar una bomba periférica o de flujo radial debido a que estas son adecuadas para aplicaciones pequeñas en donde se requiere una presión moderada y un flujo constante (Paredes Muñoz, 2018).

Se debe asumir un valor arbitrario para la columna de agua de 200 metros, esto con el fin de ser conservadores en el cálculo de la potencia requerida, y se asume una eficiencia de 0.7. Se calcula la potencia de la bomba.

$$Pb = \frac{\rho * Q * H}{102 * \eta} \tag{32}$$

Donde: Pb = Potencia requerida de la bomba

ρ = Densidad del agua, Cuadro 5

Q = Caudal de la bomba

H = Columna de agua

η = eficiencia de la bomba

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$Pb = \frac{997 \text{ kg/m}^3 * 0.000064 \text{ m}^3/\text{s} * 200 \text{ m}}{102 * 0.7} = 0.1786 \text{ kW} = 0.2395 \text{ HP}.$$

Conociendo la potencia requerida por la bomba, se procede a seleccionar el modelo "Bomba periférica para agua de 1/2 HP - Pretul ®", esta cumple con los requisitos de potencia y caudal.

5. Factor de seguridad

Para calcular el factor de seguridad de distintos componentes, se utiliza el criterio de Ullman según el texto *The Mechanical Design Process* (Ullman, 2010), este es un criterio conservador que toma en cuenta contribuciones del material, el tipo de esfuerzos al que se someten los componentes, la geometría de diseño, análisis de fallas y confiabilidad deseada. Se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$n = n_{material} * n_{esfuerzo} * n_{geometria} * n_{analisis-fallas} * n_{confiabilidad} \quad (33)$$

Donde:

$n_{material}$ = contribución del material
 $n_{esfuerzo}$ = contribución del esfuerzo
 $n_{geometria}$ = contribución de la geometría
 $n_{analisis-fallas}$ = contribución del análisis de fallas
 $n_{confiabilidad}$ = contribución de la confiabilidad

Se desea determinar el factor de seguridad para el tambor de corte, para los ejes y para el dado peletizador y se busca que estos valores sean iguales o mayores a 1.9, valor que se determinó como mínimo a cumplir en la línea de reciclaje.

A continuación se muestran los resultados:

Cuadro 9: Factor de seguridad para distintos componentes

	Tambor de corte	Dado peletizador	Ejes
$n_{material}$	1.1	1.1	1.1
$n_{esfuerzo}$	1.2	1.2	1.2
$n_{geometria}$	1.0	1.0	1.0
$n_{analisis-fallas}$	1.3	1.2	1.2
$n_{confiabilidad}$	1.3	1.3	1.2
Factor de seguridad	2.2	2.1	1.9

El criterio para seleccionar cada contribución se describe a continuación. La contribución de material se define en 1.1 para todos los componentes ya que las propiedades respectivas de cada uno se obtienen del proveedor. La contribución de esfuerzo se define en 1.2 para todos los componentes debido a que la carga se estima con sobrecargas de 20% a 50%. La contribución de geometría se define en 1.0 para todos los componentes debido a que las dimensiones se ajustan a la tolerancia por ser estricta. La contribución de análisis de falla se define como 1.3 para el tambor de corte debido a que el esfuerzo soportado por este componente es repetitivo, para el dado peletizador y ejes se define como 1.2 porque se considera un esfuerzo repetido de fatiga multiaxial. La contribución de la confiabilidad se define como 1.3 para el tambor de corte y el dado peletizador para tener una confiabilidad entre 92 y 98%, y para los ejes se define como 1.2.

6. Cámara de corte

Luego de pasar por el baño de agua, los hilos se dirigen a la cámara de corte, en este sistema se encuentran los rodillos de alimentación superior e inferior y el tambor de corte. El tambor de corte es el elemento encargado de cortar los hilos extruidos, ya fríos, para darles la forma de *pellets*. Se requiere realizar cálculos para determinar el número de cuchillas necesarias para cortar el flujo másico requerido.

Para calcular el número de cuchillas o dientes que se requieren para la capacidad de producción de la peletizadora, se utiliza el largo de *pellet* y la velocidad lineal del plástico (ambos expresados en el Cuadro 5), se divide el largo dentro de la velocidad lineal para encontrar el tiempo que debe existir entre cada corte:

$$t = \frac{\text{largo}}{\text{velocidad}} = \frac{5 \text{ mm}}{170 \text{ mm/s}} = 0.029 \text{ s}$$

Se asume una velocidad del tambor de corte de 60 rpm o 1 rev/s, se encuentra el periodo que es 1 s/vuelta; se divide este valor dentro del tiempo entre cortes:

$$n_c = \frac{T}{t} = \frac{1 \text{ s/vuelta}}{0.029 \text{ s}} = 34 \text{ dientes.}$$

Este elemento es de suma importancia, por lo que se decide buscar un proveedor especializado en cuchillas de peletizadoras. Se encontró el proveedor *Renda Blades*, ellos ofrecen para una capacidad de 150 kg/h, un tambor de corte de 24 dientes o cuchillas. Este proveedor nos indica que el material es acero de herramienta D2 y nos provee la información mostrada en el Cuadro 10.

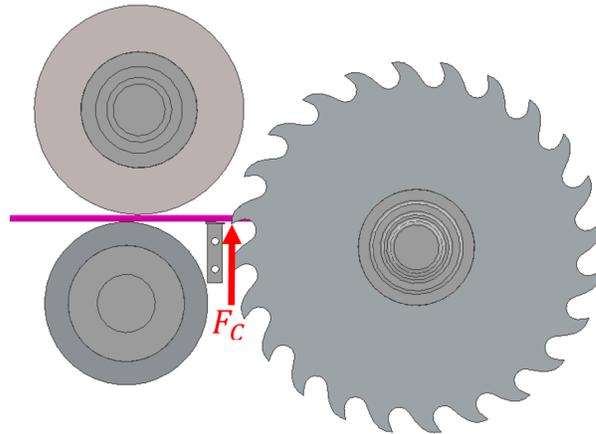
Cuadro 10: Datos de tambor de corte Renda Blades

Dato	Valor	Unidad
Masa	29	kg
Ángulo de cuchillas	15	grados
Ángulo de cizalla	2	grados
Diámetro exterior	160	mm
Diámetro interior	50	mm
Largo	200	mm

Se realizó un proceso iterativo de cálculos para determinar la velocidad angular que necesita un tambor de corte de 24 dientes o cuchillas, manteniendo la velocidad lineal descrita en el Cuadro 5, de esta forma se determinó que una velocidad angular de 95 rpm producirá la capacidad de peletización requerida.

En la Figura 18 se observa el diagrama de cuerpo libre del tambor de corte. Se observa que la fuerza presente es la de corte o cizalla.

Figura 18: DCL cámara de corte



Fuente: elaboración propia

Se determinó la fuerza de corte o de cizalla que se requiere para cortar o peletizar los hilos extruidos de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} F_c &= \frac{\tau * s^2}{2 * \tan \phi} \\ F_c &= \frac{55 \text{ MPa} * 3 \text{ mm}^2}{2 * \tan(2)} \\ F_c &= 7,087.47 \text{ N} \end{aligned} \tag{34}$$

Donde:

F_c = Fuerza de corte

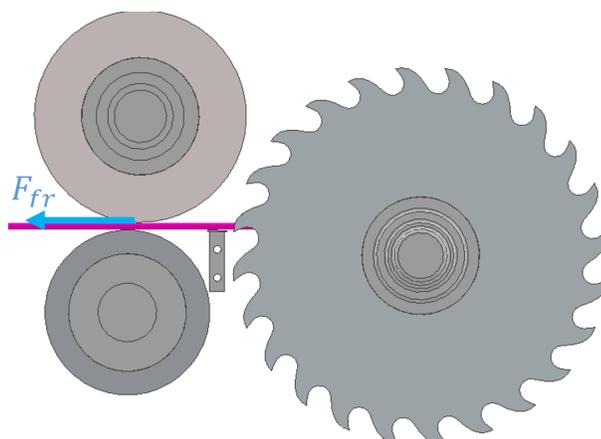
s = espesor del material (diámetro hilo)

ϕ = ángulo de cizalla (Cuadro 10)

Dentro de la cámara de corte tenemos también el rodillo de alimentación superior, quien es el encargado de jalar los hilos y alimentarlos al tambor de corte. Se desea conocer la fuerza de fricción que ejerce este sobre los hilos. El material de este elemento es acero inoxidable AISI 304 ya que es resistente a la corrosión, lo que lo hace ideal al exponerse a humedad, tiene buena resistencia mecánica y es fácilmente mecanizable para obtener diferentes acabados de superficie.

En la Figura 19 se observa el diagrama de cuerpo libre del rodillo de alimentación superior. Se observa que la fuerza presente es la de fricción.

Figura 19: DCL rodillo de alimentación superior



Fuente: elaboración propia

En el Cuadro 11 se muestran datos y valores calculados de este rodillo. Para determinar el volumen se consideró un tubo hueco utilizando los radios exterior e interior:

$$V = \pi * h * (r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2)$$

Para determinar la masa se utiliza la siguiente ecuación:

$$m = V * \rho$$

El peso es la masa por la gravedad (Cuadro 5).

Cuadro 11: Valores del rodillo superior

Dato	Valor	Unidad
Diámetro exterior (d_{ext})	90	mm
Diámetro interior (d_{int})	50	mm
Largo (h)	200	mm
Densidad (ρ)	8000	kg/m ³
Coefficiente de fricción (μ)	0.5	
Volumen (V)	8.8e-04	m ³
Masa (m)	7.04	kg
Peso (W)	69.03	N

Para calcular la fuerza de fricción se utiliza la siguiente forma:

$$F_{\text{fr}} = N * \mu$$

En este caso la normal puede considerarse igual al peso en una forma estática:

$$\begin{aligned}
 F_{fr} &= W * \mu \\
 F_{fr} &= 69.03 \text{ N} * 0.5 \\
 F_{fr} &= 34.52 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{35}$$

Donde:

F_{fr} = Fuerza de fricción

W = peso del rodillo superior (Cuadro 11)

μ = coeficiente de fricción (Cuadro 11)

Según el Cuadro 9, el factor de seguridad que debería cumplir el tambor de corte es de 2.2, para verificar que sí se cumple con este valor, se realiza un análisis de falla con la teoría ASME-Elíptica para esfuerzo fluctuante. Se utiliza la siguiente ecuación (Budynas & Nisbett, 2008):

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{n\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{n\sigma_m}{S_y}\right)^2 &= 1 \\
 n &= \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_y}\right)^2}}
 \end{aligned}
 \tag{36}$$

Donde:

σ_a = Esfuerzo alternante

σ_m = Esfuerzo medio

S_y = Resistencia a la tracción

S_e = Límite de resistencia a la fatiga

El esfuerzo medio y el alternante pueden determinarse mediante las siguientes ecuaciones (Budynas & Nisbett, 2008):

$$\begin{aligned}
 \sigma_m &= \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \\
 \sigma_a &= \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right|
 \end{aligned}
 \tag{37}$$

El esfuerzo mínimo puede simplificarse a 0 debido a que cuando no hay corte no hay esfuerzo. Para determinar el esfuerzo máximo se utiliza la siguiente ecuación (Budynas & Nisbett, 2008):

$$\sigma_{max} = \frac{M_f * c}{I}
 \tag{38}$$

Donde:

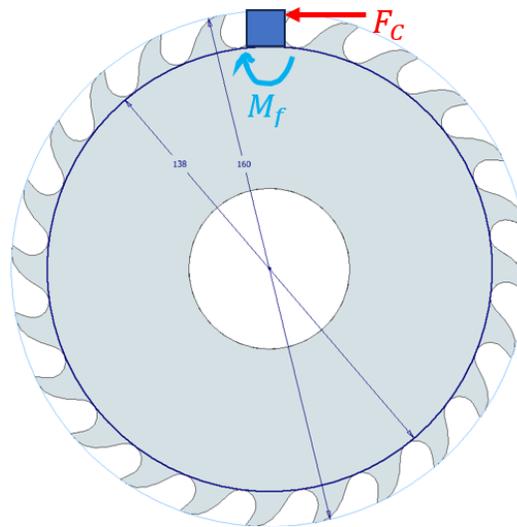
M_f = Momento de flexión

c = distancia a partir del eje neutro

I = momento de inercia

El perfil del diente puede modelarse como una viga en voladizo en donde se genera un esfuerzo de flexión en la base de este, en el diámetro menor (138 mm como se muestra en la Figura 20).

Figura 20: Representación diente de tambor de corte



Fuente: elaboración propia

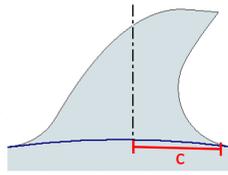
El momento de flexión se calcula como la fuerza de corte calculada en la ecuación 34, por la altura del diente

$$M_f = \frac{F_c * (160\text{mm} - 138\text{mm})}{2} = 77,962.20 \text{ Nmm}$$

Para determinar la distancia c , se debe encontrar la base de un diente utilizando el perímetro con el diámetro de 138 mm, dividido los 24 dientes. Esta base se divide dentro de 2 en la línea paralela a la circunferencia debido a los dos esfuerzos que presenta el diente (flexión y compresión), estos son iguales con direcciones opuestas usando el eje neutro como base inicial, el cálculo queda de la siguiente forma:

$$c = \frac{\frac{138\text{mm} * \pi}{24}}{2} = 9.03 \text{ mm}$$

Figura 21: Representación distancia c del diente



Fuente: elaboración propia

Para determinar el momento de inercia se aproxima la forma del diente a un rectángulo:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

La base b , se refiere al largo total del tambor de corte descrito en el Cuadro 10, la altura h es la del diente que se calcula con la resta de los diámetros dividido 2. Conociendo estos datos se obtiene un valor de momento de inercia para el diente de $22,183.33 \text{ mm}^4$.

Se calcula el esfuerzo máximo con la ecuación 38 y se obtiene un valor de 31.74 MPa . Se calcula el esfuerzo medio y alternante mediante la ecuación 37 utilizando el esfuerzo máximo, al tener el mínimo como 0, se obtiene un valor de 15.87 MPa para ambos esfuerzos.

El límite de resistencia a la fatiga S_e se determina con la ecuación 40 de la sección “Dimensionamiento de ejes” y se utilizan los mismos factores de modificación que se muestran en el Cuadro 15, a excepción del factor de modificación de tamaño k_b , que toma un valor de 0.697 por el tamaño del diámetro. Según Renda Blades, el material del tambor de corte como se mencionó es acero de herramienta D2. En el Cuadro 12 se muestran los factores de modificación y las propiedades de este material para determinar S_e .

Cuadro 12: Factores de modificación y propiedades D2

	Factor	Valor
Resistencia a la tracción S_y (MPa)		470
Resistencia última a la tensión S_{ut} (MPa)		760
Límite de resistencia a la fatiga del material S'_e (MPa)		380
	k_a	0.909
	k_b	0.818
	k_c	1
	k_d	0.989
	k_e	0.868
	k_f	0.9
Límite de resistencia a la fatiga de la pieza S_e (MPa)		166.91

Conociendo todos los términos, se retoma la ecuación 36, y se obtiene entonces un factor de seguridad para esfuerzo fluctuante de 5.18, el cuál es mayor al calculado inicialmente por el criterio de Ullman, de 2.2.

7. Selección del motor

Conociendo la magnitud de la fuerza de corte, se desea determinar el torque ejercido por la cámara de corte, por lo que se multiplica por el radio exterior del tambor de corte, en el Cuadro 10, se encuentra el valor del diámetro en mm, se convierte a metros y se obtiene un torque de 567 Nm. Se hace lo mismo para la fuerza de fricción del rodillo superior cuyo radio se encuentra en el Cuadro 11, y se obtiene un torque de 1.55 Nm.

Para determinar la potencia requerida por el tambor de corte, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Torque} * \text{rpm}}{9550} \\
 P &= \frac{567 * 95 \text{ rpm}}{9550} \\
 P &= 5.64 \text{ kW} = 7.56 \text{ hp}
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

Bajo el mismo concepto se determinó la potencia requerida por el rodillo superior y se obtuvo un valor de 0.02 hp, adicionandolo a la potencia del tambor de corte, se obtiene una potencia total de 7.58 hp. Con base en este resultado, se selecciona una capacidad comercial superior al obtenido anteriormente, esto resulta en un motor de 10 hp. Se selecciona el motor trifásico WEG W22 con carcasa de hierro de 10 hp, este opera a 1,800 rpm. El torque nominal de este motor es de 39.8 Nm, lo que indica que no se llega al torque requerido por el tambor de corte, por lo que se requiere de un sistema de transmisión de potencia para poder suplir el torque requerido.

8. Transmisión de potencia

Para la transmisión de potencia al rodillo superior y al tambor de corte, se elige utilizar bandas, estas son una opción común, tienen fácil acceso en el mercado nacional y son una opción económica. Se utiliza la potencia calculada en la ecuación 39.

Como se mostró anteriormente, las revoluciones del motor son de 1,800 rpm y se requiere que el eje del tambor de corte gire a 95 rpm; también se requiere darle potencia al eje del rodillo superior para poder jalar los hilos extruidos y alimentarlos hacia el tambor de corte. Este eje se utiliza como un intermedio para hacer la reducción. Se elige una primera etapa de reducción de 1,800 rpm a 400 rpm, para tener una relación de reducción de 4.5, y la segunda etapa de 400 rpm a 95 rpm, para tener una relación de 4.2.

Para la selección de las bandas se utiliza el manual SKF para bandas de transmisión tipo V (SKF, 2008), este tipo de bandas son las más comunes por su alta durabilidad en funcio-

namiento y a su accesibilidad en el mercado, considerando mantenimiento de la máquina. Siguiendo los pasos establecidos por el manual, se obtienen los siguientes resultados:

Cuadro 13: Cálculo de bandas

Paso	Rodillo	Tambor de corte
Factor de servicio C_2	1.4	1.4
Potencia de diseño P_d	7.92 kW	7.92 kW
Sección transversal de las bandas	5V	5V
Relación de velocidad	4.5	4.2
Longitud de referencia L_d	1000 mm	1000 m
Distancia al centro C	508 mm	503 mm
Diámetro de referencia de poleas d, D	6.30 in	6.7 in
	28.00 in	28.00 in
Potencia nominal básica P_b	11.32 kW	12.56 kW
Factor de corrección C_1	0.78	0.78
Factor de corrección C_3	0.80	0.80
Clasificación potencia de la banda P_r	7.06 kW	7.82 kW
Número de bandas N	2	2

El factor de servicio C_2 se establece considerando una actividad pesada con un inicio pesado y un tiempo de trabajo menor a 10 horas diarias. La potencia de diseño P_d se obtiene multiplicando la potencia del motor por el factor de servicio. La sección transversal de las bandas es de 5V "*Narrow wedge belts*", esta selección se realiza con base en la intercepción entre la potencia de diseño y las rpm de la polea más pequeña en un gráfico del catálogo. La longitud de referencia L_d se determina como la longitud más corta considerando la relación de velocidad y se consulta en la Tabla 4n. La distancia al centro se determina consultando la Tabla 4n. El diámetro de referencia de las poleas se obtienen utilizando la Tabla 4n y buscando la relación de velocidad para determinar los diámetros correspondientes. Para determinar la potencia nominal básica P_b se buscan valores de diámetro pequeño y rpm rápidas en la Tabla 9h. Los factores de corrección C_1 y C_3 se consultan en las Tablas 7 y 8. La clasificación de la potencia de la banda P_r se determina utilizando la ecuación:

$$P_r = P_b * C_3 * C_1$$

El número de bandas se determina con la ecuación:

$$N = \frac{P_d}{P_r}$$

Luego de realizar estos cálculos, se seleccionaron los componentes del catálogo SKF, que incluye las bandas y poleas para la primera y segunda etapa de reducción, la selección de estos se realizó aproximando a las medidas comerciales sugeridas en el catálogo.

Cuadro 14: Poleas seleccionadas

Polea	Código polea
Menor - 1era etapa d1	PHP 3-5V710TB
Mayor - 1era etapa D1	PHP 3-5V2800TB
Menor - 2da etapa d2	PHP 3-5V750TB
Mayor - 2da etapa D2	PHP 3-5V2800TB

Para ambas etapas se seleccionó la banda PHG 5V1000.

9. Dimensionamiento de ejes

Se quiere determinar el diámetro mínimo del eje del rodillo superior e inferior, y del tambor de corte donde se coloca la banda de transmisión. Se decidió utilizar AISI 1045 *Cold Rolled* por su alta resistencia y bajo costo. Para iniciar el dimensionamiento se determina el límite de la resistencia a la fatiga S_e mediante la ecuación de Marin:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e \quad (40)$$

Donde:

S_e = Límite de resistencia a la fatiga de la pieza

S'_e = Límite de resistencia a la fatiga del material

k_a = factor de modificación por la condición superficial

k_b = factor de modificación por el tamaño

k_c = factor de modificación por la carga

k_d = factor de modificación por la temperatura

k_e = factor de confiabilidad

k_f = factor de modificación efectos varios

Cuadro 15: Factores de modificación y propiedades de AISI 1045 CD

	Factor	Valor
Resistencia a la tracción S_y (MPa)		530
Resistencia última a la tensión S_{ut} (MPa)		625
Límite de resistencia a la fatiga del material S'_e (MPa)		313
	k_a	0.909
	k_b	0.818
	k_c	1
	k_d	0.989
	k_e	0.868
	k_f	0.9
Límite de resistencia a la fatiga de la pieza S_e (MPa)		120.5

Para determinar el valor de cada factor, se hizo con base en los criterios propuestos por Shigley (Budynas & Nisbett, 2008). La resistencia a la tracción S_y y la resistencia última a la tensión S_{ut} , se obtienen de las propiedades del acero AISI 1045 («*AISI 1045 Steel, cold rolled*», s.f.). Para encontrar el límite de resistencia a la fatiga S'_e en viga rotatoria, se utiliza la ecuación 6-8 de *Shigley*, utilizando la resistencia última a la tensión. Esta, al ser menor a 200kpsi (1379 MPa), se tiene una relación de: $S'_e = 0.5 * S_{ut}$ (Budynas & Nisbett, 2008).

En la selección del factor de modificación por la condición superficial k_a , se utiliza:

$$k_a = a * S_{ut}^b$$

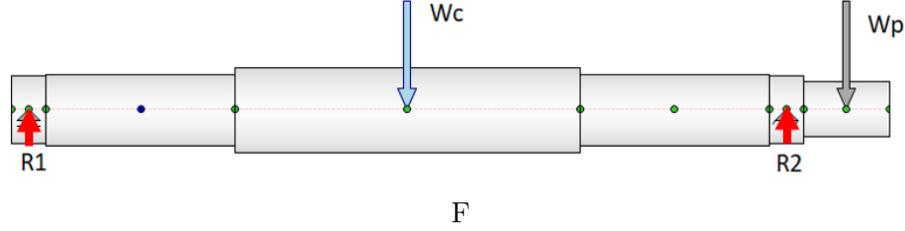
El factor a y el exponente b se toman de la Tabla 6-2 de *Shigley* como laminado en frío, obteniendo $a = 2.7$, $b = -0.265$ (Budynas & Nisbett, 2008). El factor de modificación por tamaño k_b , se escoge con base en el diámetro, utilizando la ecuación 6-20 de *Shigley*, en este caso, el diámetro es menor a 2 pulgadas (50 mm, medida proporcionada por *Renda Blades*, Cuadro 10), por lo que se escoge

$$k_b = 0.879 * d^{-0.107}.$$

El factor de modificación por la carga k_c , se determina fatiga con carga flexión y se elige un valor de 1 según la ecuación 6-16 de *Shigley*. El factor de modificación por la temperatura k_d , se elige mediante la ecuación 6-27 de *Shigley*, se asume una temperatura máxima que pueda haber en Guatemala, de 35°C, y se obtiene un factor de 0.989. El factor de confiabilidad k_e , se determina mediante la Tabla 6-5 de *Shigley*, se asume una confiabilidad de 95 % y se obtiene un factor de 0.868. El factor de modificación de efectos varios k_f , incluye la corrosión, recubrimiento electrolítico, metalizado por aspersion, frecuencia cíclica y corrosión por frotamiento, se escoge entre un rango de 0.24-0.9, y en este caso se elige 0.9.(Budynas & Nisbett, 2008).

Para iniciar el dimensionamiento, se realiza un diagrama de cuerpo libre para el eje del tambor de corte, este se muestra en la Figura 22.

Figura 22: DCL eje tambor de corte



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

Donde W_c es el peso del tambor de corte, W_p el peso de la polea de la banda de transmisión, R_1 y R_2 son las reacciones de las chumaceras.

Para determinar el diámetro mínimo de la parte donde se encuentra la polea, se utiliza la ecuación ED-ASME elíptica:

$$d = \left\{ \left(\frac{16n}{\pi} \right) \cdot \left[4 \left(\frac{k_f \cdot M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} \cdot T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{K_f \cdot M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} \cdot T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (41)$$

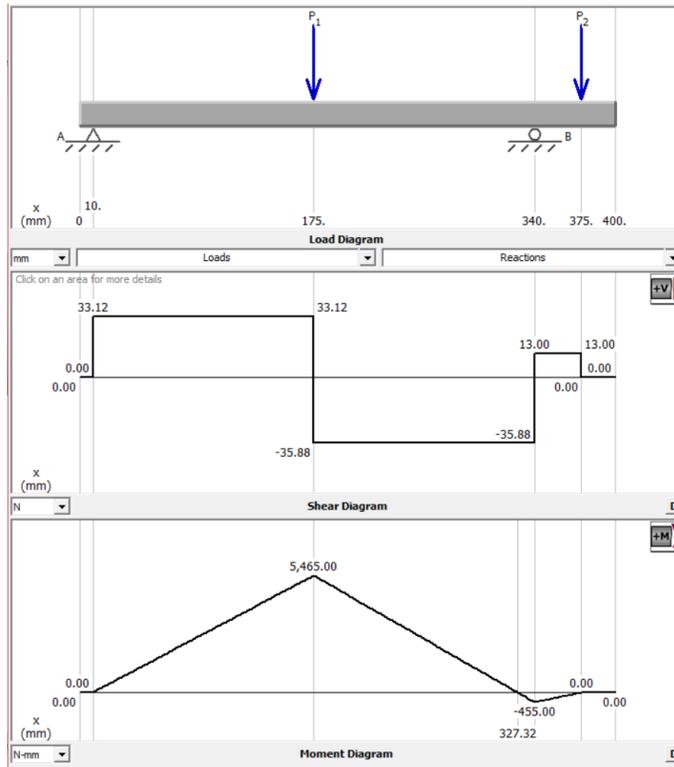
Se sabe que para un eje en rotación constante el esfuerzo de flexión es completamente reversible, y el esfuerzo torsional es constante, por lo que se puede simplificar con M_m y T_a iguales a cero 0 (Budynas & Nisbett, [2008](#)), simplificando la ecuación a lo siguiente:

$$d = \left\{ \left(\frac{16n}{\pi} \right) \cdot \left[4 \left(\frac{k_f \cdot M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} \cdot T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (42)$$

Para el momento flexionante medio (T_m), se toma el valor del torque del tambor de corte determinado en la sección "Selección del motor" de 567 Nm. Se asume un factor de concentración de esfuerzo por fatiga de la flexión k_f de 2.7, y para la torsión k_{fs} de 2.2. El factor de seguridad que se utiliza es el calculado para los ejes (1.9).

Se procede a colocar en el *software* MD Solids [®] el peso del tambor de corte W_c y el de la polea de la banda de transmisión W_p para determinar el momento alternante M_a .

Figura 23: Análisis de momento alternante máximo del tambor de corte

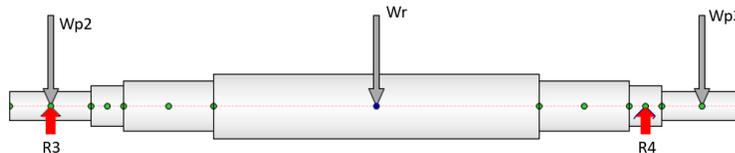


Fuente: Captura de pantalla de *MDSolids*

Conociendo todos los valores, se utiliza la ecuación 42 para determinar el diámetro mínimo para el eje del tambor de corte, se obtiene 12.08 mm. En el diseño, el diámetro mínimo toma un valor de 18 mm. El diámetro para el tambor de corte según Renda Blades (Cuadro 10) es el que se utiliza para comprobar los factores de seguridad calculados en el Cuadro 16.

Se procede a calcular el diámetro mínimo del eje del rodillo superior, se asumieron las mismas longitudes que en el eje del tambor de corte, con la diferencia de que este tiene una longitud mayor en el área de poleas debido a que en este, se colocan dos, puesto que es el eje intermedio y ambas etapas de reducción se unen a él. Se realiza el diagrama de cuerpo libre, considerando el peso del rodillo y de ambas poleas, y se ingresan los datos a MD Solids® para determinar el momento alternante máximo.

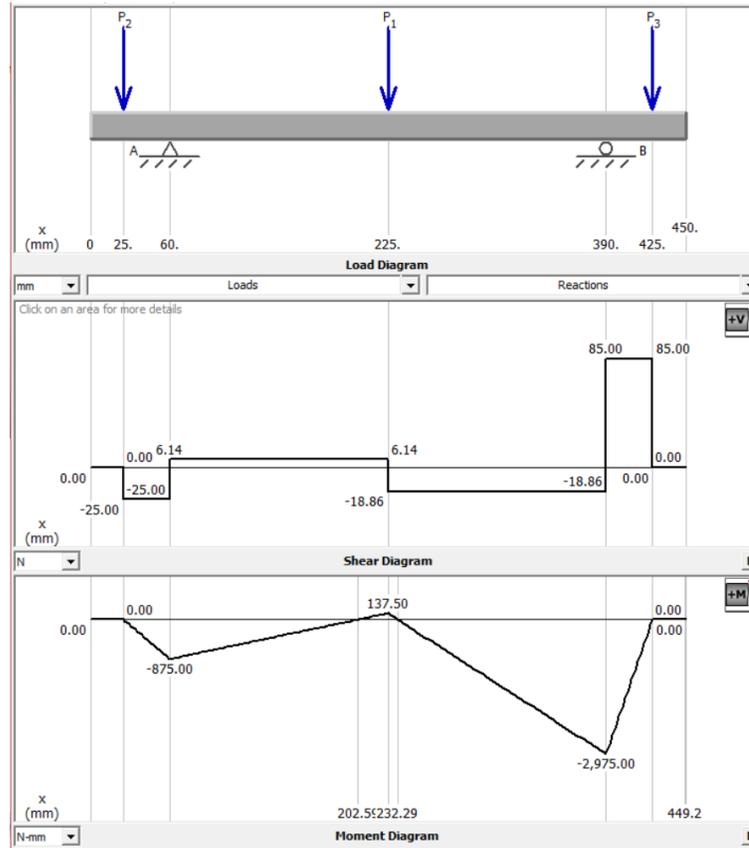
Figura 24: DCL eje rodillo superior



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

Donde W_r es el peso del rodillo, W_{p2} es el peso de la polea de la banda de la etapa uno (con el motor), W_{p3} es el peso de la polea de la banda de la segunda etapa (con el tambor de corte), R_3 y R_4 son las reacciones de las chumaceras.

Figura 25: Análisis de momento alternante máximo del rodillo superior



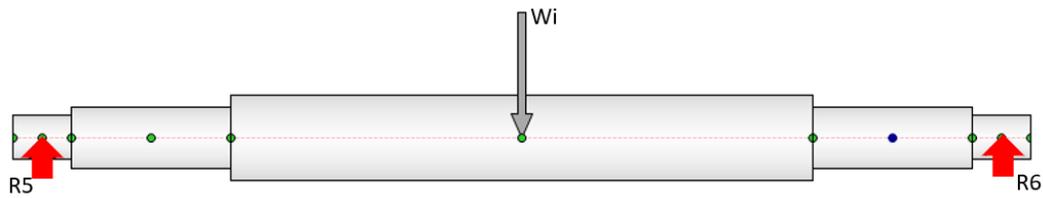
Fuente: Captura de pantalla de *MDSolids*

Para el momento flexionante medio (T_m), se toma el valor del torque del rodillo superior determinado en la sección "Selección del motor" de 1.55 Nm. Se asume un factor de concentración de esfuerzo por fatiga de la flexión k_f de 2.7, y para la torsión k_{fs} de 2.2. El factor de seguridad que se utiliza es el calculado para los ejes (1.9).

Conociendo todos los valores, se utiliza la ecuación 42 para determinar el diámetro mínimo para el eje del rodillo superior, se obtiene 12.49 mm. En el diseño toma un valor de 15 mm.

Para el cálculo del diámetro del eje del rodillo inferior solo se toma en cuenta el peso del propio rodillo, se realiza el diagrama de cuerpo libre, y se ingresan los datos a MD Solids®, para determinar el momento alternante máximo.

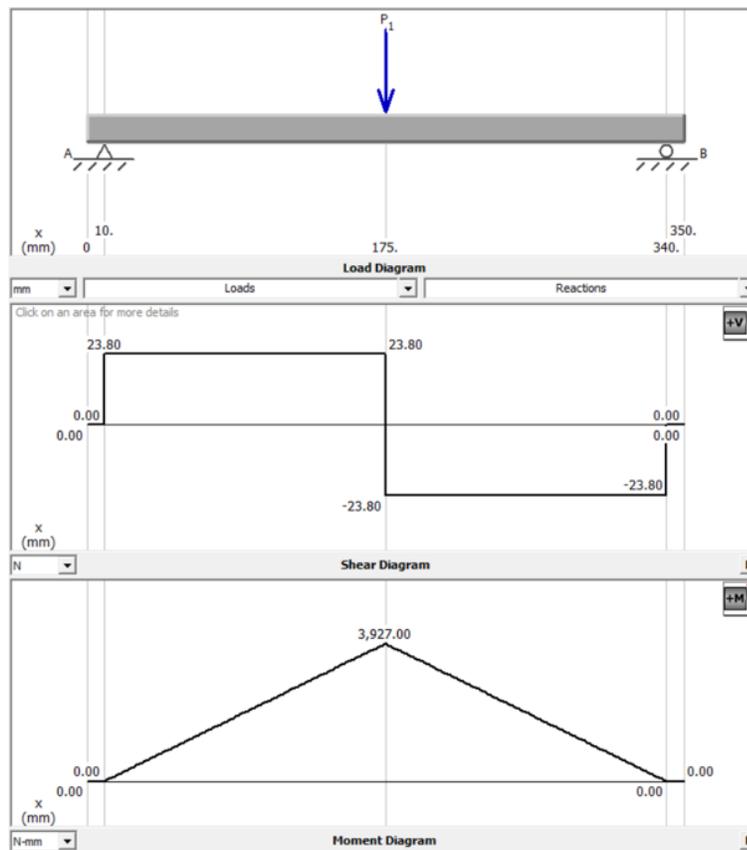
Figura 26: DCL eje rodillo inferior



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

Donde W_i es el peso del rodillo inferior, R_5 y R_6 son las reacciones de las chumaceras.

Figura 27: Análisis de momento alternante máximo del rodillo inferior



Fuente: Captura de pantalla de *MDSolids*

Para el momento flexionante medio (T_m), se utiliza el peso del rodillo inferior que tiene un diámetro máximo de 60 mm y un mínimo de 30 mm, de material acero inoxidable 304, se obtiene un momento de 0.66 Nm. Se asume un factor de concentración de esfuerzo por fatiga de la flexión k_f de 2.7, y para la torsión k_{fs} de 2.2. El factor de seguridad que se utiliza es el calculado para los ejes (1.9).

Conociendo todos los valores, se utiliza la ecuación 42 para determinar el diámetro mínimo para el eje del rodillo inferior, se obtiene 10.82 mm. En el diseño toma un valor de 15 mm.

El factor de seguridad utilizado fue un cálculo preliminar utilizando el criterio de Ullman, para tener un análisis más certero, se calcula el factor de seguridad n_f según el criterio ED-Goodman, el cual utiliza los esfuerzos alternantes y medios de los ejes, así como el límite de resistencia de fatiga y resistencia última a la tensión del material descritos en el Cuadro 15. Se determina también el factor de seguridad a la fluencia n_y . Se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\sigma'_a = \frac{32k_f M_a}{\pi d^3} \quad \sigma'_m = \left[3 \left(\frac{16k_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \frac{1}{n_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{\max}} = \frac{S_y}{\sigma'_a + \sigma'_m}$$

Cuadro 16: Factores de seguridad criterio ED-Goodman

	Eje tambor de corte	Eje superior	Eje inferior
σ'_a	1.202	24.49	62.50
σ'_m	0.088	0.005	0.007
n_f	132.2	5.686	2.592
n_y	411.5	18.64	8.495

Para obtener los resultados se utiliza el diámetro mínimo de diseño. Se observa en el Cuadro 16 que para el eje del tambor de corte, ambos factores de seguridad son muy superiores al mínimo calculado por el criterio de Ullman (Cuadro 9), y al mínimo requerido por la planta de reciclaje (1.9), esto debido a que se está comprobando el diámetro dado por Renda Blades de 50 mm. Se observa también que para ambos ejes de alimentación, tanto superior como inferior, los factores de seguridad calculados son superiores. Tomando en cuenta los criterios anteriores, se concluye que los factores de seguridad del diseño de los tres ejes son aceptables, se asegura una alta durabilidad de estos al tener factores de seguridad a la fluencia del material n_y con valores superiores al factor de seguridad de distorsión y del criterio de Ullman.

10. Selección de chumaceras

Luego de determinar las medidas de los tres ejes, se debe seleccionar las chumaceras para cada uno. Para esto se requieren los diámetros elegidos en la sección del eje donde se colocan las chumaceras, y el valor de las reacciones que estos provocan.

Para el eje del tambor de corte se tiene un diámetro mínimo de 11.60 mm, para el eje de alimentación superior de 12.49 mm y para el eje de alimentación inferior de 10.82 mm. Debido a que el diámetro interior del tambor de corte es de 50 mm, se reduce en 70 % cada hombro, obteniendo un diámetro de 26.25 mm para el área de rodamientos, por lo que se elige un diámetro nominal de 25 mm y así mantener una distribución equitativa entre los diámetros del eje. Siguiendo esta misma línea de pensamiento, se elige un diámetro nominal de 25 mm para el eje superior y de 15 mm para el eje inferior de alimentación.

Con los diámetros nominales seleccionados, se elige para el eje del tambor de corte y para el eje superior, una designación SKF 6005 y para el eje inferior SKF 6002, ambos de tipo rígido de una hilera de bolas. Siguiendo el catálogo SKF, se obtiene la capacidad de carga básica dinámica C, y la carga límite de fatiga P_u para ambos modelos seleccionados (G. SKF, 2015).

De los análisis de momento alternante máximo de cada eje calculados en la sección anterior, se pueden determinar las reacciones generadas por las chumaceras en cada eje para ambas chumaceras, izquierda y derecha. Se calcula la vida nominal básica de cada chumacera antes de que ocurra la primera seña de fatiga en el metal, se calcula mediante la ecuación:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3$$

La vida nominal SKF mediante la ecuación:

$$L_{nm} = a_1 * a_{SKF} * L_{10}$$

Donde a_1 es el factor de ajuste de la vida útil para mayor confiabilidad que se lee de la Tabla 1 del catálogo SKF, y a_{SKF} es el factor SKF de modificación de la vida que se lee del diagrama 3 del catálogo (G. SKF, 2015).

Cuadro 17: Vida nominal básica con confiabilidad de 90 %

	Eje de tambor de corte	Eje de alimentación superior	Eje de alimentación inferior
D mín (mm)	11.60	12.49	10.82
D elegido (mm)	25	25	15
Designación	6005	6005	6002
C(kN)	11.9	11.9	5.85
P_u (kN)	0.275	0.275	0.120
Reacción derecha P (kN)	0.397	0.528	0.238
Reacción izquierda P (kN)	0.293	0.162	0.238
L_{10} derecho (millones de revoluciones)	26,932	11,442	125,000
L_{10} izquierdo (millones de revoluciones)	66,994	397,100	14,850
L_{nm} derecho (millones de revoluciones)	118,501	50,344	343,750
L_{nm} izquierdo (millones de revoluciones)	294,775	1,747,242	40,838

D. Simulación

Se utiliza el *software* de análisis de elementos finitos ANSYS Workbench 2023 R1 (®) para realizar una simulación del dado peletizador sometido a una presión generada por el plástico extruido, con el fin de determinar si el material y el diseño son aptos para este componente.

La simulación se hace utilizando el diseño de la Figura 12. El material seleccionado inicialmente para este componente es acero inoxidable AISI 304, que es un acero austenítico con buena resistencia a la corrosión, no cambia sus propiedades en trabajos con temperaturas menores a 400°C (El Wahabi et al., 2003), lo que lo hace un material aplicable para el dado peletizador. Se realiza un análisis con acero herramienta de bajo contenido de carbono.

1. Tipo de análisis

Se inicia el análisis con un sistema *Static Structural*, ya que el dado está fijo a la salida de la extrusora. Se procede a importar la geometría del dado y a eliminar radios y filetes que comprometen el tiempo de análisis del programa, esto se realiza editando en *designmodeler*, dentro de geometría.

2. Material

Para poder realizar la simulación, es necesario conocer algunas propiedades del material, estas se obtienen de *Matweb* y se muestran en el siguiente Cuadro:

Cuadro 18: Propiedades de AISI 304

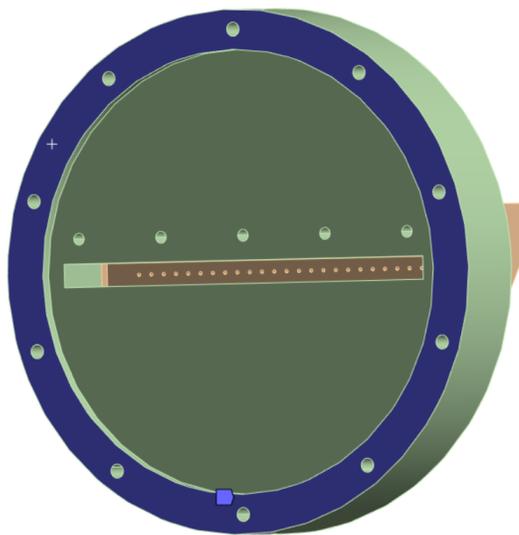
Resistencia mínima a la tensión (MPa)	Resistencia mínima a la fluencia (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Coefficiente de Poisson
505	215	193	0.29

Luego de agregar los materiales, se procede a agregar el material correspondiente a cada pieza (la base y la boquilla), esto se hace en *model - geometry*.

3. Soportes, contactos y cargas

Luego de cargar la geometría a simular, se colocan los soportes de la pieza. Estos son lo que impide el movimiento de la pieza, en el caso del dado peletizador es la parte trasera de la base, ya que esta es la que se atornilla a la salida de la extrusora, por lo que se coloca *fixed support* de condición frontera como se muestra en la Figura 28.

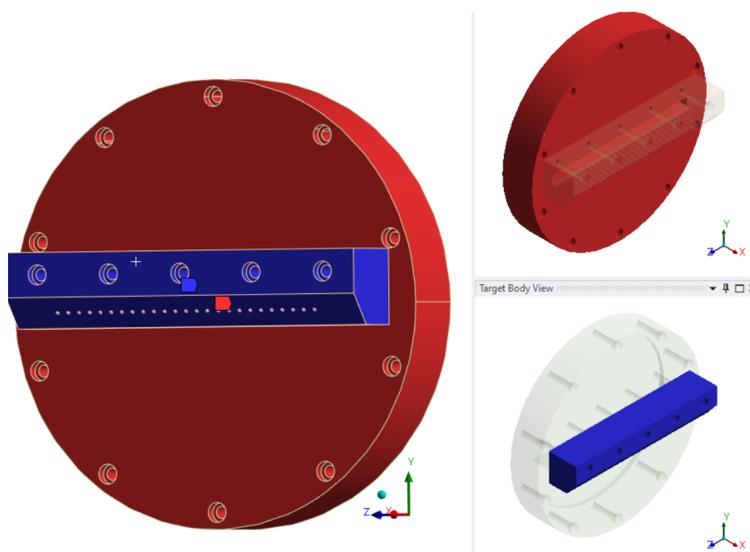
Figura 28: Soporte fijo del dado peletizador



Fuente: Captura de pantalla de ANSYS

El siguiente paso es colocar los contactos, en este caso se tiene un solo contacto entre la base y la boquilla, se coloca un contacto *bonded* ya que estos dos elementos no se tienen que separar en ningún momento. Se muestra en la Figura 29

Figura 29: Contacto *bonded* entre base y boquilla

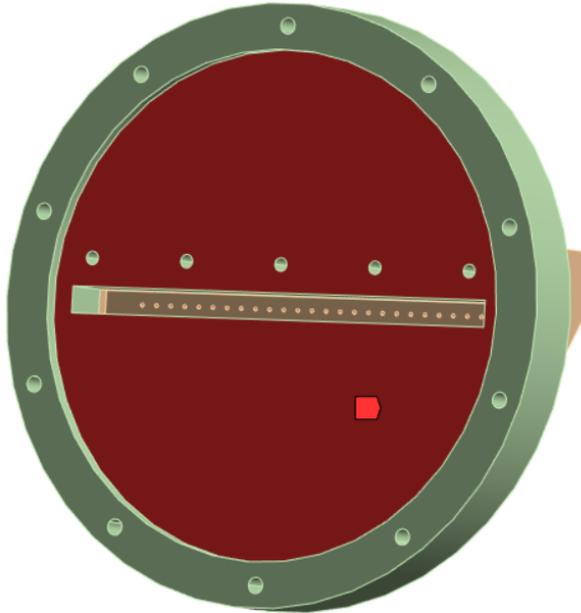


Fuente: Captura de pantalla de ANSYS

En la sección de cargas, se coloca la presión ejercida por el tereftalato de polietileno saliendo de la extrusora, y dirigiéndose al dado peletizador. Esta se coloca como *Pressure* y el único parámetro que pide es la presión ejercida por el plástico, definida anteriormente como 0.588 MPa. Esta presión es la que se encuentra en la salida de la extrusora y que tiene

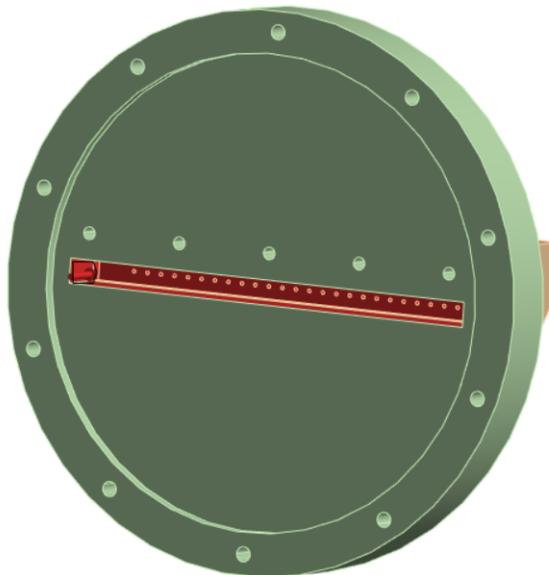
contacto con la base del dado peletizador como se muestra en la Figura 30, sin embargo, cuando cambia el área y entra en la boquilla, esta presión aumenta a 9.56 MPa como se muestra en la Figura 31

Figura 30: *Pressure* en base de dado peletizador



Fuente: Captura de pantalla de ANSYS

Figura 31: *Pressure* en boquilla de dado peletizador



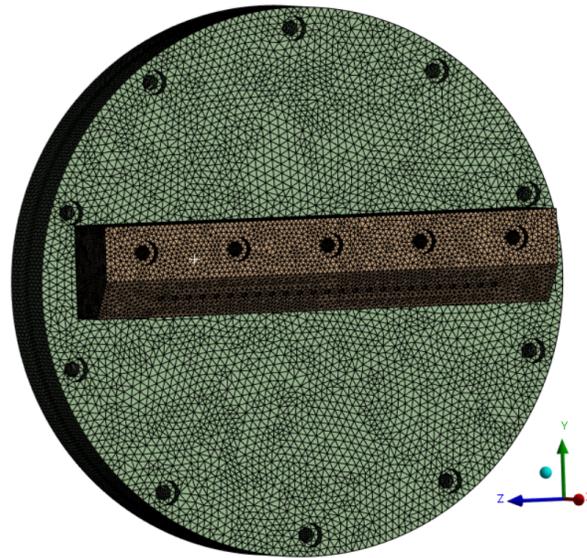
Fuente: Captura de pantalla de ANSYS

4. Mallado

Se procede a cambiar el mallado de la base y la boquilla del dado, con el fin de obtener resultados más precisos. Para poder conocer la calidad de los resultados, se requiere de una variable de referencia, se selecciona la opción *skewness* que cuantifica la calidad del mallado con valores de 0 a 1, siendo 0 una excelente calidad y 1 una calidad pobre.

En la primera iteración se utilizó el mallado predeterminado y se obtuvo un *skewness* promedio de 0.54, con la finalidad de mejorar la exactitud del cálculo se agregó el método *sizing* a ambas piezas, con un valor de 12 mm cada una, el *skewness* mejoró a 0.29, se intentó utilizar valores de *sizing* menores pero la limitación de la licencia estudiantil no lo permitió.

Figura 32: Mallado en ambas piezas



Fuente: Captura de pantalla de ANSYS

5. Resultados de la simulación

El último paso dentro del *software* es agregar los resultados que se busca obtener con la simulación, con el fin de verificar o corroborar que el dado peletizador pueda soportar la presión ejercida por el plástico. Por ello, interesa conocer los valores del esfuerzo de Von Misses, el factor de seguridad y la deformación del dado. En el Cuadro se muestran los resultados obtenidos.

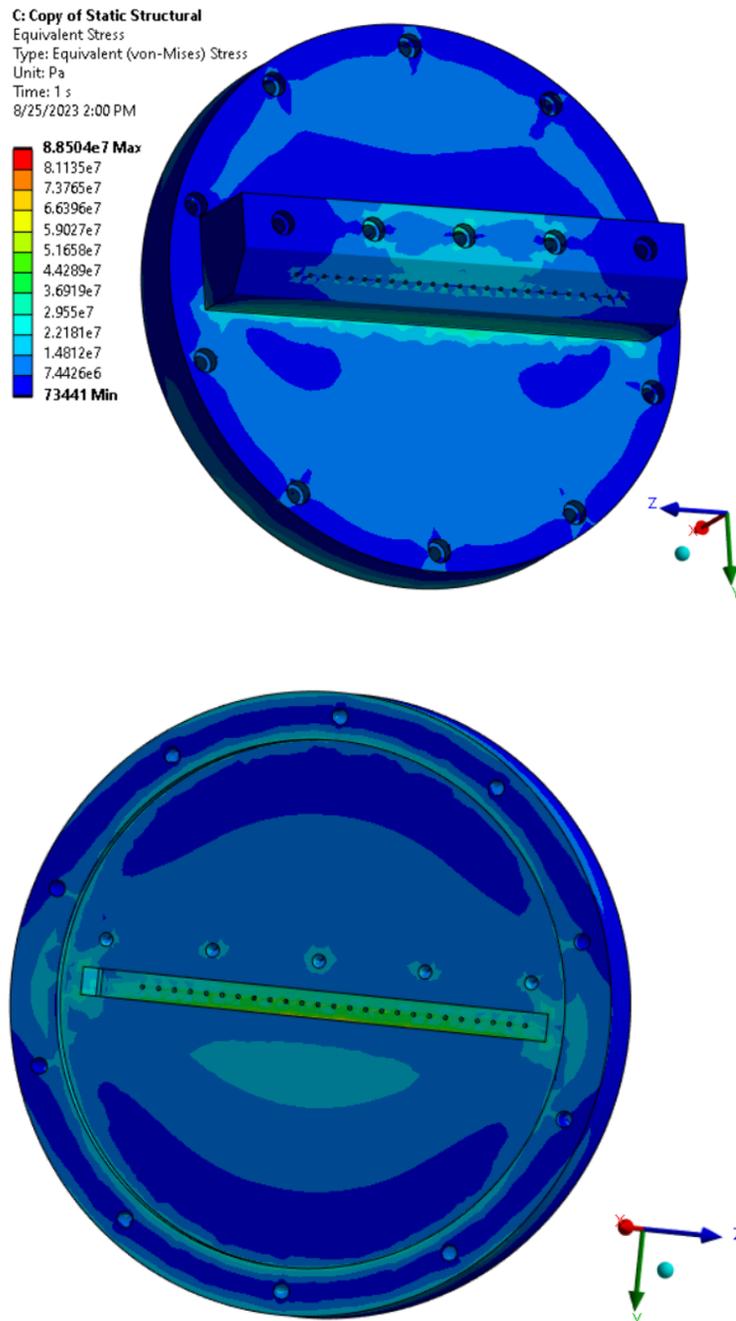
Cuadro 19: Resultados y discusión de la simulación

von Misses (MPa)	Factor de seguridad	Deformación (m)
88.5	2.43	3.0507e-005

En las Figuras [33](#), [34](#) y [35](#) se observa cada resultado representado en un mapa de calor

para observar el comportamiento del dado peletizador y ver cómo se concentran en las piezas.

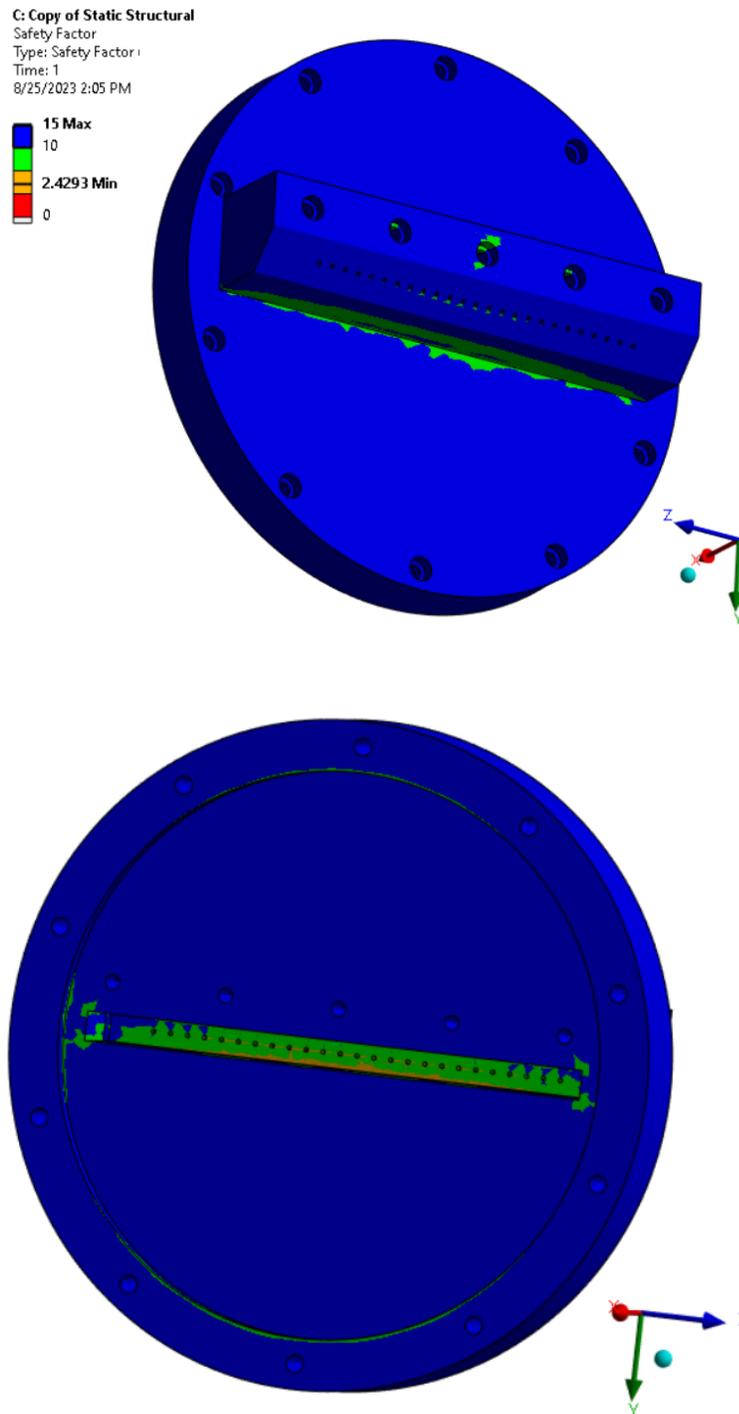
Figura 33: Esfuerzo von Mises en base y boquilla



Fuente: Captura de pantalla de ANSYS

Se observa tanto en el Cuadro 19 como en la Figura 33, que el valor obtenido para esfuerzo von Mises es de 88.5 MPa, este valor no sobrepasa el límite de fluencia del acero inoxidable AISI 304 que tiene un valor de 505 MPa, esto indica que si se le da un uso correcto a las piezas, pueden funcionar de forma correcta por varios años.

Figura 34: Factor de seguridad en base y boquilla

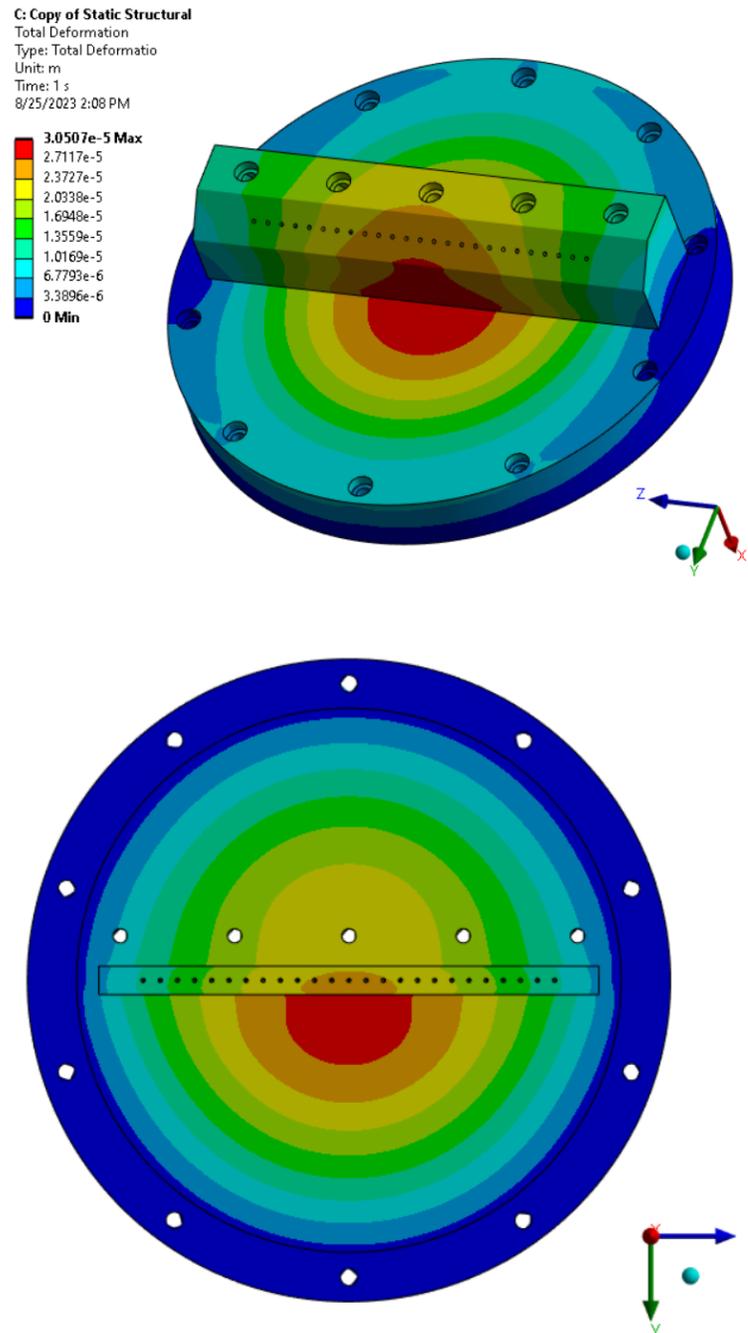


Fuente: Captura de pantalla de ANSYS

Se observa tanto en el Cuadro 19 como en la Figura 34, que el valor obtenido para el factor de seguridad es de 2.43, este valor es mayor a 1.9 que es el establecido por la línea de reciclaje como valor mínimo que los componentes deben de cumplir, y es mayor a 2.1 que es el calculado con el criterio de Ullman. El factor obtenido en la simulación garantiza que no

existirá fallo por la presión del PET.

Figura 35: Deformación en base y boquilla



Fuente: Captura de pantalla de ANSYS

Se observa tanto en el Cuadro 19 como en la Figura 35, que el valor obtenido para el desplazamiento total del dado o la deformación es de $3.0507e-005$ m o 0.030507 mm, este valor indica cuánto se desplaza el dado debido a la presión aplicada sobre este, que engloba a los tres ejes. Este valor es muy pequeño en comparación con el tamaño de la pieza, por lo

que podría considerarse despreciable.

Conclusiones de la simulación

- El esfuerzo de von Mises de 88.5 MPa indica que este componente no fallará debido a la presión, ya que es un valor menor al límite de fluencia del acero (505 MPa).
- El valor del factor de seguridad obtenido es de 2.43, es un valor mayor al establecido como mínimo (1.9) por la línea de reciclaje y al calculado con el criterio de Ullman (2.1), esto indica que este componente es seguro.
- La deformación total del componente resulta ser muy pequeña (3.0507×10^{-5} m o 0.030507 mm) para el tamaño de este, por lo que se considera despreciable.
- El acero inoxidable AISI 304 muestra un buen comportamiento, en cuanto a la presión de tereftalato de polietileno ejercida sobre el dado peletizador.

E. Cotización de materiales

La selección y cotización de materiales para cada componente diseñado y calculado se presenta a continuación. Es importante mencionar que el criterio con mayor ponderación para la selección de materiales es el económico, los seleccionados son aquellos cuyo precio ha sido la opción más viable económicamente.

Para el dado peletizador se eligió acero inoxidable AISI 304 ya que este tiene excelentes propiedades contra la corrosión, resistencia contra la oxidación por temperaturas relativamente altas y resistencia al desgaste. El proveedor nacional es Tecniaceros (®), y las medidas que ofrecen son de 18" de diámetro por 2" de largo.

Para el baño de agua se eligió acero inoxidable 304 con recubrimiento de pvc ya que este tiene excelente resistencia a la corrosión en ambientes húmedos y expuestos al agua, lo que lo hace ideal para este elemento. El proveedor nacional es Mainco (®), y las medidas que ofrecen son de 4x8 pies.

Para las guías de hilos se eligió teflón PTFE ya que este tiene baja fricción y capacidad de reducir la resistencia al movimiento, además, es resistente a distintas sustancias, lo cuál lo hace ideal para este elemento. El proveedor nacional es Euroaceros (®), y las medidas que ofrecen son de 55 mm de diámetro y 2 m de largo.

Para los ejes de transmisión se eligió el acero AISI 1045 ya que este es un acero de alta resistencia con excelente capacidad para resistir cargas mecánicas y esfuerzos, además, cuenta con una dureza adecuada al desgaste y a la abrasión. El proveedor nacional es Tecniaceros (®), y las medidas que ofrecen son 2.5" de diámetro y 50 cm de largo.

Para el rodillo de alimentación superior se había elegido inicialmente el acero inoxidable AISI 304, pero debido a su costo elevado se eligió el acero herramienta AISI 01 ya que este posee una excelente resistencia a la corrosión en ambientes húmedos y corrosivos, debido a

que el rodillo está en contacto con los hilos extruidos, este material es ideal. El proveedor nacional es Euroaceros (®), y las medidas que ofrecen son 4" de diámetro y 7" de largo.

Para el rodillo de alimentación inferior se eligió el igualmente el acero herramienta AISI 01 y se utiliza el mismo proveedor y medidas que para el rodillo de alimentación superior.

Para la tolva que recibe el material y la criba de captación, se eligió acero inoxidable AISI 304 con recubrimiento de pvc al igual que el baño de agua, utilizando el mismo proveedor y medidas descritas en ese componente.

Cuadro 20: Cotización de materiales para peletizadora de hebras con enfriamiento posterior

Material	Descripción	Precio unitario (Q)	Cantidad	Total (Q)
AISI 304 18x3"	Dado peletizador	8,602.50	2	17,205.00
AISI 304 4X8 pies L134X8041.5	Baño de agua	1,427.00	2	2,854.00
Teflón PTFE 55mm x 2m	Guías de hilos	3,122.50	1	3,122.50
AISI 1045 2.5"x 0.5m	Ejes de transmisión	306.00	3	918.00
AISI 01 4x7"	Rodillos de alimentación	867.00	2	1,734.00
Costo total materiales				25,833.50

En la cámara de corte se encuentran componentes que no se deben manufacturar pero sí comprar, estos son el motor eléctrico, bandas de transmisión, poleas y chumaceras. Estos fueron seleccionados con base en los cálculos presentados. El motor es un trifásico WEG W22 de 10 hp y 1800 rpm, el proveedor nacional es Era y Relmo (®). Los pernos del dado peletizador son hexagonales métricos M12 de paso grueso 1.5m el proveedor nacional es EPA (®).

Las bandas de transmisión son SKF PHG 5V1000, y las poleas se tienen las designaciones PHP 3-5V710TB, PHP 3-5V750TB y PHP 3-5V2800TB, todas con proveedor internacional *MiMotion* (®), el cual está autorizado como distribuidor oficial de SKF, estas se cotizan con este proveedor y no uno nacional debido a que los tamaños calculados no son estándar y no se encuentran en Guatemala; los precios calculados son importando por avión a un casillero en la ciudad de Guatemala. Las chumaceras del eje del tambor de corte y del eje de alimentación superior son SKF 6005, y las de eje de alimentación inferior son SKF 6002, ambas con proveedor nacional Era y Relmo (®).

Para el tambor de corte se eligió un proveedor especializado en elementos de peletizadoras Xiamen Renda Blades, se le indicaron las especificaciones como el flujo másico a manejar y el número de dientes aproximado. La empresa envió una cotización para un tambor de corte de 24 dientes o cuchillas. Esta cotización incluye el costo de importarlo por barco a puerto San José.

Figura 36: Cotización tambor de corte



Xiamen Renda Industry And Trade Co., Ltd.
 Xiamen Area of China(Fujian) Pilot Free Trade Zone,China
 www.rendablades.com http://rendablade.en.made-in-china.com
 TEL: +86-0592-6053503

Proforma Invoice

TO: Miss Yessika

Payment Terms: 50% (USD) T/T in advance 50% (USD) T/T before shipment

Package: Inside: Applied with anti-rust oil packed in plastic bag Outside: Plywood case

INQ No.: P/O No.:

DATE: 31-Jul-23 **Valid Time:** Within one week

Production Time: 25days against deposit **Proforma Invoice No:** RDBM2023073123

item	Full Hardened at Core			
In accordance to your S-SCHEERSGSOA DWG, price is as following.				
Size(inch)	Material	Quantity (pcs)	Unit Price (USD)	Amount (USD)
200*Φ160*24T	304+carbide	2	610	1,220.00
				1,220.00
TOATL 1,486USD(ship freight by sea, 266USD)				
CIF Guatemala				
Bank information				
Beneficiary Company:Xiamen Renda Industry And Trade Co.,Ltd Beneficiary Bank: China Construction Bank Bank Account No.:35150198020100000080 SWIFT BIC:PCBCCNBJSMX Post code:350200 Bank Address:1A-2A No.156-160, Lianyue Road, Siming District, Xiamen City,Fujian Province				
Sales: Afa Ren Email:sales@rendablades.com				

Fuente: propia

Cuadro 21: Cotización de componentes para peletizadora de hebras con enfriamiento posterior

Componente	Descripción	Precio unitario (Q)	Cantidad	Total (Q)
WEG W22 10 hp	Motor eléctrico	5,380.00	1	5,380.00
M12 1.5	Pernos	7.50	15	112.50
PHG 5V1700	Bandas SKF	551.31	4	2,205.25
PHP 3-5V710TB	Poleas SKF	2,004.27	1	2,004.27
PHP 3-5V750TB	Poleas SKF	2,097.38	1	2,097.38
PHP 3-5V2800TB	Poleas SKF	6,176.11	2	12,352.22
SKF 6002	Chumaceras	35.00	2	70.00
SKF 6005	Chumaceras	50.00	4	200.00
304 200x160x24	Tambor de corte	3,438.00	1	3,438.30
Bomba Periférica 1/2 Hp - Pretul ®	Bomba de agua	269.99	1	269.99
Costo total componentes				28,048.91

Otro componente que se debe comprar es la bomba de agua, como se había mencionado anteriormente, se eligió una Bomba Periférica Para Agua De 1/2 Hp - Pretul ®. El proveedor nacional es Cemaco ®.

Considerando el costo de materiales de componentes a fabricar y de componentes que se deben comprar, el costo total de materiales es el siguiente:

Cuadro 22: Cotización total de materiales para peletizadora de hebras con enfriamiento posterior

	Total (Q)
Materiales	25,833.50
Componentes	28,048.91
Costo total	53,882.41

Es importante mencionar que estos costos son solamente de materiales, no incluyen mano de obra ni costo de maquinado. Además, por la volatilidad de los precios, tienen una validez durante el mes de octubre del 2023.

F. Equipo de seguridad

Las condiciones de seguridad para el personal que operen el módulo peletizador de hebras con enfriamiento posterior es de gran importancia, por lo que se realizó un análisis de los riesgos asociados con la operación de la peletizadora, y se propuso el equipo de seguridad adecuado para proteger la integridad física y la salud de los operarios.

1. Riesgos

Riesgos mecánicos

- Atrapamiento en la cámara de corte
- Golpes y lesiones por la estructura de la máquina
- Corte en componentes como cámara de corte y dado peletizador
- Quemadura por hilos extruidos

Riesgos químicos

- Exposición a vapores y gases tóxicos durante el proceso de enfriamiento de *pellets*

Riesgos eléctricos

- Contacto con partes energizadas de la máquina

2. Equipo de seguridad

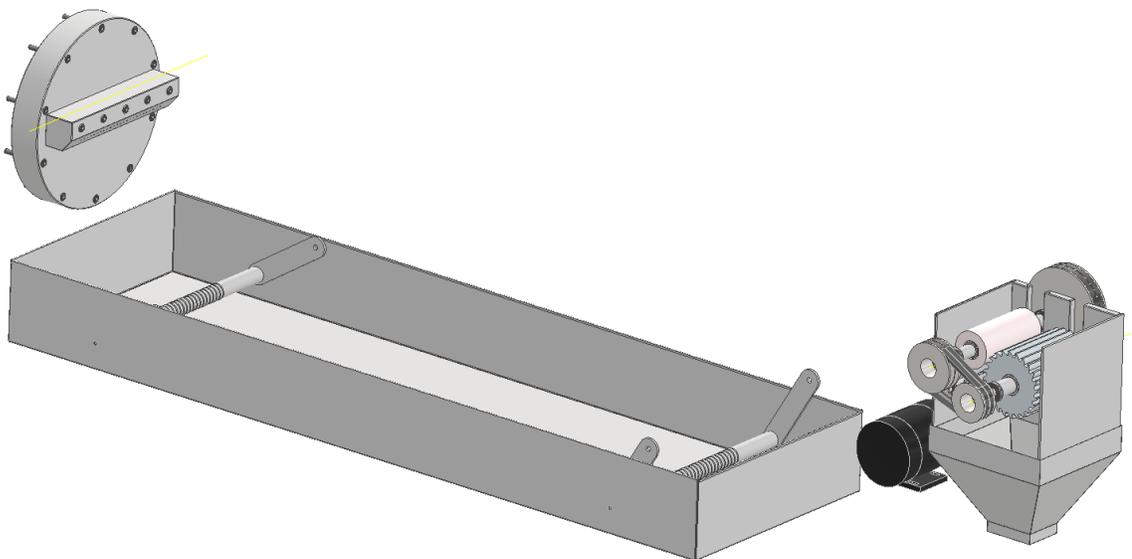
- ✓ Guantes resistentes al calor: protegen las manos de cortes, abrasiones y quemaduras
- ✓ Calzado industrial con punta de acero: protegen los pies contra caídas de objetos, aplastamientos, objetos punzantes o superficies resbaladizas.
- ✓ Mascarillas de protección respiratoria: filtran partículas, vapores y gases del aire, protegiendo las vías respiratorias y pulmones.
- ✓ Lentes de seguridad: protegen los ojos contra partículas voladoras, polvo, chispas y salpicaduras.
- ✓ Casco: protegen la cabeza contra impactos, caídas de objetos y golpes, evita lesiones en el cráneo y cuero cabelludo.
- ✓ Ropa de protección: uniformes diseñados para proteger la piel contra quemaduras, salpicaduras, chispas y exposición a altas temperaturas.

El uso correcto del equipo de seguridad personal es esencial para su efectividad. Los operarios deben recibir capacitación sobre cómo usarlo, ajustarlo y mantenerlo adecuadamente. Además, este debe ser inspeccionado regularmente para garantizar un buen estado. Utilizando este EPP, los operarios pueden desempeñar sus funciones de manera segura y sentirse protegidos contra los riesgos asociados a la operación de la máquina.

A. Diseño

Para el diseño de los componentes se utilizó Autodesk Inventor 2022 [®]. En esta sección se incluye el diseño mecánico completo del módulo peletizador de tereftalato de polietileno. En la Figura 37 se observa el diseño de la peletizadora.

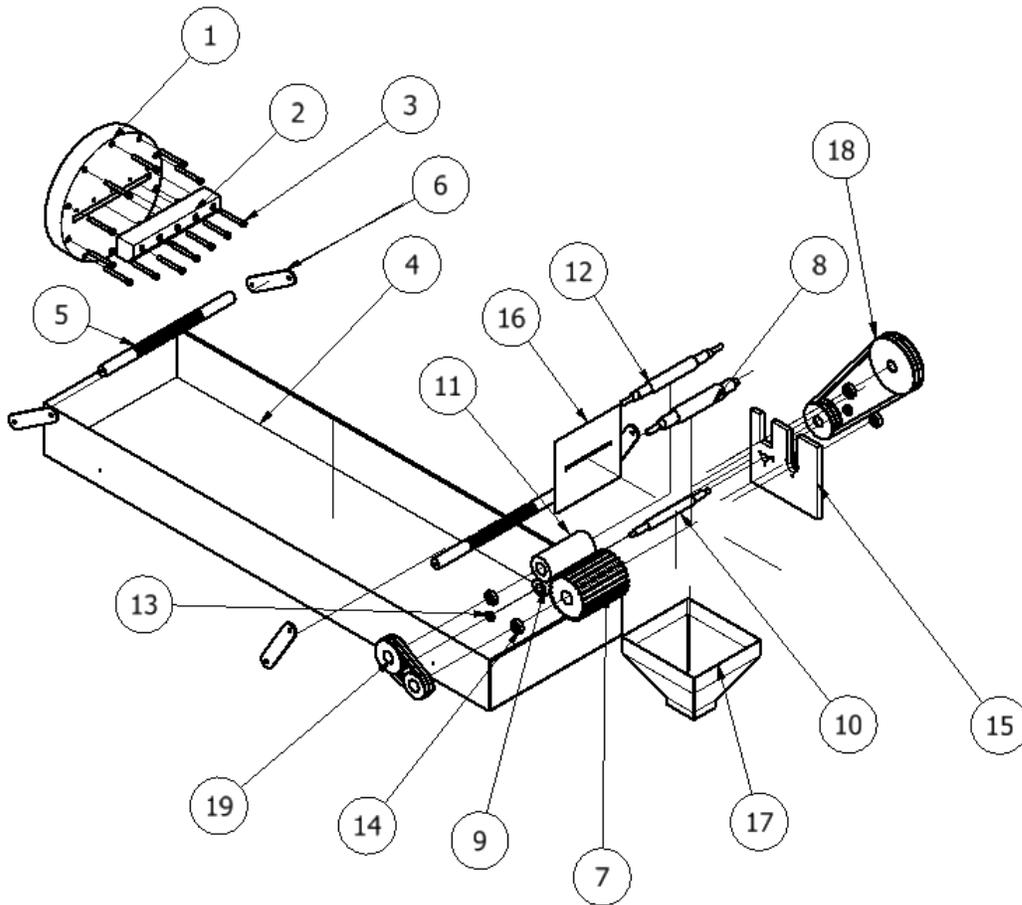
Figura 37: Módulo peletizador de PET



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

Los componentes diseñados son el dado peletizador, que incluye la base y la boquilla, con sus pernos correspondientes; el baño de agua que incluye las guías de hilos; y la cámara de corte que incluye el tambor de corte, el rodillo de alimentación superior e inferior con sus respectivos ejes y chumaceras, las bandas de transmisión de potencia, y la criba de captación de los *pellets*.

Figura 38: Explosión módulo peletizador de PET



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

En la Figura 38, se observa una explosión del módulo, en la cuál se pueden apreciar los distintos componentes de esta. En el Cuadro 23 se presenta un listado con los componentes del módulo, los números corresponden al número de pieza de la Figura 38.

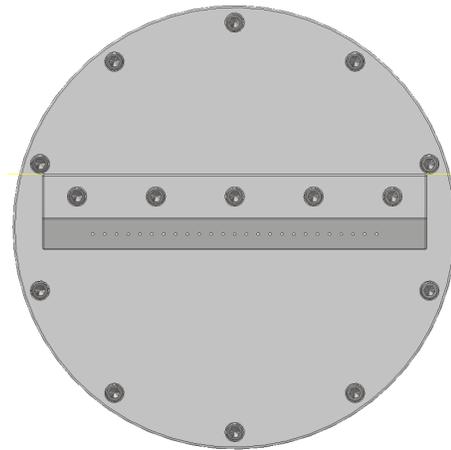
Cuadro 23: Listado de componentes de módulo peletizador de PET

PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Boquilla dado
2	1	Base dado
3	15	Pernos M12
4	1	Baño de agua
5	2	Guía de hilos
6	4	Soportes guías
7	1	Cuchilla
8	1	Eje de cuchilla
9	1	Rodillo infeior
10	1	Eje de rodillo inferior
11	1	Rodillo superior
12	1	Eje rodillo superior
13	2	Chumaceras SKF 6002
14	4	Chumaceras SKF 6005
15	1	Pared
16	1	Entrada a cámara
17	1	Criba
18	1	Transmisión etapa 1
19	1	Transmisión etapa 2

Las bandas de transmisión y los ejes del tambor de corte, rodillo de alimentación superior e inferior, fueron diseñados con la opción de *Design Accelerator* de Inventor ®. Es importante mencionar que esta opción se ha utilizado para realizar los diseños ingresando los datos que cada apartado solicita, utilizando los valores calculados y descritos para cada uno.

En la Figura 39 se observa el diseño del dado peletizador, contiene 25 agujeros que fueron calculados para satisfacer el flujo másico de 150 kg/hr, 10 pernos que sujetan la base del dado con la salida de la extrusora, y 5 que conectan la boquilla con la base del dado. Para este componente se obtuvo un factor de seguridad de 2.43 utilizando el *software* ANSYS ®.

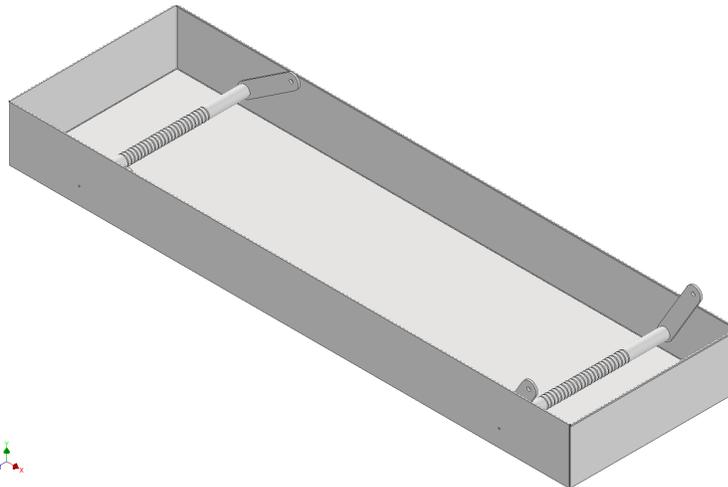
Figura 39: Dado peletizador — Vista frontal



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

En la Figura 40 se observa el diseño del baño de agua junto con las guías de hilos que ayudan a mantener el flujo constante de los hilos extruidos que pasan a través del baño para ser enfriados. Al baño de agua se le debe instalar el intercambiador de calor tipo radiador con potencia mínima de 10,882 W, y la bomba de agua de flujo radial con potencia mínima de 0.1786 kW o 0.2395 hp, por lo que se elige una Bomba Periférica para agua de 1/2 hp Pretul®.

Figura 40: Baño de agua — Vista isométrica



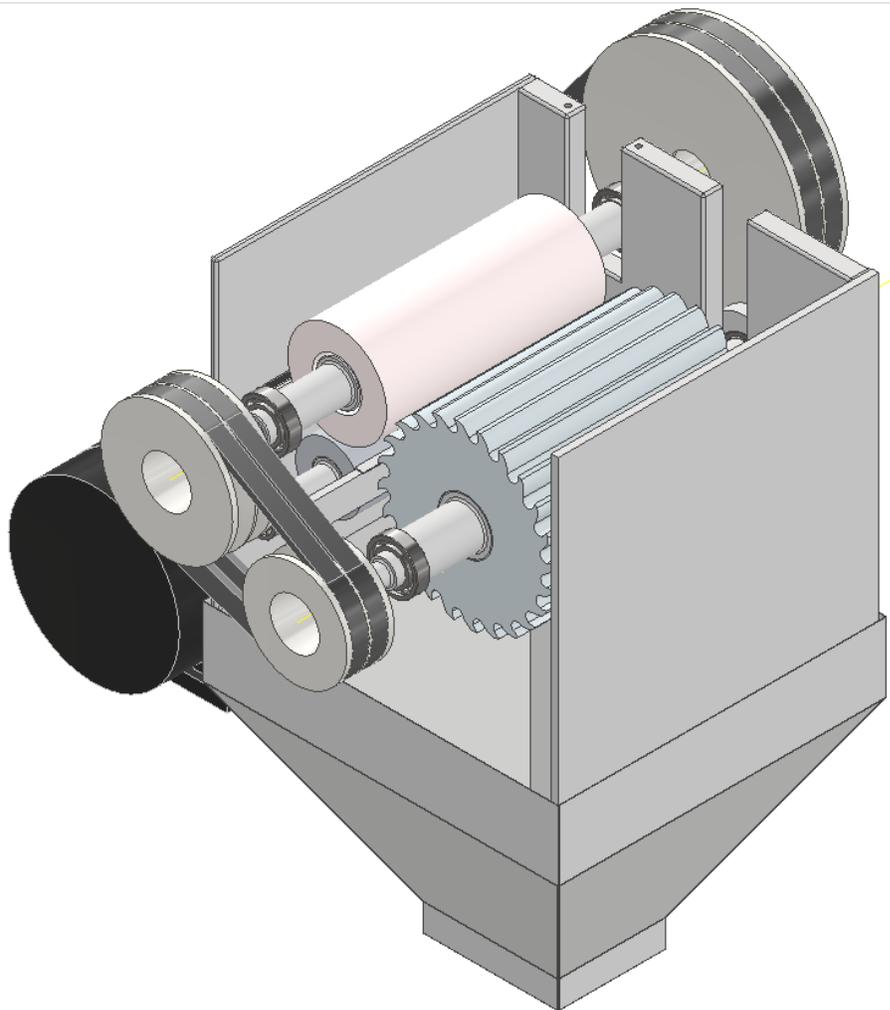
Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

En la Figura 41 se observa el diseño de la cámara de corte, en donde se incluye el tambor de corte de 24 dientes cuyo proveedor es Renda Blades, en este componente se obtuvo una

fuerza de corte o cizalla de 7,087.47 N y un factor de seguridad de 4.20. Para el rodillo de alimentación superior se obtuvo una fuerza de fricción de 34.52 N. La potencia requerida por la cámara es de 7.56 hp por lo que se elige un motor trifásico WEG W22 con carcasa de hierro de 10 hp.

Para la transmisión de potencia se determinó que es necesario 2 bandas para la primera etapa, del motor al eje de alimentación superior, y 2 bandas para la segunda etapa de este último eje al eje del tambor de corte. Las 4 bandas se seleccionan PHG 5V1000 y para la primera etapa se elige una polea menor PHP 3-5V710TB, mientras que para la segunda etapa una polea menor PHP 3-5V750TB, en ambas etapas la polea mayor se elige PHP 3-5V2800TB, todos estos componentes del catálogo SKF.

Figura 41: Cámara de corte — Vista isométrica

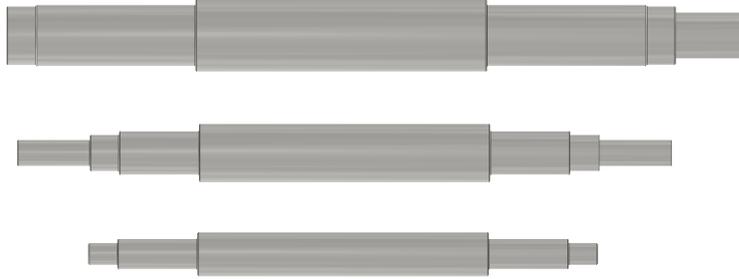


Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

En la Figura 42 se observan los tres ejes diseñados, para el tambor de corte, rodillo de alimentación superior e inferior, respectivamente. Para el primero se obtuvo un diámetro

mínimo de 12.08 mm y se eligió uno de 18 mm, con un factor de seguridad de 132.2 y la fluencia de 411.5. Para el segundo se obtuvo un diámetro mínimo de 12.49 mm y se eligió uno de 15 mm, con un factor de seguridad de 5.686 y a la fluencia de 18.64. Para el último se obtuvo un diámetro mínimo de 10.82 mm y se eligió uno de 12 mm, con un factor de seguridad de 2.592 y a la fluencia de 8.495.

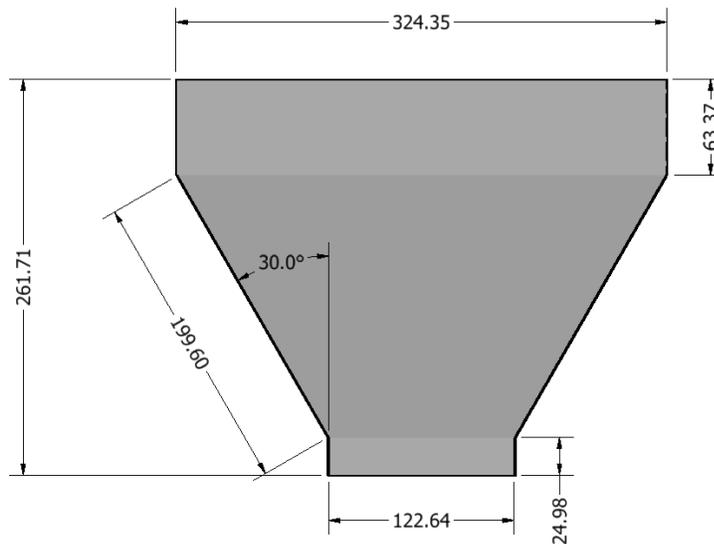
Figura 42: Ejes de transmisión — Vista frontal



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

El diseño de la criba de captación no se realizó debido a que se determinó que es preferible utilizar una criba vibratoria para garantizar el tamaño correcto de los *pellets*. La tolva que se utiliza en la salida de la cámara de corte para recibir los *pellets* se observa en la Figura 43.

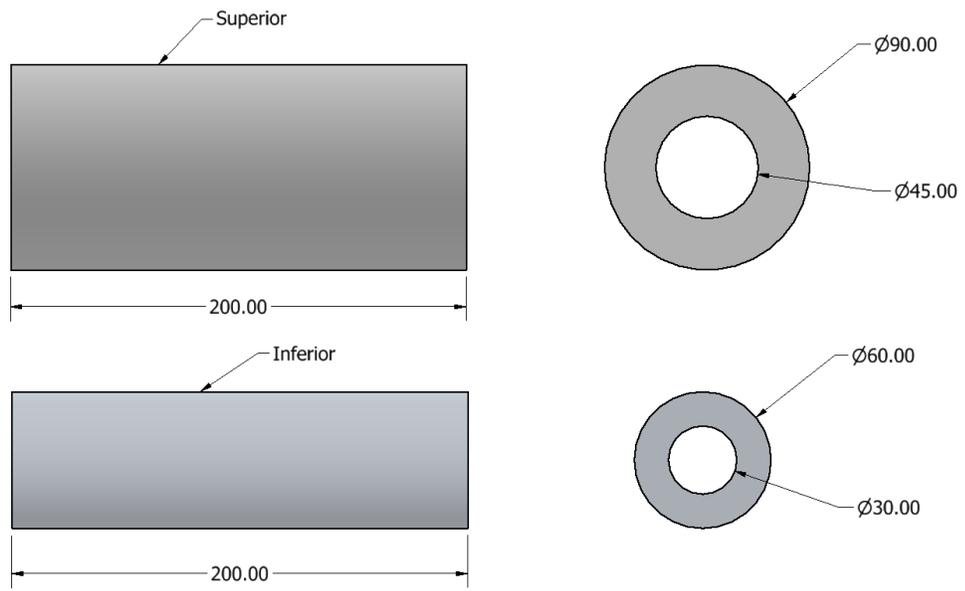
Figura 43: Tolva



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

Se realizó el diseño de los rodillos de alimentación superior e inferior de la cámara de corte que se encargan de mover los hilos extruidos hacia el tambor de corte.

Figura 44: Rodillos de alimentación superior e inferior



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk Inventor

B. Requisitos

Cuadro 24: Definición de requisitos

Código	Requisito	Cumplido
F01	La capacidad de la peletizadora debe de ser de al menos 150 kg/h.	✓
F02	El módulo debe funcionar con la supervisión de solo un operario.	✓
F03	El módulo debe contar con una criba de captación de <i>pellets</i> .	X
S01	Utilizar guardas de seguridad para evitar contacto físico con partes móviles.	✓
S02	El sistema eléctrico no debe estar expuesto al operario.	✓
S03	El módulo debe contar con un botón de emergencia para interrumpir el proceso en cualquier momento.	✓
S04	Se debe identificar el equipo de seguridad personal necesario para manipular el módulo.	✓
P01	Diámetro de pellets debe estar entre 3 y 5 mm.	✓
P02	El largo de los pellets debe estar entre 4 y 6 mm.	✓
M01	El diseño debe permitir fácil acceso a los componentes.	✓
C01	El dado peletizador debe ser capaz de acoplarse a la salida de la extrusora.	✓
C02	El dado peletizador debe contar con la cantidad suficiente de agujeros para cumplir con la capacidad de peletización del módulo.	✓
C03	Los materiales de componentes a maquinar deben conseguirse localmente.	X
C04	La temperatura del agua debe poder mantenerse a 25°C.	✓
C05	El tamaño del baño de agua debe garantizar el acomodamiento de los hilos extruidos para ser enfriados.	✓
C06	El baño de agua debe ser rectangular para facilitar el mantenimiento.	✓
C07	La guía de hilos debe ser capaz de guiar la cantidad de hilos extruidos de forma continua y sin interferencias.	✓
C08	El motor debe ser capaz de girar a una velocidad que permita lograr la capacidad de peletización deseada.	✓
C09	El motor debe tener sistemas de protección contra sobrecargas y cortocircuitos.	✓

Conclusiones

- ✓ Se realizó el diseño mecánico del módulo peletizador de tereftalato de polietileno de hebras con enfriamiento posterior para encajar en una línea de reciclaje con capacidad de 150 kg/h para un proceso de producción lineal y continuo que permite un funcionamiento con la extrusora.
- ✓ Se determinó que se requieren 25 agujeros en el dado peletizador para garantizar el flujo másico requerido por la línea de reciclaje en la creación de *pellets*.
- ✓ Se identificó que 10 pernos son necesarios para asegurar la base del dado peletizador a la extrusora, y 5 pernos para unir la boquilla a la base, garantizando la integridad de la estructura.
- ✓ Se determinó que se requiere el uso de un intercambiador de calor tipo radiador con una potencia mínima de 10,882 W para garantizar que los hilos extruidos que pasan a través de baño de agua, siempre sean enfriados.
- ✓ Se identificó al proveedor Renda Blades para el tambor de corte que cumple con los estándares planteados para este componente, con 24 dientes o cuchillas, 50 mm de diámetro interior ángulo de cizalla de 2° y ángulo de cuchillas de 15°.
- ✓ Con base en los cálculos se determinó que se necesita un motor trifásico de 10 hp con carcasa de hierro para el funcionamiento correcto de la peletizadora.
- ✓ Se realizó una estimación del costo total de los materiales necesarios para la fabricación de los componentes o la compra de los mismos de Q53,882.41, lo que permitirá una planificación financiera precisa.
- ✓ El diseño cumple con normas de seguridad y calidad, garantizando un funcionamiento seguro y una producción consistente.

- Buscar otros proveedores del tambor de corte en diferentes ubicaciones con el fin de obtener más información sobre precios y servicios que ofrezcan las empresas para maximizar el uso de este.
- Realizar un análisis en los distintos componentes del módulo peletizador y determinar si se pueden reducir dimensiones o geometrías para reducir costos de materiales y fabricación.
- Realizar simulaciones y análisis de elementos finitos en el *software* adecuado para verificar la resistencia estructural de todos los componentes y validar su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga.
- Determinar si la operación y mantenimiento del módulo son ergonómicos y seguros para los operadores, buscando la forma de mejorar la eficiencia y seguridad del módulo.
- Determinar si se requiere el uso de una secadora posterior al enfriamiento en el baño de agua para deshumedecer los *pellets* antes de ser cortados.
- Diseñar una criba de captación vibradora que sea capaz de clasificar los *pellets* por tamaño, separando los más grandes para garantizar uniformidad en el producto final.
- Realizar la segunda fase del diseño mecánico del módulo peletizador continuando con el sistema eléctrico de este.

- AISI 1045 Steel, cold rolled* [publisher: MatWeb - The Online Materials Information Resource]. (s.f.). Consultado el 24 de junio de 2023, desde <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=cbe4fd0a73cf4690853935f52d910784>
- Benyathiar, P., Kumar, P., Carpenter, G., Brace, J., & Mishra, D. (2022). *Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle-to-Bottle Recycling for the Beverage Industry: A Review*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35745942/>
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. (Octava edición.). McGraw Hill.
- Cengel, Y. (2011). *Transferencia de calor y masa*. McGraw Hil.
- Chandara, H., Sunjoto & Sarto. (2015). *PLASTIC RECYLING IN INDONESIA BY CONVERTING PLASTIC WASTES (PET, HDPE, LDPE, and PP) INTO PLASTIC PELLETS*. <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1333618&val=288&title=PLASTIC%20RECYLING%20IN%20INDONESIA%20BY%20CONVERTING%20PLASTIC%20WASTES%20PET%20HDPE%20LDPE%20and%20PP%20INTO%20PLASTIC%20PELLETS>
- Costa-Smith, L., Maltzer, I., & Martino, J. (2017). *Poly Pelletizer: Recycled Pet Pellets From Water Bottles*. https://scholarcommons.scu.edu/mech_senior/70/?utm_source=scholarcommons.scu.edu%2Fmech_senior%2F70&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- CUCHILLAS DE Erema pelletizer blade - 46x24/13x1 mm - Underwater pelletizing knife - INTAREMA TVE Inoxidable*. (s.f.). Consultado el 14 de junio de 2023, desde <https://sharpindustrial.es/en/product/erema-pelletizer-blade-46x24-13x1-mm-underwater-pelletizing-knife-intarema/>
- Cumbajin, B., & Vásquez, M. (2013). *Diseño y Construcción de una Máquina Peletizadora de Polietileno de Baja Densidad LPDE de 25 kg/h*.
- El Wahabi, M., Cabrera, J., & Prado, J. (2003). *El Wahabi, M., Cabrera, J. M., & Prado, J. M. (2003). Hot working of two AISI 304 steels: a comparative study. Materials Science and Engineering: A, 343(1-2), 116-125.*
- Elamri, A., Zdiri, K., Harzallah, O., & Lallam, A. (2017). *Progress in Polyethylene Terephthalate Recycling*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02953197/document>

- ETI. (2012). *EMISSIVITY TABLE*. https://thermometer.co.uk/img/documents/emissivity_table.pdf
- Extrusora de plastico – Estibas Plasticas, Canastillas Plasticas, Postes Plasticos-Soluciones en Ingenieria y Logistica SILOGSAS*. (s.f.). Consultado el 12 de agosto de 2023, desde <https://silogsas.com/fichas-tecnicas/extrusora-de-plastico/>
- Forrest, M. (2016). *Recycling of Polyethylene Terephthalate*.
- Gopalakrishna, K., & Reddy, N. (2018). *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles. Regulations%20on%20Recycling%20PET%20Bottles%20-%20ScienceDirect*
- Langer, E. (2020). *Plasticizers Derived from Post-Consumer PET // Methods of PET Recycling*.
- León, D., & Zurita, L. (2021). *intercambiador de calor de placas soldadas agua-aire, esto debido a que este tipo de intercambiadores tienen una alta eficiencia térmica por el área superficial de las placas, lo que permite una transferencia de calor más rápida y efectiva entre el agua y el aire, además del diseño compacto y fácil mantenimiento \parencite{martinez_guipara_2011}*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21249/1/UPS-CT009346.pdf>
- Lin, J. (2022). *¿Qué sistema de peletización es ideal para tus desechos plásticos?* Consultado el 21 de marzo de 2023, desde https://www.polystarco.com/es/blog_i_Which-Pelletizing-System-is-the-Best-for-Recycling-Plastics.html
- Lionetto, F., Esposito, C., Rizzo, A., & Maffezzoli, A. (2021). *Production and Characterization of Polyethylene Terephthalate Nanoparticles*.
- Machinery, B. P. (s.f.). *The cutting edge of pelletizing*. https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/88682/Bay-Plastics-Product.pdf
- Ning, H., Yan, Y., Thomas, D., Brahma, S., Stewart, K., & Pillay, S. (2020). *Recycling of Polyethylene Terephthalate*.
- Paredes Muñoz, P. C. (2018). *Evaluación de la eficiencia eléctrica en electro bombas de baja potencia por medio de un sensor de torque rotacional*. Consultado el 21 de junio de 2023, desde <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/3903>
- Pelletizer - an overview | ScienceDirect Topics*. (s.f.). Consultado el 14 de junio de 2023, desde <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pelletizer>
- PET (Thermoplastic Polyester) - Poly-Tech Industrial*. (2011). Consultado el 10 de marzo de 2023, desde <https://www.polytechindustrial.com/products/plastic-stock-shapes/pet-thermoplastic-polyester>
- Polyethylene Terephthalate (PET)*. (s.f.). Consultado el 19 de octubre de 2022, desde <https://material-properties.org/pet-density-strength-melting-point-thermal-conductivity/>
- Rodríguez, T., Jacas, M., Martínez, F., & García-Muñoz, Y. (2011). *Influencia de los parámetros de corte en el espesor de la zona de deformación plástica secundaria*. https://www.researchgate.net/publication/51018465_Influencia_de_los_parametros_de_corte_en_el_espesor_de_la_zona_de_deformacion_plastica_secundaria
- Sepe, M. (2011). *Follow These Tips to Select the Right Pelletizer*. Consultado el 21 de marzo de 2023, desde <https://www.ptonline.com/articles/how-to-select-the-right-pelletizer>
- SKF. (2008). *SKF Power Transmission Belts. Selection guide for SKF V-belts*. <https://www.skfptp.com/Publications/DownloadFile?document=Downloads%5C%2FCatalogues%5C%2FSKF%5C%20Power%5C%20transmission%5C%20belts.pdf>
- SKF, G. (2015). *Rodamientos*.
- Startup Nyltec Polymers Makes PET Pellets to Replace Nylon 6*. (2019). Consultado el 5 de marzo de 2023, desde <https://www.waste360.com/plastics/startup-nyltec-polymers-makes-pet-pellets-replace-nylon-6>

Strand Die - Trendelkamp. (s.f.). Consultado el 27 de febrero de 2023, desde <https://www.trendelkamp.com/divisions/polymer-technology/strand-die.html>

Ullman, D. (2010). *The Mechanical Design Process.* <http://160592857366.free.fr/joe/ebooks/Mechanical%20Engineering%20Books%20Collection/MACHINE%20DESIGN/The%20Mechanical%20Design%20Process.pdf>

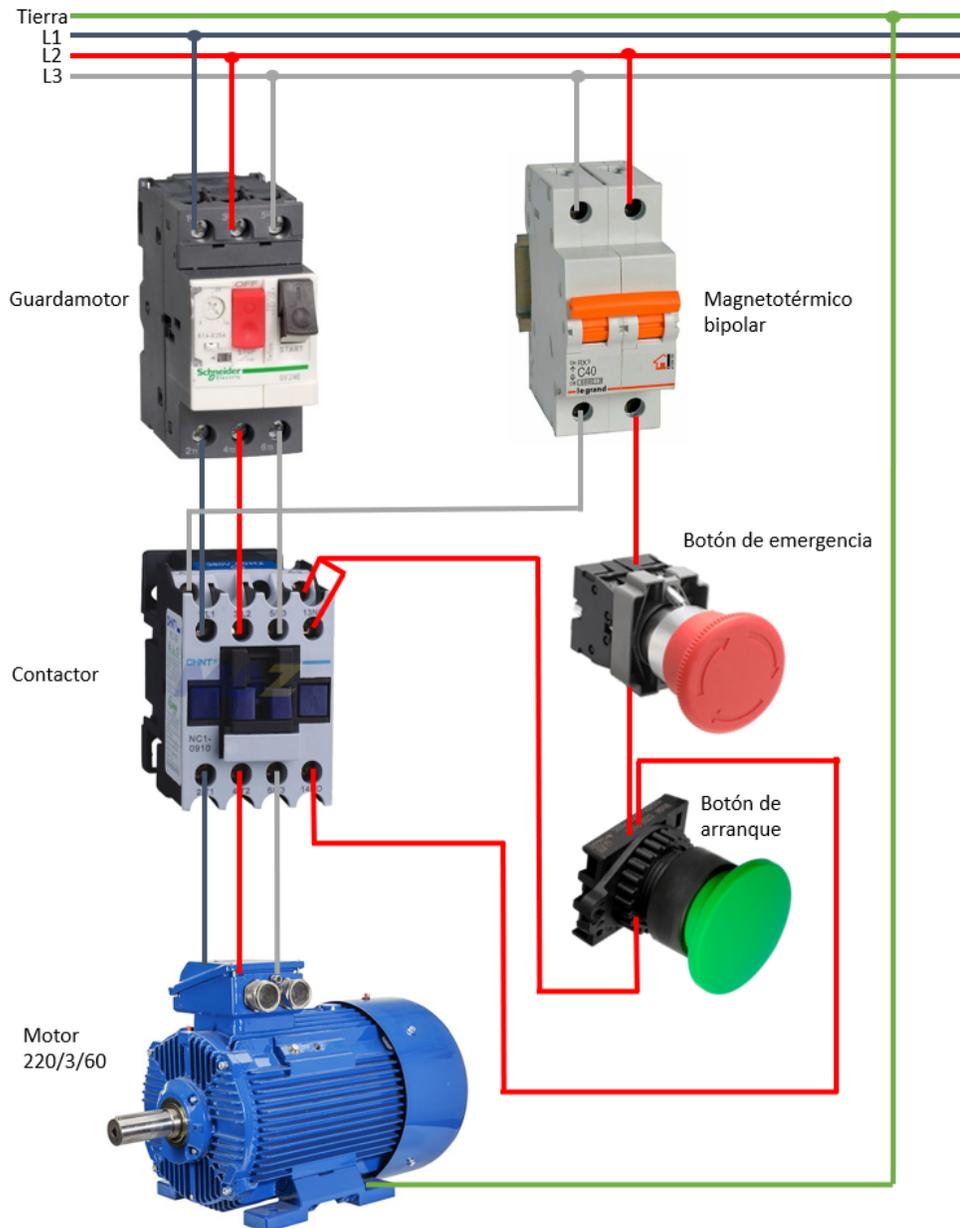
CAPÍTULO X

Anexos

A. Botón de emergencia y protección contra sobrecargas y cortocircuitos

En esta sección se presenta el circuito que representa el uso de un botón de emergencia para parar a la peletizadora por cualquier percance, y de protección contra sobrecargas y cortocircuitos se presenta a continuación

Figura 45: Esquema botón de emergencia



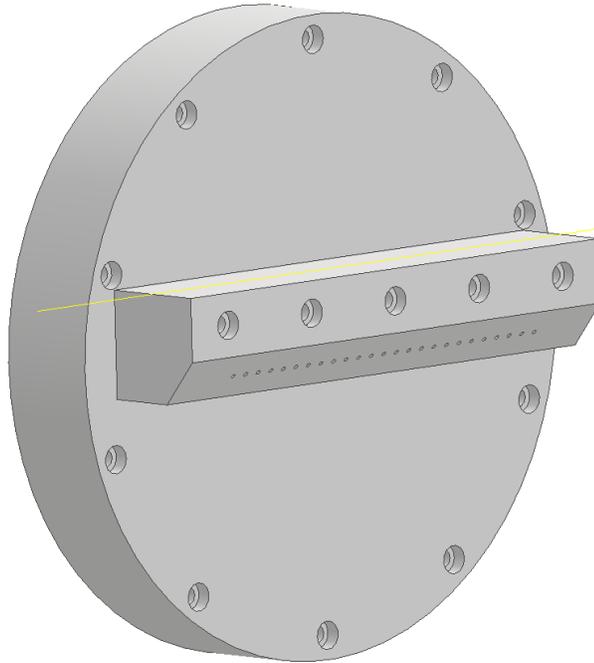
Fuente: elaboración propia

B. Manual de mantenimiento

En esta sección se presenta el manual de mantenimiento de los componentes calculados y diseñados. En este se proporcionan instrucciones para el mantenimiento adecuado de los componentes de la peletizadora de hebras con enfriamiento posterior. Es importante

mantener una documentación clara y detallada de todas las actividades de mantenimiento realizadas.

1. Dado peletizador



Frecuencia: Diario

Procedimiento:

1. Detener la máquina.
2. Desconectar de la fuente de energía.
3. Inspeccionar visualmente el dado peletizador en busca de desgastes, grietas o daños.
4. Verificar el flujo de material a través de la boquilla para asegurarse de que no hay obstrucciones.

Frecuencia: Semanal

Procedimiento:

1. Detener la máquina.
2. Desconectar de la fuente de energía.
3. Desmontar el dado peletizador.

4. Limpiar exhaustivamente todas las partes del dado, especialmente los agujeros de la boquilla con un cepillo suave y aire comprimido.
5. Aplicar lubricante antiadherente en las superficies del dado para prevenir la acumulación de material.

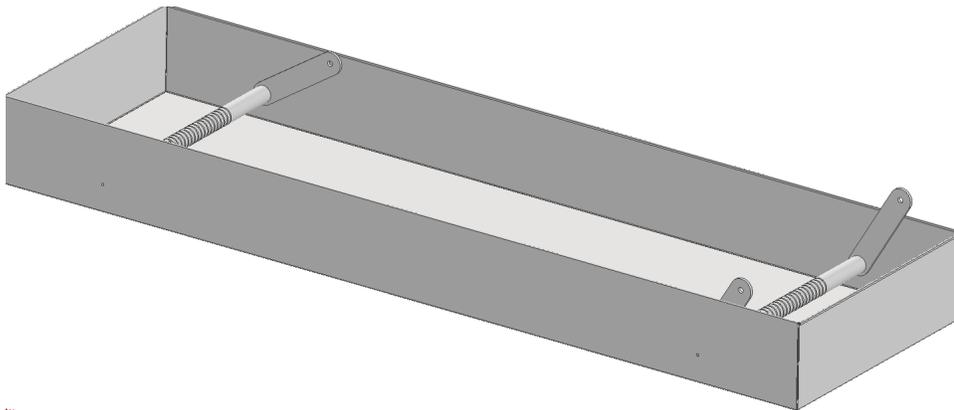
Frecuencia: Cada 3-6 meses

Insumos: Aire comprimido, cepillos suaves.

Procedimiento:

1. Detener la máquina.
2. Desconectar de la fuente de energía.
3. Desmontar el dado peletizador.
4. Realizar pruebas de dureza.

2. Baño de agua



Frecuencia: Diario

Procedimiento:

1. Inspeccionar visualmente la estructura del baño de agua en busca de corrosión u otros daños visibles.
2. Verificar que el agua fluya de manera constante con el intercambiador de calor.
3. Verificar que el agua se mantenga a 25°C.

Frecuencia: Semanal

Procedimiento:

1. Drenar el agua del baño.
2. Enjuagar el baño con agua fresca.
3. Limpiar las paredes internas y las guías con un limpiador no corrosivo y un cepillo suave.
4. Enjuagar con agua fresca.
5. Llenar el baño con agua limpia.

Frecuencia: Cada 3-6 meses

Procedimiento:

1. Verificar que las soldaduras no presenten daños físicos.

3. Intercambiador de calor



Frecuencia: Diario

Procedimiento:

1. Inspeccionar visualmente el intercambiador de calor en busca de fugas de agua u otros signos de problemas visibles.
2. Verificar el funcionamiento normal del sistema de enfriamiento.

Frecuencia: Semanal

Procedimiento:

1. Apagar y desconectar la unidad
2. Limpiar las superficies exteriores del intercambiador de calor para eliminar polvo y suciedad.
3. Verificar que los controles de temperatura estén ajustados correctamente.

Frecuencia: Mensual

Procedimiento:

1. Apagar y desconectar la unidad
2. Inspeccionar más detalladamente el intercambiador de calor en busca de acumulación de sedimentos, corrosión o desgaste.
3. Verificar el flujo de agua y la presión en los sistemas de enfriamiento.

Frecuencia: Cada 3-6 meses

Procedimiento:

1. Verificar que las soldaduras no presenten daños físicos.

Procedimiento:

1. Apagar y desconectar la unidad
2. Realizar una inspección completa, incluyendo tuberías y accesorios.
3. Limpiar las aletas del intercambiador de calor con agua a presión
4. En caso de encontrar acumulación de depósitos minerales, usar limpiador específico siguiendo las instrucciones del fabricante
5. Enjuagar a fondo
6. Asegurar de que las aletas estén limpias y despejadas

4. Bomba de agua



Frecuencia: Diario

Procedimiento:

1. Inspeccionar visualmente la bomba para detectar fugas de agua u otros signos de problemas visibles.
2. Verificar el funcionamiento normal de la bomba y el flujo de agua.

Frecuencia: Semanal

Procedimiento:

1. Apagar y desconectar la unidad
2. Limpiar las superficies exteriores de la bomba para eliminar polvo y suciedad.
3. Verificar que el interruptor de encendido y apagado funcione correctamente.

Frecuencia: Mensual

Procedimiento:

1. Apagar y desconectar la unidad
2. Inspeccionar más detalladamente la bomba en busca de acumulación de sedimentos, corrosión o desgaste.
3. Verificar el flujo de agua y la presión en los sistemas de enfriamiento.

Frecuencia: Cada 3-6 meses

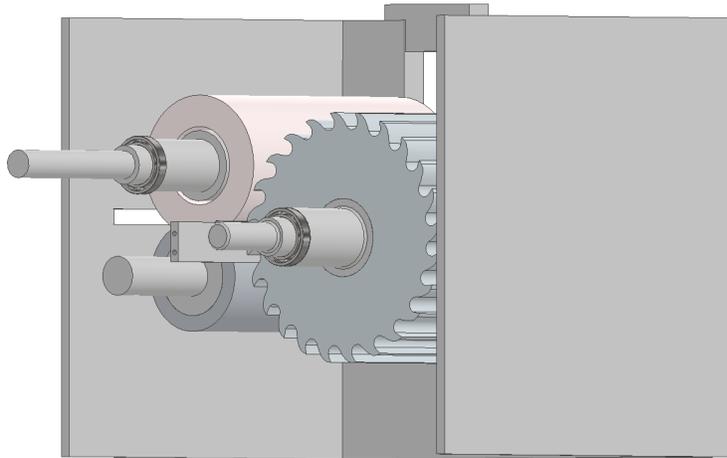
Procedimiento:

1. Verificar que las soldaduras no presenten daños físicos.

Procedimiento:

1. Apagar y desconectar la unidad
2. Realizar una inspección completa, incluyendo conexiones eléctricas y componentes internos.
3. Limpiar o reemplazar filtros de entrada de agua si es necesario.
4. Lubricar los rodamientos de la bomba según las indicaciones del fabricante.

5. Cámara de corte



Frecuencia: Diario

Procedimiento:

1. Inspeccionar visualmente la cámara de corte en busca de acumulación de residuos y desgaste visible.
2. Verificar el funcionamiento suave de los rodillos, ejes y tambor de corte.

Frecuencia: Semanal

Procedimiento:

1. Apagar y desconectar la unidad
2. Limpiar las superficies exteriores para eliminar polvo y suciedad.

3. Verificar que los rodillos de alimentación superior e inferior y tambor de corte giren sin obstrucciones.

Frecuencia: Mensual

Procedimiento:

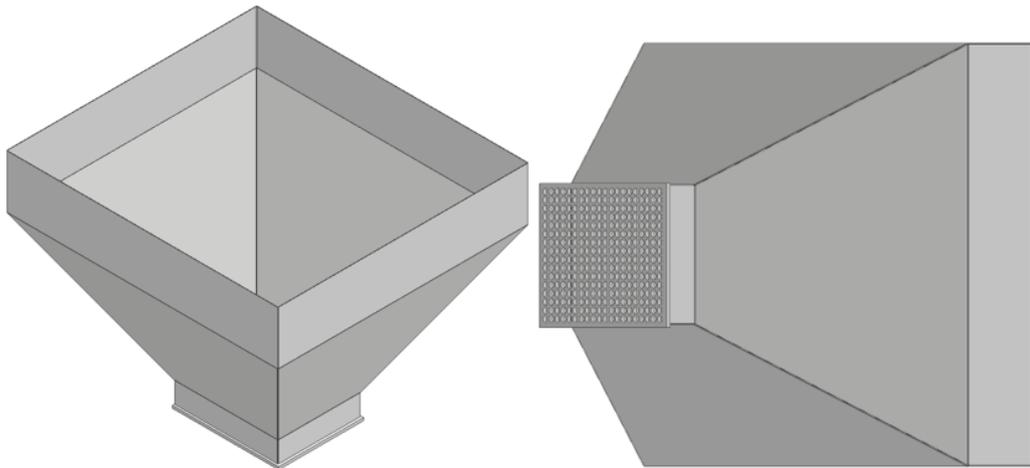
1. Apagar y desconectar la unidad
2. Ajustar la tensión de los rodamientos y bandas.
3. Limpiar el *bed knife*, inspeccionar los bordes de corte en busca de desgaste o daños, cambiar según indicaciones del fabricante.

Frecuencia: Cada 3-6 meses

Procedimiento:

1. Realizar una inspección completa en busca de acumulación de material.
2. Lubricar los ejes y chumaceras de la cámara de corte con aceite adecuado.

6. Criba de captación



Frecuencia: Al finalizar jornada operativa.

Procedimiento:

1. Inspeccionar visualmente la criba en busca de acumulación de residuos y obstrucciones.
2. Retirar la criba.

3. Limpiar con cepillos suaves y limpiadores no corrosivos.
4. Enjuagar y asegurar de que esté libre de obstrucciones antes de volver a instalarla.
5. Verificar que esté alineada con la tolva.

7. Motor



Frecuencia: Diario.

Procedimiento:

1. Inspeccionar visualmente el motor en busca de signos de sobrecalentamiento, vibraciones anormales o ruidos extraños.
2. Escuchar cualquier ruido anormal durante el funcionamiento.

Frecuencia: Semanalmente.

Procedimiento:

1. Verificar la temperatura del motor durante el funcionamiento para detectar sobrecalentamiento.
2. Apagar y desconectar la unidad.
3. Limpiar el exterior del motor para evitar la acumulación de polvo y suciedad.
4. Verificar que los sistemas de enfriamiento del motor estén funcionando correctamente.
5. Verificar que los cables de alimentación estén en buen estado y conectados correctamente.

Frecuencia: Mensualmente.

Procedimiento:

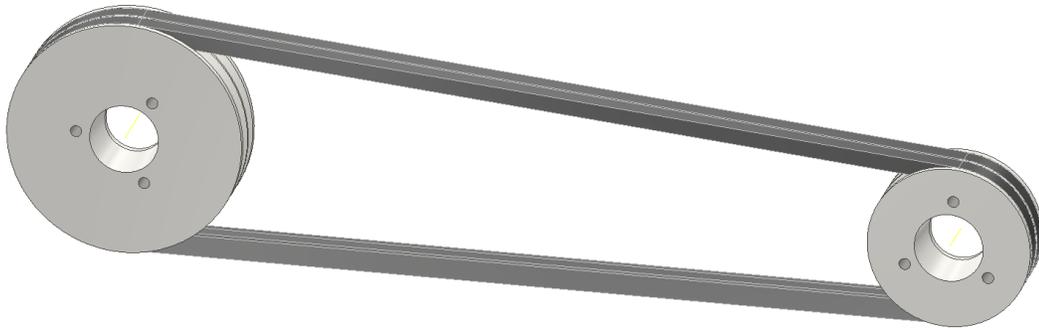
1. Verificar la alineación del motor y el acoplamiento con otros componentes de la máquina.
2. Medir la corriente y tensión para detectar posibles desviaciones.

Frecuencia: Anualmente.

Procedimiento:

1. Apagar y desconectar la unidad.
2. Inspeccionar la estructura en busca de corrosión, grietas o daños.
3. Limpiar y lubricar las partes móviles del motor de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

8. Bandas de transmisión



Frecuencia: Diario.

Procedimiento:

1. Inspeccionar visualmente las bandas de transmisión en busca de daños, desgaste excesivo o desalineación.
2. Verificar la tensión de las bandas y ajustar según las especificaciones del fabricante.

Frecuencia: Semanalmente.

Procedimiento:

1. Realizar una inspección más detallada de las bandas, buscando grietas, desgaste irregular o signos de deterioro.
2. Verificar que las bandas estén alineadas correctamente.

Frecuencia: Cada 6 meses.

Procedimiento:

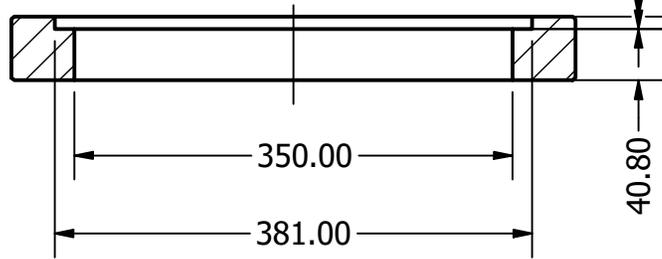
1. Medir y ajustar la tensión de las bandas y ajustar según las recomendaciones del fabricante.
2. Reemplazar las bandas desgastadas o dañadas con repuestos adecuados. Si una banda está dañada, es necesario reemplazar las dos.
3. Limpiar y lubricar las partes móviles del motor de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
4. Inspeccionar las poleas y roldanas en busca de acumulación de suciedad o desgaste.

Realizar un mantenimiento adecuado según las frecuencias recomendadas y utilizando los insumos apropiados garantizará el rendimiento óptimo y la vida útil prolongada de la peletizadora. Siempre seguir las instrucciones del fabricante.

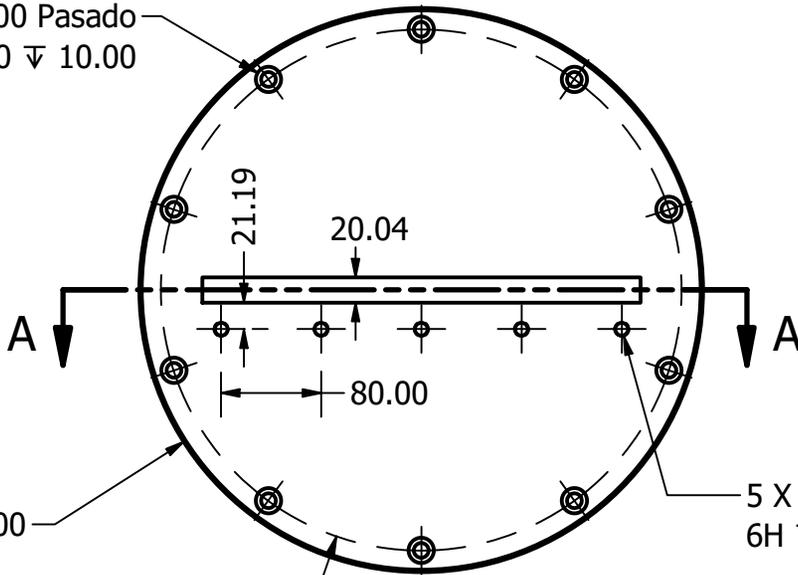
C. Planos de construcción

En esta sección se presenta el juego de planos mecánicos de los componentes calculados y diseñados.

SECTION A-A
SCALE 1 / 6

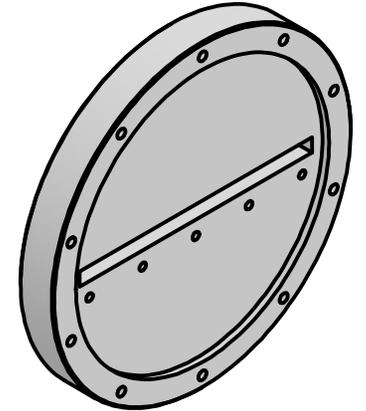
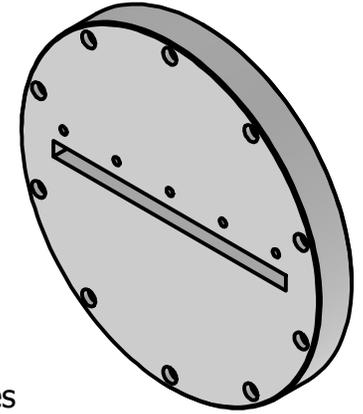
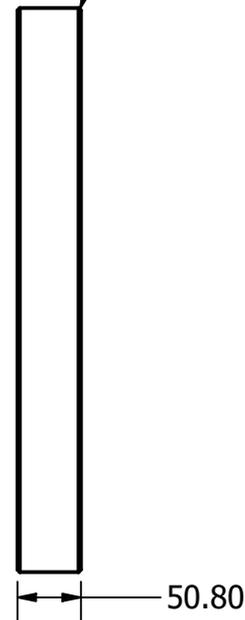


10 X Ø12.00 Pasado
□ Ø20.00 ▽ 10.00



5 X M12x1.75 - 6H ▽ 24.00

2.00 X 45.0°
Todos los biseles



TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES
LINEAL .X ± 0.1
.XX ± 0.12
.XXX ± 0.121
ANGULAR ±

DIBUJADO POR Yessika Quintanilla FECHA Mayo 2023

DISEÑADO POR Yessika Quintanilla FECHA Mayo 2023

REVISADO POR César Rosales FECHA Oct 2023

APROBADO POR César Rosales FECHA Oct 2023

NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO
Base dado peletizador

TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
Guatemala, Guatemala 01015
PBX: (502) 2634-0336 / 40

TÍTULO:
Máquina Peletizadora de PET

NÚMERO DE DIBUJO: 1

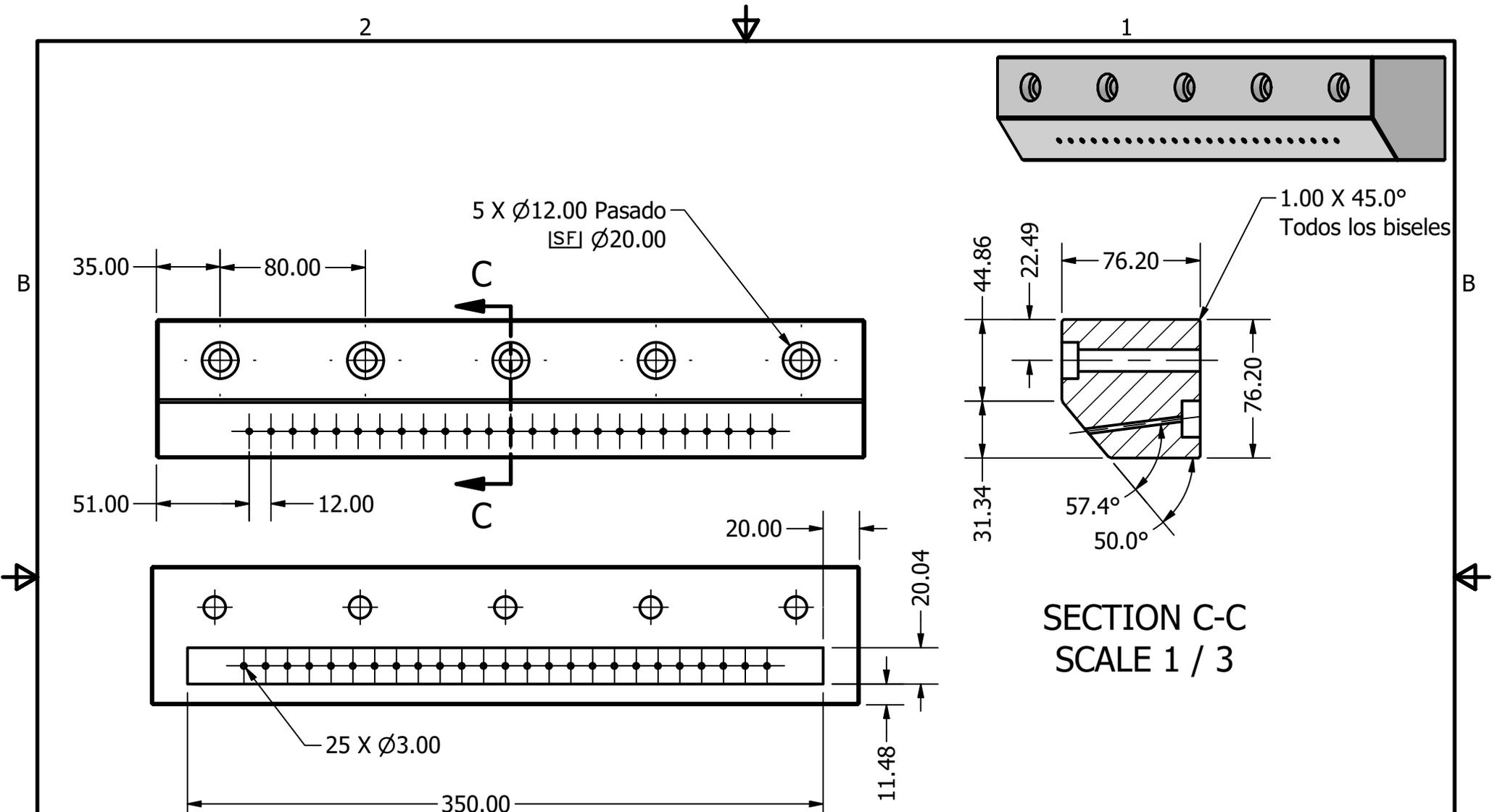
FORMATO A ESCALA: 1/6 UNIDADES: mm
PÁGINA 1 DE 7 REV

MATERIAL Acero AISI 304
TRATAMIENTO Laminado en frío
MASA: N/A



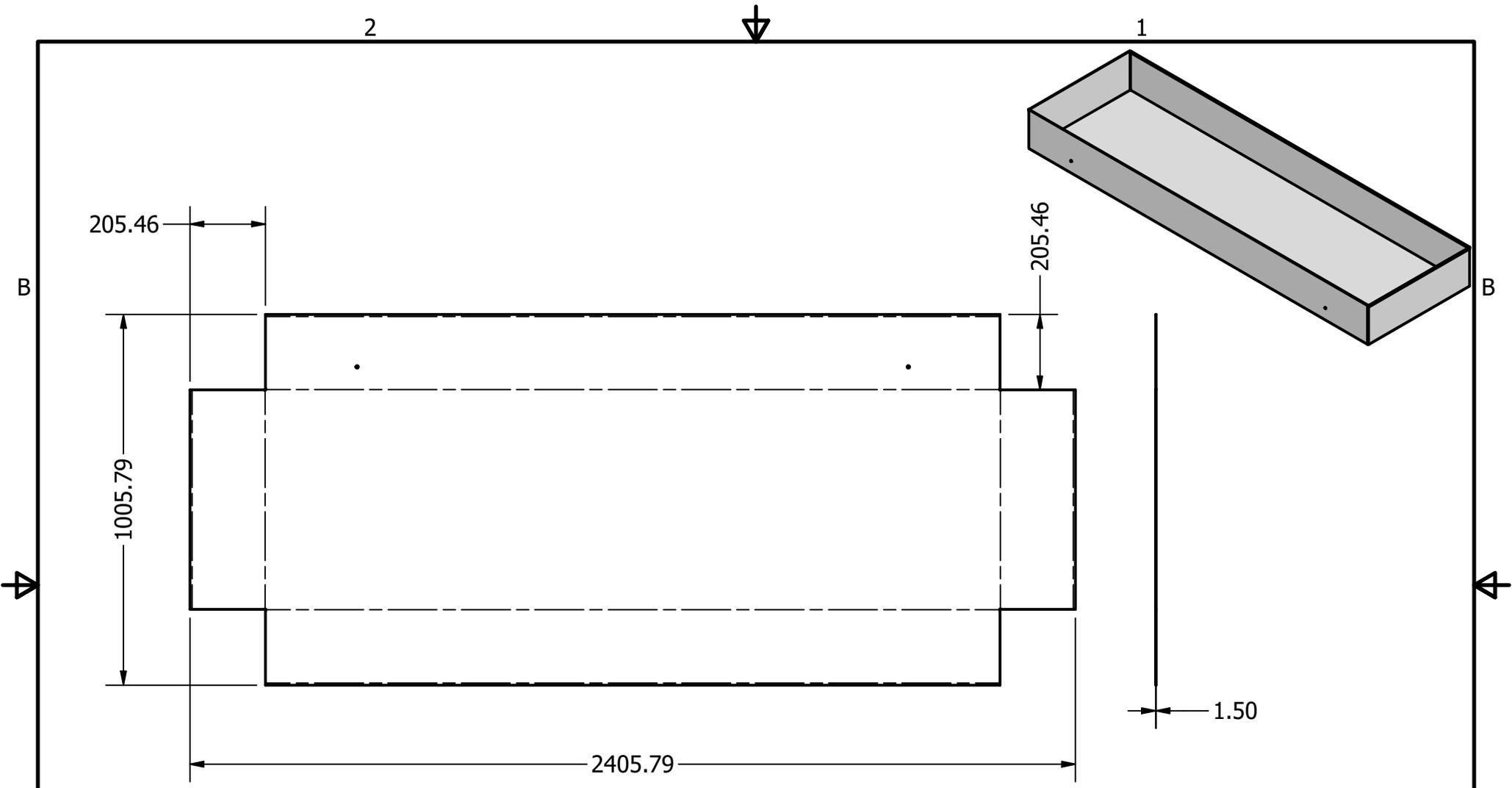
2

1



SECTION C-C
SCALE 1 / 3

<p>TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.</p> <p>TOLERANCIAS GENERALES</p> <p>LINEAL .X ± 0.1 .XX ± 0.12 .XXX ± 0.121</p> <p>ANGULAR ±</p>	<p>DIBUJADO POR Yessika Quintanilla</p> <p>FECHA Mayo 2023</p>	<p>UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA</p> <p>18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40</p>	
	<p>DISEÑADO POR Yessika Quintanilla</p> <p>FECHA Mayo 2023</p>		
	<p>REVISADO POR César Rosales</p> <p>FECHA Oct 2023</p>		
	<p>APROBADO POR César Rosales</p> <p>FECHA Oct 2023</p>		
<p>MATERIAL Acero AISI 304</p> <p>TRATAMIENTO Laminado en frío</p> <p>MASA: N/A</p>	<p>NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO Boquilla dado peletizador</p>	<p>TÍTULO: Máquina Peletizadora de PET</p>	
<p>TERCER ÁNGULO DE PROYECCIÓN</p>	<p>TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.</p>	<p>NÚMERO DE DIBUJO: 1</p>	
	<p>FORMATO A</p>	<p>ESCALA: 1/3</p> <p>PÁGINA 2 DE 7</p>	<p>UNIDADES: mm</p> <p>REV</p>



TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS
SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO.
INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES
LINEAL .X ± 0.1
.XX ± 0.12
.XXX ± 0.121
ANGULAR ±

MATERIAL
AISI 304
TRATAMIENTO
Recubrimiento pvc
MASA: N/A



DIBUJADO POR Yessika Quintanilla FECHA Mayo 2023

DISEÑADO POR Yessika Quintanilla FECHA Mayo 2023

REVISADO POR César Rosales FECHA Oct 2023

APROBADO POR César Rosales FECHA Oct 2023

NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO
Baño de agua

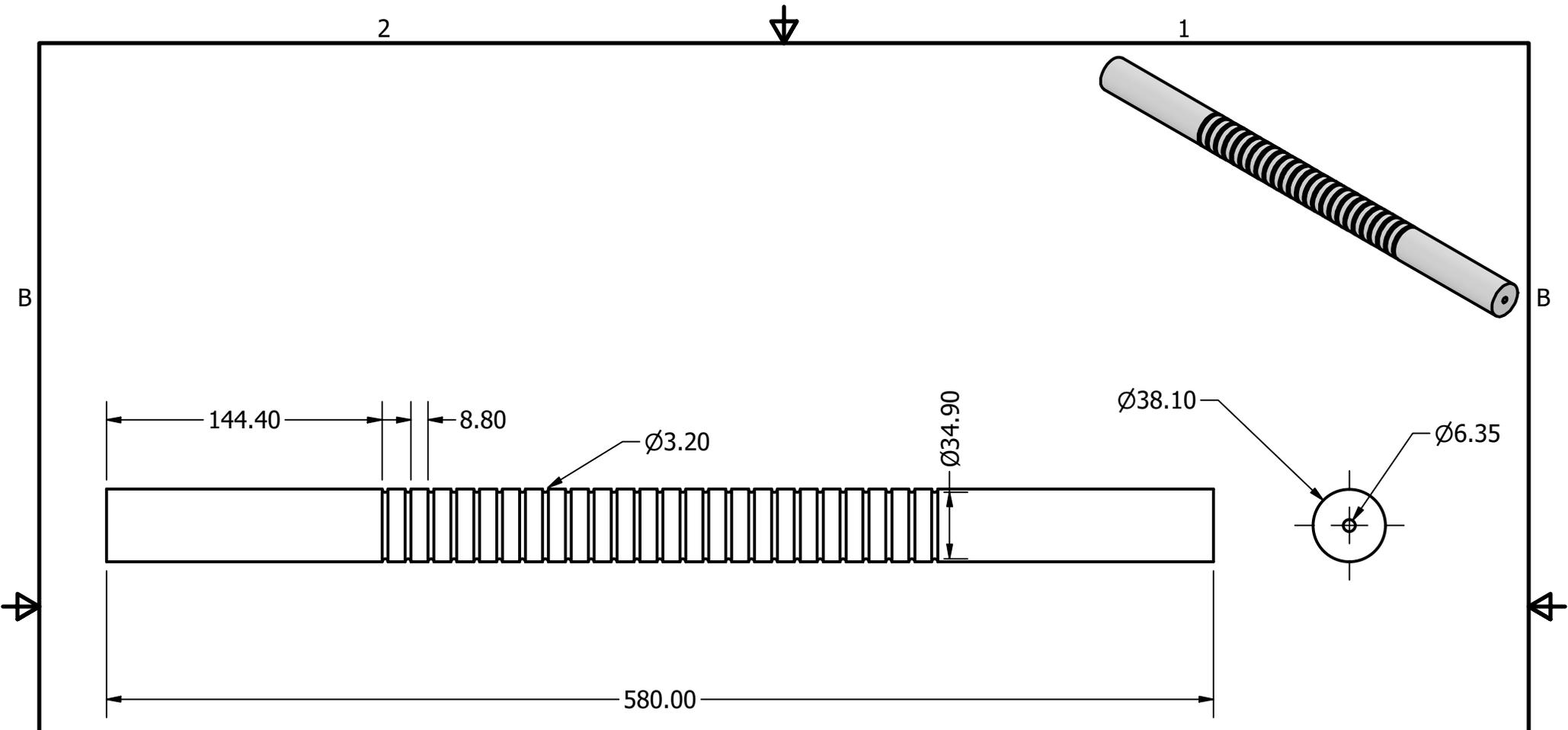
TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
Guatemala, Guatemala 01015
PBX: (502) 2634-0336 / 40

TÍTULO:
Máquina Peletizadora de PET

NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO A ESCALA: 1/15 UNIDADES: mm
PÁGINA 3 DE 7 REV



TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS
SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO.
INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES	
LINEAL	.X ± 0.1
	.XX ± 0.12
	.XXX ± 0.121
ANGULAR	±

MATERIAL	Teflón PTFE
TRATAMIENTO	N/A
MASA:	N/A



DIBUJADO POR	Yessika Quintanilla	FECHA	Mayo 2023
--------------	---------------------	-------	-----------

DISEÑADO POR	Yessika Quintanilla	FECHA	Mayo 2023
--------------	---------------------	-------	-----------

REVISADO POR	César Rosales	FECHA	Oct 2023
--------------	---------------	-------	----------

APROBADO POR	César Rosales	FECHA	Oct 2023
--------------	---------------	-------	----------

NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO	Guía de hilos
-----------------------------	---------------

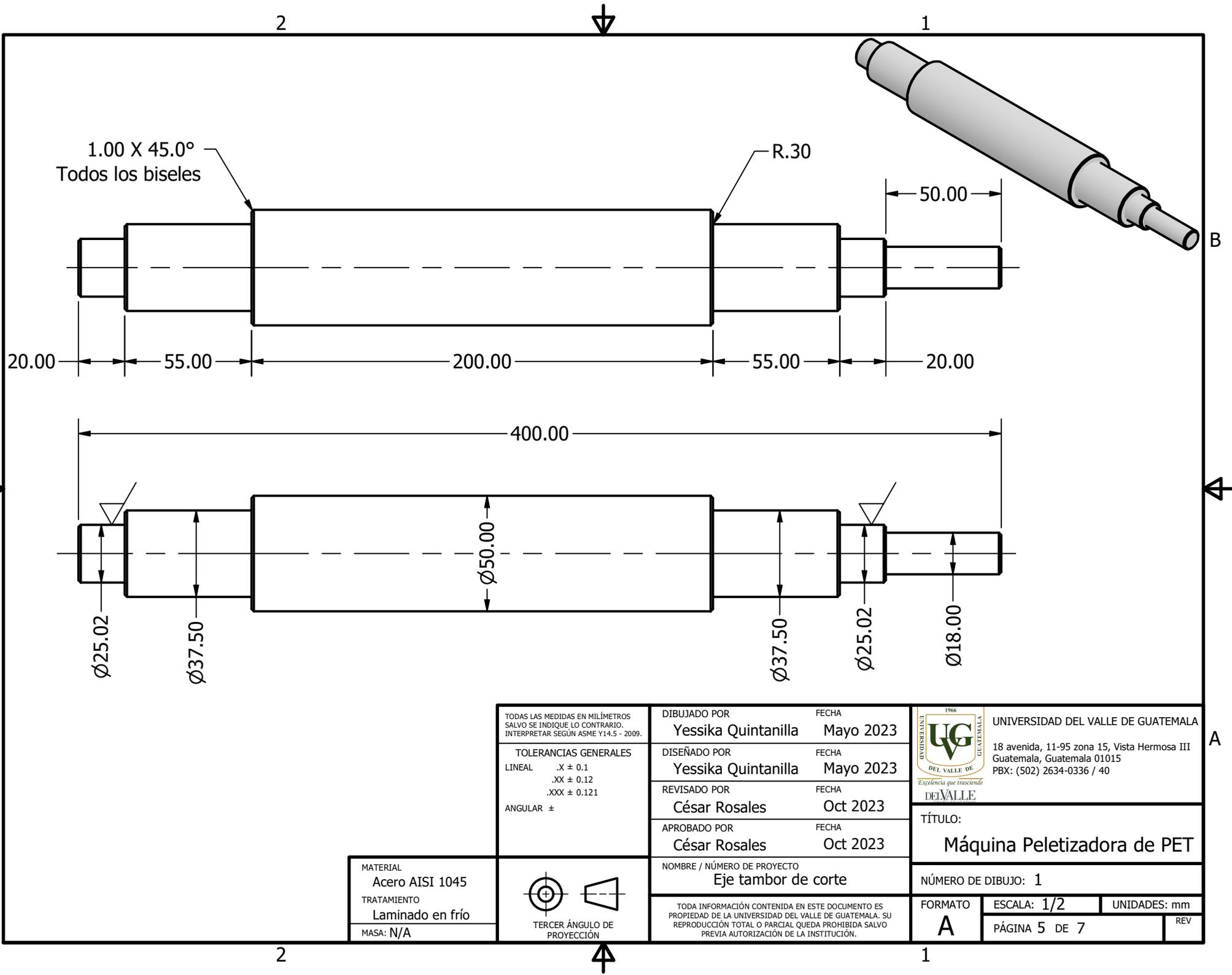
TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
Guatemala, Guatemala 01015
PBX: (502) 2634-0336 / 40

TÍTULO:
Máquina Peletizadora de PET

NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO A	ESCALA: 1/3	UNIDADES: mm
	PÁGINA 4 DE 7	REV



1.00 X 45.0°
Todos los biseles

R.30

20.00 55.00 200.00 55.00 20.00

400.00

Ø25.02

Ø37.50

Ø50.00

Ø37.50

Ø25.02

Ø18.00

TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS
SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO.
INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES
LINEAL .X ± 0.1
.XX ± 0.12
.XXX ± 0.121
ANGULAR ±

DIBUJADO POR Yessika Quintanilla FECHA Mayo 2023

DISEÑADO POR Yessika Quintanilla FECHA Mayo 2023

REVISADO POR César Rosales FECHA Oct 2023

APROBADO POR César Rosales FECHA Oct 2023

NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO
Eje tambor de corte

TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

1966
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
Guatemala, Guatemala 01015
PBX: (502) 2634-0336 / 40
Escuela que trasciende
DEL VALLE

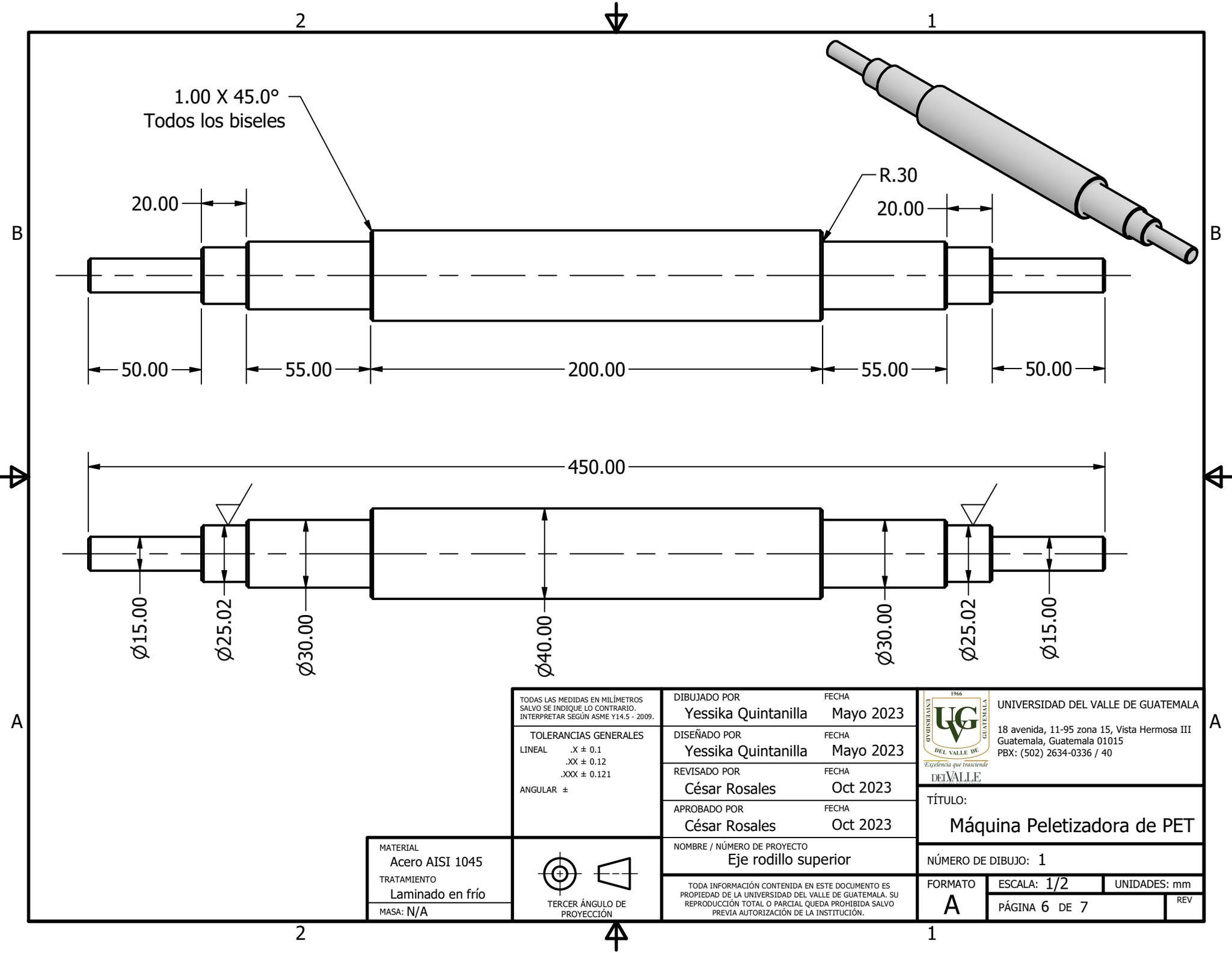
TÍTULO:
Máquina Peletizadora de PET

NÚMERO DE DIBUJO: 1

MATERIAL Acero AISI 1045
TRATAMIENTO Laminado en frío
MASA: N/A



FORMATO A ESCALA: 1/2 UNIDADES: mm
PÁGINA 5 DE 7 REV



TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS
SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO.
INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES
LINEAL .X ± 0.1
.XX ± 0.12
.XXX ± 0.121
ANGULAR ±

MATERIAL
Acero AISI 1045
TRATAMIENTO
Laminado en frío
MASA: N/A



DIBUJADO POR YESSIKA QUINTANILLA
FECHA MAYO 2023

DISEÑADO POR YESSIKA QUINTANILLA
FECHA MAYO 2023

REVISADO POR CÉSAR ROSALES
FECHA OCT 2023

APROBADO POR CÉSAR ROSALES
FECHA OCT 2023

NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO
Eje rodillo superior

TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
Guatemala, Guatemala 01015
PBX: (502) 2634-0336 / 40

TÍTULO:
Máquina Peletizadora de PET

NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO A ESCALA: 1/2 UNIDADES: mm
PÁGINA 6 DE 7 REV

1.00 X 45.0°
Todos los biseles

R.30

20.00 55.00 200.00 55.00 20.00

350.00

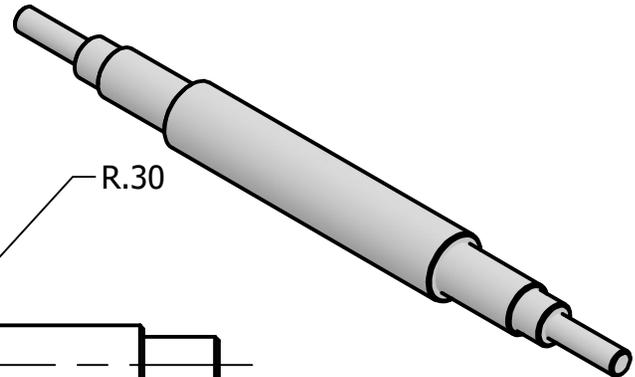
Ø15.02

Ø21.00

Ø30.00

21.00

15.02



TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS
SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO.
INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES
LINEAL .X ± 0.1
.XX ± 0.12
.XXX ± 0.121
ANGULAR ±

DIBUJADO POR YESSIKA QUINTANILLA
FECHA MAYO 2023

DISEÑADO POR YESSIKA QUINTANILLA
FECHA MAYO 2023

REVISADO POR CÉSAR ROSALES
FECHA OCT 2023

APROBADO POR CÉSAR ROSALES
FECHA OCT 2023

NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO
EJE RODILLO INFERIOR

TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES
PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU
REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO
PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
Guatemala, Guatemala 01015
PBX: (502) 2634-0336 / 40

TÍTULO:
Máquina Peletizadora de PET

NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO A ESCALA: 1/2 UNIDADES: mm
PÁGINA 7 DE 7 REV

MATERIAL Acero AISI 1045
TRATAMIENTO Laminado en frío
MASA: N/A



TERCER ÁNGULO DE PROYECCIÓN

2

1