

Tratamiento de plásticos para su reciclaje

Facundo Martin Ruiz

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Rosario, Argentina
Año

Tratamiento de plásticos para su reciclaje

Facundo Martin Ruiz

Proyecto Final de Ingeniería Mecánica presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero/a Mecánico/a

Director/a:

Título y nombre del director/a

Ing. Pedro Sismondi – Ing. Guillermo Rodríguez – Ing. Juan Sismond

Universidad Nacional de Rosario

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura

Escuela de Ingeniería Mecánica

Rosario, Argentina

Año 2026

La dedicación más grande es para mi núcleo familiar, mis hermanos y hermana que son la inspiración para haber desarrollado la constancia necesaria para una carrera universitaria.

A mi madre ,Graciela Capozza , que fue la impulsora de un sueño y el motor que lo transformó en realidad, no hay manera de devolverle todo lo que ha hecho por mi en esta vida , pero si puedo hacerla sentir orgullosa y es la motivación suficiente.

Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia y a mis amigos, cuyo apoyo incondicional fue el sostén fundamental a lo largo de todo este proceso. Asimismo, extiendo mi profunda gratitud a los supervisores de este proyecto, por su orientación oportuna y por encauzar los pasos a seguir en aquellos momentos de incertidumbre que marcaron el desarrollo del trabajo.

Un reconocimiento muy especial a la Universidad Nacional de Rosario, mi casa de estudios, por haberme brindado la formación académica que constituye la piedra fundamental de mi educación y el criterio profesional a partir del cual fue posible materializar este proyecto.

Resumen

La gestión y reciclado de residuos plásticos en la región de Rosario presentan diversas problemáticas que afectan la eficiencia del proceso y la calidad del producto obtenido. La contaminación de la materia prima, la presencia simultánea de distintos polímeros y la humedad residual del PET dificultan su procesamiento y pueden provocar degradación del material durante la extrusión. A ello se suman los elevados consumos energéticos asociados a las etapas de trituración, lavado y secado, así como la necesidad de tratar los efluentes y emisiones generados durante el proceso. Además, la generación de microplásticos y residuos no reciclables representa un desafío ambiental adicional.

Frente a esta situación, el presente proyecto propone el desarrollo de una línea integrada para el reciclado de plásticos, orientada a unificar las operaciones de procesamiento, garantizar la calidad del producto final y asegurar la mantenibilidad y continuidad operativa del sistema. La solución planteada busca obtener un proceso eficiente, técnicamente confiable y con criterios de sustentabilidad ambiental, favoreciendo el aprovechamiento de los residuos plásticos y la producción de materiales reciclados de mayor valor agregado.

Palabras clave: Reciclado de plásticos , PET reciclado , Línea de procesamiento , Mantenibilidad, Calidad

Abstract

The management and recycling of plastic waste in the Rosario region presents several challenges that affect process efficiency and the quality of the resulting product. Contamination of the raw material, the simultaneous presence of different polymers, and residual moisture in PET hinder processing and can cause material degradation during extrusion. Added to this are the high energy consumption associated with the shredding, washing, and drying stages, as well as the need to treat the effluents and emissions generated during the process. Furthermore, the generation of microplastics and non-recyclable waste represents an additional environmental challenge.

In response to this situation, this project proposes the development of an integrated plastic recycling line, designed to unify processing operations, guarantee the quality of the final product, and ensure the system's maintainability and operational continuity. The proposed solution aims to achieve an efficient, technically reliable process with environmentally sustainable criteria, promoting the utilization of plastic waste and the production of higher value-added recycled materials.

Keywords: Plastic recycling, Recycled PET, Processing line, Maintainability, Quality

Contenido

Agradecimientos....4
Resumen....5
Abstract....6
Contenido....7
Introducción....9
Capítulo 1: Análisis de la problemática....10
1.1 Calidad....12
1.2 Triturado....14
1.3 Condiciones de contorno del proyecto....16
1.4 Conclusiones....18
Capítulo 2: Análisis de sistemas de reciclado....19
2.1 Introducción....19
2.1 Tecnologías empleadas en líneas de reciclado mecánico....20
2.2 Selección de la configuración adoptada....21
2.3 Marco normativo considerado....23
Capítulo 3: Diseño....24
3.1 Pretrituradora....24
3.1.1 Función del equipo....24
3.1.2 Criterios y descripción constructiva....24
3.2 Trituradora....27
3.2.1 Función del equipo....27
3.2.2 Criterios y descripción constructiva....27
3.3 Pileta de acondicionamiento
3.3.1 Función del equipo....29
3.3.2 Criterios y descripción constructiva....30
3.4 Sistema de transporte....31
3.4.1 Función del equipo....31
3.4.2 Criterios y descripción constructiva....31
3.5 Lavado por fricción....32
3.5.1 Función del equipo....32
3.5.2 Criterios y descripción constructiva....33
3.6 Secado....34
3.6.1 Función del equipo....34
3.6.2 Criterios y descripción constructiva....35
3.7 Memorias de cálculo....36
3.7.1 Memoria de cálculo de la pretrituradora....36

3.7.2 Memoria de cálculo de la pretrituradora....39
3.7.3 Memoria de cálculo para pileta de acondicionamiento....42
3.7.4. Memoria de cálculo del transportador de tornillo sinfín....43
3.7.5 Memoria de cálculo del lavado por fricción....46
3.7.6 Memoria de cálculo de etapa de secado....48
Capítulo 4: Mantenimiento....52
4.1 Mantenibilidad pretrituradora....52
4.2 Mantenibilidad trituradora....54
4.3 Mantenibilidad de la pileta de enjuague....56
4.4 Mantenibilidad del sistema de transporte....59
4.5 Mantenibilidad del lavado por fricción....60
4.6 Mantenibilidad del secado....61
4.7 Plan de mantenimiento preventivo consolidado....63
Capítulo 5 : Impacto medioambiental....66
5.1 Cuantificación del procesamiento y contribución a la economía circular....66
5.2 Incidencia sobre la generación y contaminación de plásticos en la ciudad de Rosario....67
5.3 Mitigación de la huella de carbono y prevención de microplásticos....68
5.3.1 Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)....68
5.3.2 Comparación de magnitud y equivalencia operativa....68
Conclusiones y recomendaciones....69
Conclusiones....69
Recomendaciones....70
Bibliografía....72

Introducción

El incremento sostenido en la generación de residuos plásticos y las dificultades asociadas a su disposición final constituyen uno de los principales desafíos ambientales y productivos de la actualidad. La creciente utilización de materiales poliméricos en envases y productos de consumo ha provocado un aumento significativo de los residuos postconsumo, generando la necesidad de desarrollar tecnologías que permitan su recuperación y reincorporación a la cadena productiva. Entre los materiales de mayor relevancia se encuentra el tereftalato de polietileno (PET), ampliamente utilizado en la fabricación de envases debido a sus propiedades mecánicas y químicas, y que presenta además una elevada aptitud para ser reciclado mediante procesos mecánicos.

En la región de Rosario, las actividades relacionadas con la recuperación y reciclado de plásticos presentan diversas dificultades que afectan tanto la eficiencia de los procesos como la calidad del material recuperado. La presencia de contaminantes, restos orgánicos, etiquetas y adhesivos, sumada a la coexistencia de distintos polímeros, condiciona las propiedades finales del producto obtenido y exige la incorporación de etapas de separación y limpieza cada vez más eficientes. Asimismo, los procesos de reducción de tamaño, lavado y secado implican consumos energéticos importantes y generan efluentes y residuos cuya gestión debe realizarse adecuadamente para minimizar el impacto ambiental asociado.

El reciclado mecánico constituye una de las principales alternativas para la valorización de residuos plásticos y ha experimentado un importante desarrollo tecnológico durante las últimas décadas. Las líneas de procesamiento modernas incorporan equipos destinados a la reducción de tamaño, separación por densidad, lavado y secado, permitiendo obtener materiales con características adecuadas para su posterior utilización. Sin embargo, muchas configuraciones presentan dificultades relacionadas con la integración de las distintas etapas, la mantenibilidad de los equipos y la continuidad operativa, aspectos que repercuten directamente sobre la productividad y la calidad del proceso.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar soluciones que permitan integrar las diferentes operaciones involucradas en el reciclado mecánico, buscando simplificar la disposición de los equipos y favorecer tanto la operación como las tareas de mantenimiento. La implementación de sistemas continuos y escalables representa una alternativa adecuada para aumentar la eficiencia del proceso y mejorar las condiciones de aprovechamiento del material recuperado.

El presente trabajo tiene como finalidad desarrollar el diseño conceptual de una línea continua destinada al procesamiento de residuos plásticos postconsumo, orientada principalmente al tratamiento de materiales con predominio de PET. La propuesta contempla las etapas de pre triturado, granulación, separación densimétrica, lavado y secado mecánico, con el objetivo de obtener un material limpio y seco apto para etapas posteriores de transformación. Durante el desarrollo se priorizan criterios de simplicidad constructiva, continuidad de producción, mantenibilidad y posibilidad de adaptación a diferentes capacidades de procesamiento.

El alcance del trabajo comprende el estudio y diseño preliminar de las etapas involucradas en la reducción de tamaño, separación, lavado y secado del material, concluyendo con la obtención de plástico limpio y seco. No forman parte del presente proyecto las operaciones posteriores de transformación ni el diseño detallado de las instalaciones auxiliares asociadas al tratamiento de efluentes, control ambiental o evaluación económica integral de una planta industrial.

La solución propuesta pretende aportar una alternativa técnicamente viable para el aprovechamiento de residuos plásticos en la región, contribuyendo a la disminución del impacto ambiental asociado a su disposición final y favoreciendo la implementación de sistemas de reciclado más eficientes y sustentables. Asimismo, el desarrollo de una línea continua basada en criterios de integración y mantenibilidad busca constituir una base para futuras aplicaciones industriales y para la incorporación de tecnologías que permitan incrementar el valor agregado de los materiales recuperados.

Capítulo 1: Análisis de la problemática

En la actualidad, el reciclado de materiales plásticos constituye una actividad estratégica dentro del modelo de economía circular, debido al incremento sostenido en la generación de residuos y a la necesidad de reducir el consumo de materias primas vírgenes. Sin embargo, el grado de desarrollo alcanzado por esta industria presenta diferencias significativas entre las distintas regiones del mundo. De acuerdo con datos publicados por *Plastics Europe* [1], mientras Europa recicló aproximadamente el 19,1 % de los residuos plásticos generados durante 2024, América del Sur y América Central alcanzaron valores cercanos al 6,8 %, evidenciando un importante margen de mejora tanto en la incorporación de tecnologías como en la eficiencia de los procesos industriales.

Uno de los principales desafíos del reciclado moderno consiste en garantizar una calidad adecuada del material recuperado. A diferencia de otros procesos industriales, la materia prima utilizada proviene de residuos post consumo, cuya composición, estado de conservación y nivel de contaminación presentan una elevada variabilidad. La mezcla de distintos polímeros, la presencia de etiquetas, adhesivos, restos orgánicos y otros contaminantes dificultan la obtención de un material homogéneo, haciendo indispensable la incorporación de etapas de separación, trituración, lavado y acondicionamiento capaces de preservar las propiedades del plástico reciclado.

En Argentina, esta problemática adquiere características particulares debido a la participación de circuitos informales de recuperación de residuos. Si bien la actividad de los recuperadores urbanos representa un aporte ambiental y social de gran importancia, las condiciones en las que habitualmente se desarrollan la recolección, clasificación y almacenamiento favorecen la exposición prolongada de los materiales a la intemperie, incrementando su contaminación y exigiendo procesos de limpieza más eficientes antes de su reutilización.

A esta situación se suma la limitada disponibilidad de líneas de reciclado integradas en el mercado nacional. En la práctica, gran parte de las plantas se construyen mediante la incorporación de equipos independientes de distintos fabricantes, seleccionados

principalmente por disponibilidad y costo. Esta modalidad suele generar incompatibilidades entre etapas consecutivas, disminuyendo el rendimiento global del proceso e incrementando las exigencias mecánicas sobre determinados equipos.

Desde el punto de vista de la ingeniería mecánica, estas condiciones ponen de manifiesto la necesidad de desarrollar sistemas concebidos de manera integral, donde el diseño de cada equipo no responda únicamente a criterios funcionales, sino también a aspectos relacionados con la confiabilidad estructural, la selección adecuada de materiales, la facilidad de mantenimiento y la continuidad operativa del proceso. En este contexto, la mantenibilidad adquiere un papel fundamental, ya que los equipos trabajan en ambientes con elevada presencia de humedad, partículas abrasivas y contaminantes que aceleran el desgaste de los componentes mecánicos.

En respuesta a esta problemática, el presente trabajo propone el diseño de una línea integrada para el reciclado de materiales plásticos, concebida bajo criterios de calidad del producto, integración de procesos y mantenibilidad, adaptada a las condiciones operativas y tecnológicas de la industria del reciclado en Argentina.

1.1 Calidad

Según lo expuesto en el artículo *"Effect of Recycled Content and rPET Quality on the Properties of PET Bottles, Part III: Modelling of Repetitive Recycling"* [2], los materiales plásticos se encuentran sometidos a una contaminación inherente durante el proceso de reciclado, siendo las etapas de recolección y clasificación las más críticas. Estas etapas son indispensables para el proceso y no pueden ser eliminadas, por lo que resulta necesario actuar sobre las condiciones impuestas por el propio sistema con el objetivo de minimizar sus efectos sobre la calidad del material recuperado.

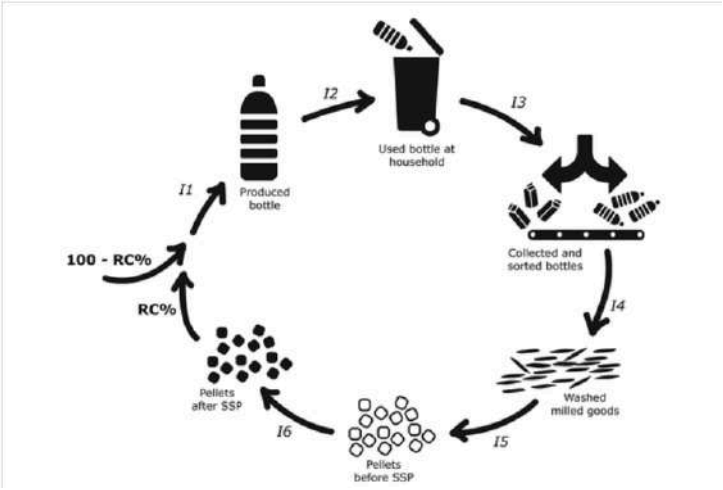


FIGURA 1.1 Etapas del reciclado

Los autores indican que, para los sistemas de recolección conjunta (*co-collection*), los mayores incrementos en la contaminación particulada del PET se producen durante las etapas de recolección y clasificación (I3) que se ilustra en la figura Figura 1.1 . En particular, señalan que:

> “For co-collection systems, the largest gains in particle contamination of PET material occur in the collection and sorting process steps (I3). PET bottles in co-collection systems can absorb between 12,000 and 60,000 PPTI during that single stage in the recycling process.”

Asimismo, el artículo menciona que durante las etapas de trituración, lavado y peletizado puede producirse un incremento adicional de la contaminación debido a errores de clasificación y a una limpieza insuficiente. En este sentido, los autores indican que:

> “The most likely sources of particle contaminants during process steps I4 to I6 are sorting errors (other objects than PET bottles), packaging components (labels, caps, closures, etc.), and adhering dirt.

En vista de estos inconvenientes, se desprende la necesidad de prestar especial atención a las etapas de lavado y acondicionamiento del material, con el propósito de obtener un producto final con el mayor nivel de calidad posible y preservar sus propiedades físicas y ópticas.

Del análisis bibliográfico realizado se concluye que la calidad del material reciclado depende en gran medida del nivel de contaminación adquirido durante las etapas de recolección, clasificación y acondicionamiento. Si bien las operaciones de lavado desempeñan un papel fundamental en la remoción de impurezas, su eficacia está directamente condicionada por las características del material ingresado al proceso. En este sentido, la etapa de trituración adquiere una importancia estratégica, ya que la granulometría obtenida determina el grado de liberación de contaminantes y la eficiencia de las operaciones posteriores de separación y lavado. Por este motivo, resulta necesario analizar la influencia del proceso de trituración sobre la calidad del material reciclado, aspecto que se desarrolla en el apartado siguiente.

1.2 Triturado

La Association of Plastic Recyclers (APR), en el documento PET-P-03 [3], recomienda obtener escamas con dimensiones comprendidas entre 9,5 y 12 mm. Esta recomendación no responde únicamente a la necesidad de reducir el tamaño del material, sino a la búsqueda de una granulometría que permita optimizar las etapas posteriores del proceso y preservar la calidad del producto reciclado.

Una granulometría homogénea favorece la liberación de etiquetas, adhesivos y otros componentes asociados al envase durante la trituración, permitiendo que las operaciones de separación y lavado actúen con mayor eficiencia. Asimismo, partículas de dimensiones similares presentan comportamientos hidrodinámicos comparables, mejorando la eficiencia de la separación densimétrica y evitando que materiales con distintas densidades se comporten de forma diferente debido a efectos geométricos.

Por otra parte, tamaños excesivamente grandes dificultan la remoción de contaminantes y reducen la superficie específica disponible para la acción del lavado. En sentido contrario, una reducción excesiva del tamaño genera partículas finas que pueden

retener suciedad, ser arrastradas por el agua del proceso o contribuir a la formación de microplásticos, afectando la calidad del producto y aumentando las pérdidas de material.

En consecuencia, la obtención de escamas comprendidas entre 9,5 y 12 mm representa un compromiso entre la liberación de contaminantes, la eficiencia de lavado y la minimización de la generación de finos, constituyendo una variable crítica para la calidad del material recuperado.

El documento PET-P-03 [3] también recomienda evacuar el material triturado por gravedad, evitando el empleo de sistemas de transporte neumático inmediatamente después de la granulación.

Desde el punto de vista de la calidad, esta recomendación se fundamenta en que las escamas recién obtenidas poseen superficies limpias y una elevada relación superficie-volumen, características que las hacen susceptibles a la generación de cargas electrostáticas y a la captación de partículas finas presentes en el ambiente. El transporte neumático incrementa la velocidad relativa entre partículas y superficies, favoreciendo la abrasión y la producción de finos. Además, el rozamiento continuo puede provocar la acumulación de electricidad estática, facilitando la adherencia de polvo y otros contaminantes sobre las escamas.

La presencia de partículas finas afecta negativamente las operaciones posteriores de lavado y separación, ya que pueden permanecer suspendidas en el agua, aumentar la carga contaminante del sistema y reducir la transparencia del producto final. Del mismo modo, la generación de polvo plástico incrementa las pérdidas de material y favorece la formación de microplásticos.

Por estas razones, la descarga por gravedad permite preservar la integridad física de las escamas obtenidas, minimizar la generación de partículas finas y reducir la probabilidad de contaminación secundaria del material antes de su ingreso a las etapas de lavado.

Del análisis realizado se concluye que la etapa de trituración constituye uno de los factores más influyentes sobre la calidad del material reciclado, ya que la granulometría

obtenida condiciona directamente la eficiencia de las operaciones posteriores de separación y lavado. Asimismo, la forma en que el material es transportado inmediatamente después de la trituración resulta determinante para evitar la generación de partículas finas y la contaminación secundaria de las escamas. En consecuencia, las recomendaciones establecidas por la Association of Plastic Recyclers (APR) fueron adoptadas como criterios de diseño para el presente proyecto. A partir de estos lineamientos, resulta necesario definir las condiciones de contorno que servirán de base para el dimensionamiento de la línea de reciclado y de cada uno de los equipos que la integran.

1.3 Condiciones de contorno del proyecto

Para el diseño de una línea de reciclado resulta necesario establecer previamente las condiciones de contorno bajo las cuales operará el sistema. Estas condiciones representan las hipótesis de diseño adoptadas para el presente proyecto y constituyen la base para el dimensionamiento de cada uno de los equipos que integran la línea de procesamiento. Entre las principales condiciones de contorno se encuentran la capacidad de producción, la materia prima procesada, la granulometría objetivo y el régimen de funcionamiento.

Con el propósito de definir una capacidad nominal de procesamiento representativa, se adopta como referencia una posible aplicación del material reciclado consistente en la fabricación de madera plástica tipo parquet. Si bien el producto final del presente proyecto corresponde a escamas plásticas secas (flakes), la utilización de este producto permite relacionar la producción del proceso con una aplicación industrial de valor agregado y establecer una capacidad de diseño para el dimensionamiento de la línea.

Se considera una pieza de parquet con dimensiones promedio de 1 m de longitud, 0,10 m de ancho y 8 mm de espesor. Estas dimensiones corresponden a productos comúnmente utilizados en revestimientos de pisos y permiten establecer una unidad de referencia para la producción.

A partir de estas dimensiones, cada pieza presenta un volumen aproximado de (Ecuación 1.3.1):

$$V_p = L \cdot A \cdot E \quad (1.3.1)$$

$$V_p = 1 \cdot 0,10 \cdot 0,008 = 0,0008\, m^3$$

Asimismo, la superficie ocupada por cada unidad durante su almacenamiento resulta(Ecuación 1.3.2):

$$A_p = L \cdot A = 0,1\, m^2 \quad (1.3.2)$$

Como condición de diseño, se supone la disponibilidad de un espacio de almacenamiento con capacidad para contener una producción equivalente a 100 m² de piso por día. Bajo esta hipótesis, la cantidad de piezas producidas diariamente resulta (Ecuación 1.3.3):

$$N_p = \frac{100 m^2}{0,1\, m^2} = 1000\, piezas \quad (1.3.3)$$

Por consiguiente el volumen total diario puede expresarse como (Ecuación 1.3.4):

$$V_d = N \cdot V_p = 1000 \times 0,0008 = 0,8\, m^3/d'a \quad (1.3.3)$$

Tomando como referencia los siguientes valores (Tabla 1.3.1)

TABLA 1.3.1 Densidades de posibles materiales en la mezcla

Material	Densidad
PET (Polietileno tereftalato)	1330--1450 kg/m3
HDPE(Polietileno de alta densidad)	940-970 kg/m3
LDPE(Polietileno de baja densidad)	910-940 kg/m3
PP (Polipropileno)	900-920 kg/m3

Considerando que la corriente de alimentación estará constituida mayoritariamente por envases de PET con fracciones menores correspondientes a tapas y cierres de polietileno y polipropileno, se adopta una densidad media de diseño de 1100 kg/m³, la masa diaria asociada a dicha producción resulta (Ecuación 1.3.4):

$$M_d = \rho \cdot V_d = 1100\ kg/m^3 * 0,8\ m^3/d'a = 880\ kg/dia \quad (1.3.4)$$

Finalmente, suponiendo una jornada de trabajo de 8 horas diarias, la capacidad nominal requerida para la línea de reciclado sería de 110 kg/h .

En consecuencia, se adopta una capacidad nominal de procesamiento de **110 kg/h** como condición de contorno del presente proyecto. Este valor constituye el principal criterio de diseño para el dimensionamiento del pre triturador, triturador, equipos de separación Sink-Float, sistemas de transporte, lavadora por fricción y secadora centrífuga que conforman la línea integrada de reciclado desarrollada en este trabajo

Esto más que un criterio de producción , me ayudará a dimensionar mis máquinas para el proceso.

La línea de reciclado fue diseñada para procesar principalmente envases plásticos post consumo constituidos por botellas de agua mineral, bebidas gaseosas, aceites comestibles, jugos, bandejas termoformadas de PET y otros envases transparentes compatibles. Asimismo, se considera la presencia de tapas y cierres fabricados en polietileno de alta densidad (HDPE) y polipropileno (PP), materiales que acompañan habitualmente a los envases de PET y justifican la adopción de una densidad media representativa para el dimensionamiento del proceso.

1.4 Conclusiones

Del análisis realizado se concluye que la calidad del material reciclado constituye la variable central sobre la cual deben diseñarse los procesos de reciclado mecánico de plásticos. La revisión bibliográfica permitió identificar que la contaminación incorporada durante las etapas de recolección y clasificación, la granulometría obtenida durante la trituración y la eficiencia de las operaciones de separación y lavado son los principales factores que condicionan las propiedades finales del material recuperado.

Asimismo, se observó que la falta de integración entre las distintas etapas del proceso puede afectar tanto la calidad del producto obtenido como la continuidad operativa de la línea, incrementando las exigencias de mantenimiento y reduciendo la eficiencia global del sistema. En consecuencia, el diseño de una línea de reciclado no debe limitarse al dimensionamiento individual de cada equipo, sino considerar el proceso como un sistema integrado, donde cada operación influye directamente sobre el desempeño de las etapas posteriores.

Por otra parte, las condiciones de contorno definidas para el presente proyecto establecen una capacidad nominal de procesamiento de 110 kg/h, valor que servirá como base para el dimensionamiento de los equipos que conforman la línea de reciclado propuesta.

A partir de las problemáticas identificadas y de los criterios técnicos establecidos, resulta necesario analizar las diferentes configuraciones empleadas actualmente en los sistemas de reciclado mecánico, con el propósito de seleccionar la alternativa más adecuada para satisfacer los objetivos del presente trabajo. Dicho análisis se desarrolla en el capítulo siguiente.

Capítulo 2: Análisis de sistemas de reciclado

2.1 Introducción

El reciclado mecánico de materiales plásticos comprende una sucesión de operaciones unitarias destinadas a transformar residuos postconsumo en materia prima apta para nuevas aplicaciones. La disposición e integración de estas operaciones influyen directamente sobre la calidad del producto obtenido, el consumo energético y la mantenibilidad del sistema. Por ello, la configuración de una línea de reciclado debe responder no solamente a criterios de capacidad productiva, sino también a la compatibilidad entre las distintas etapas y a la posibilidad de garantizar un funcionamiento continuo.

2.1 Tecnologías empleadas en líneas de reciclado mecánico

El reciclado mecánico constituye el método más difundido para la valorización de residuos plásticos post consumo, debido a que permite recuperar el material mediante operaciones físicas sin modificar significativamente su estructura química. La configuración de una línea de reciclado depende del tipo de polímero procesado, del grado de contaminación de la materia prima y de la calidad requerida para el producto final.

En términos generales, las líneas de reciclado pueden clasificarse en líneas compactas y líneas modulares o integradas. Las primeras reúnen varias operaciones en un mismo equipo, ofreciendo menores costos iniciales y una instalación simplificada, aunque presentan limitaciones en cuanto a capacidad de procesamiento, flexibilidad y mantenimiento. Por el contrario, las líneas modulares están constituidas por equipos independientes conectados de forma secuencial, permitiendo adaptar el proceso a distintos materiales, optimizar cada operación unitaria y facilitar el mantenimiento o reemplazo de los distintos equipos.

Desde el punto de vista del proceso, las configuraciones más utilizadas incorporan operaciones de reducción de tamaño, separación por densidad, lavado y secado, pudiendo variar el orden y la cantidad de etapas según las características del material alimentado. En aplicaciones destinadas al reciclado de envases de PET, es frecuente incorporar un pretriturado para reducir el volumen del material, seguido por una trituración controlada, separación densimétrica mediante sistemas *Sink-Float*, lavado por fricción o lavado caliente y, finalmente, una etapa de secado mecánico antes del almacenamiento o de procesos posteriores de transformación.

La selección de cada una de estas tecnologías responde al compromiso existente entre calidad del material recuperado, consumo energético, complejidad constructiva, facilidad de mantenimiento y costo de inversión. En consecuencia, el diseño de una línea de reciclado no consiste únicamente en seleccionar equipos individuales, sino en definir una configuración de proceso que garantice la compatibilidad entre todas las

operaciones y permita obtener un producto con las características requeridas para su reutilización.

Considerando estos criterios, en el presente trabajo se adopta una línea de reciclado integrada orientada al procesamiento de envases plásticos con predominio de PET, cuya configuración y fundamentos de selección se desarrollan en el apartado siguiente

2.2 Selección de la configuración adoptada

En función de los criterios expuestos anteriormente, se seleccionó una línea de reciclado mecánico integrada compuesta por las siguientes etapas expuestas en la Figura 2.2.1 :

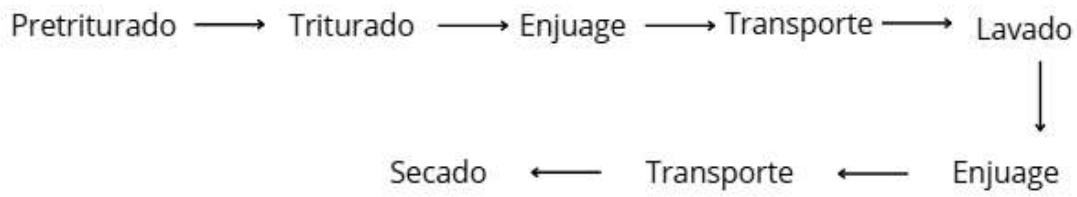


FIGURA2.1 Etapas del proceso

La primera operación corresponde a un pre triturado cuya función consiste en reducir el volumen del material y proporcionar una alimentación uniforme al triturador principal. La utilización de una etapa previa de reducción de tamaño permite disminuir las solicitaciones mecánicas sobre el sistema de corte, reducir los picos de torque y favorecer una producción continua.

La trituración final se realiza mediante un granulador provisto de un tamiz calibrado entre 9,5 y 12 mm, dimensiones recomendadas por la Association of Plastic Recyclers (APR) en el documento PET-P-03 [3]. La obtención de una granulometría uniforme constituye una condición fundamental para favorecer las operaciones posteriores de separación y lavado. Asimismo, la reducción de tamaño promueve la liberación de tapas, etiquetas y otros componentes presentes en los envases, facilitando su posterior separación. La descarga del material se realiza por gravedad, evitando el transporte

neumático inmediatamente después de la trituración, criterio también recomendado por la APR debido a que minimiza la generación de partículas finas y reduce la posibilidad de contaminación secundaria del material.

Posteriormente, el material ingresa a una primera pileta de separación densimétrica. En esta operación, basada en las diferencias de densidad entre los distintos polímeros, las partículas de PET sedimentan mientras que las fracciones de polietileno y polipropileno asociadas principalmente a tapas y etiquetas permanecen flotando. La inclinación de la pileta facilita el desplazamiento del material y permite concentrar la corriente pesada para su extracción mediante un tornillo sinfín ubicado en el fondo.

La utilización del tornillo sinfín como elemento de transporte fue seleccionada debido a su simplicidad constructiva, facilidad de mantenimiento y capacidad para transportar simultáneamente el material y favorecer el escurrimiento parcial del líquido contenido en la mezcla. Esta solución presenta además una menor complejidad mecánica respecto de otros sistemas de elevación utilizados en líneas industriales.

La operación de lavado se realiza mediante un cilindro perforado equipado con un tornillo helicoidal interno. El movimiento relativo entre las partículas y las superficies del equipo genera un efecto de fricción que favorece la remoción de restos orgánicos, suciedad, adhesivos y contaminantes superficiales. La incorporación continua de agua limpia a lo largo del proceso permite aumentar la eficiencia de lavado y reducir la concentración de impurezas presentes en el material. La configuración seleccionada presenta ventajas asociadas a la simplicidad constructiva y a la facilidad de limpieza y mantenimiento, aspectos de especial importancia en un ambiente caracterizado por elevados niveles de contaminación.

Luego del lavado por fricción, el material es sometido a una segunda separación densimétrica. Esta etapa tiene por finalidad eliminar partículas livianas y contaminantes liberados durante el lavado, permitiendo aumentar la pureza del producto obtenido. Al igual que en la primera etapa, la extracción del material sedimentado se realiza mediante un tornillo sinfín inferior.

Finalmente, el proceso concluye con una secadora centrífuga vertical, cuya función consiste en reducir la humedad superficial remanente mediante la acción combinada de

fuerzas centrífugas.. La elección de este sistema responde a su bajo consumo energético, simplicidad mecánica y facilidad de mantenimiento, constituyendo una solución adecuada para la capacidad de producción considerada en el presente proyecto.

La configuración adoptada responde a una filosofía de diseño orientada a la obtención de un producto de calidad mediante un sistema integrado, de construcción sencilla y elevado nivel de mantenibilidad. A diferencia de configuraciones industriales basadas en múltiples equipos independientes o sistemas de transporte neumático, la solución propuesta busca minimizar la degradación del material, reducir la generación de partículas finas y facilitar las tareas de inspección y reemplazo de componentes. De esta manera, la calidad del producto final se concibe como el resultado de la interacción entre todas las operaciones del proceso y no como una consecuencia exclusiva de la etapa de lavado.

2.3 Criterios de diseño derivados de la normativa vigente

Durante el desarrollo del presente proyecto se tomaron como referencia distintos criterios establecidos por la normativa ambiental y de seguridad vigente en la República Argentina. Si bien el alcance del trabajo comprende el diseño de una línea de reciclado y no el proyecto ejecutivo de una planta industrial, dichas normas sirvieron como guía para la definición de diversos criterios de diseño.

En materia ambiental se consideró la Ley General del Ambiente N.º 25.675 [4] , la cual establece principios como la prevención del daño ambiental, el uso racional de los recursos naturales y el desarrollo sustentable. En este sentido, la línea propuesta busca valorizar residuos de envases de PET postconsumo mediante un proceso de reciclado mecánico, favoreciendo su reincorporación al ciclo productivo y disminuyendo la cantidad de residuos destinados a disposición final.

Asimismo, se tuvo en cuenta la Ley N.º 25.916 de Gestión Integral de Residuos Domiciliarios [5], que promueve la reducción, reutilización, reciclado y valorización de los residuos sólidos urbanos. El objetivo de la línea diseñada es precisamente obtener

escamas de PET limpias y aptas para procesos posteriores de transformación, contribuyendo al aprovechamiento de este tipo de residuos.

Por otra parte, se consideraron los lineamientos generales establecidos por la Ley N.º 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo [6]y su Decreto Reglamentario 351/79[7] , particularmente aquellos relacionados con la necesidad de diseñar equipos que faciliten las tareas de operación, inspección y mantenimiento. En consecuencia, durante el desarrollo de los equipos se priorizaron soluciones constructivas que permiten el desmontaje de componentes, el acceso a los elementos sometidos a desgaste y la utilización de piezas comerciales normalizadas, con el propósito de simplificar las intervenciones de mantenimiento y reducir los tiempos de parada.

Capítulo 3: Diseño

3.1 Pretrituradora

3.1.1 Función del equipo

La pretrituradora constituye la primera etapa del proceso de reciclado mecánico propuesto. Su función es reducir el volumen de los envases plásticos post consumo antes de que ingresen a las etapas posteriores de trituración, lavado y separación por densidad.

La reducción inicial del tamaño del material facilita su manipulación dentro de la línea, disminuye el riesgo de atascamientos durante el transporte entre equipos y permite obtener una alimentación más uniforme para la trituradora. Además, al realizar una primera apertura de los envases, favorece la posterior remoción de contaminantes durante las operaciones de lavado.

El equipo fue diseñado para procesar principalmente botellas de tereftalato de polietileno (PET), junto con sus tapas y anillos de polietileno de alta densidad (HDPE) y polipropileno (PP), considerando una capacidad de procesamiento de 110 kg/h, correspondiente a las condiciones de diseño establecidas en el Capítulo 1.

3.1.2 Criterios y descripción constructiva

El diseño de la pretrituradora se desarrolló bajo criterios de construcción sencilla, fácil fabricación, elevada mantenibilidad e integración continua con la línea de reciclado. El conjunto realiza la reducción primaria de volumen de las botellas de PET mediante una estructura metálica integrada por una tolva de alimentación, una cámara de pre trituración, un sistema de doble eje con cuchillas, una criba inferior y una carcasa exterior desmontable.

La alimentación del material se realiza a través de una tolva ubicada en la parte superior del equipo (Figura 3.1), conformada por chapas soldadas y unida al cuerpo principal de la máquina, cuya geometría guía los envases plásticos hacia la zona de corte favoreciendo un flujo continuo.

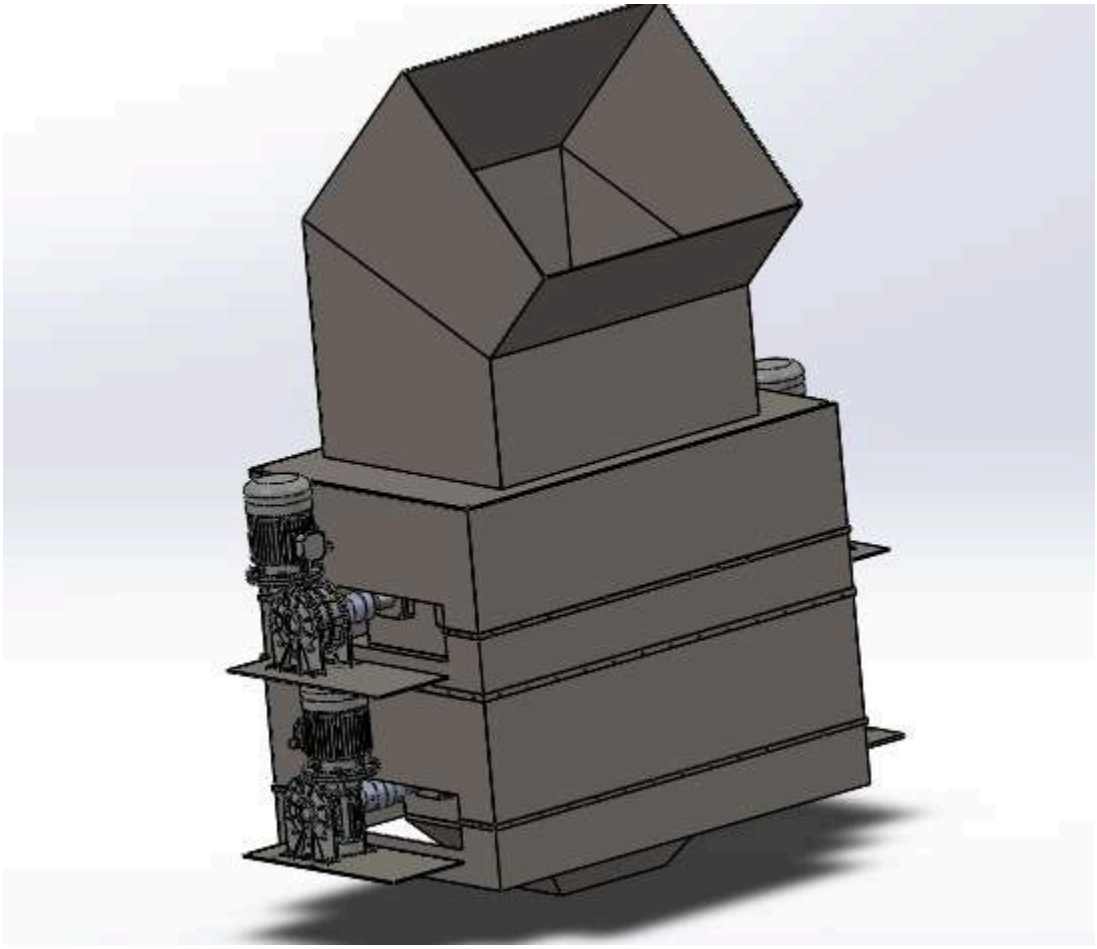


FIGURA 3.1 Entrada de material al proceso de triturado

La cámara de pre -trituración constituye el núcleo funcional del equipo. En su interior se adoptó una configuración de dos ejes paralelos que giran en sentidos opuestos (Figura 3.2), mecanismo que permite sujetar y arrastrar los envases hacia la zona de corte, disminuyendo el rebote del plástico y garantizando una alimentación uniforme. Cada eje alberga un paquete de cinco cuchillas dispuestas de forma alternada y separadas mediante espaciadores mecanizados. Esta cantidad y distribución se definió a partir de las dimensiones útiles de la cámara con el objetivo de optimizar la superficie efectiva de corte, capturar progresivamente el material, distribuir uniformemente los esfuerzos mecánicos a lo largo del árbol y facilitar el reemplazo individual de los elementos sometidos a desgaste.

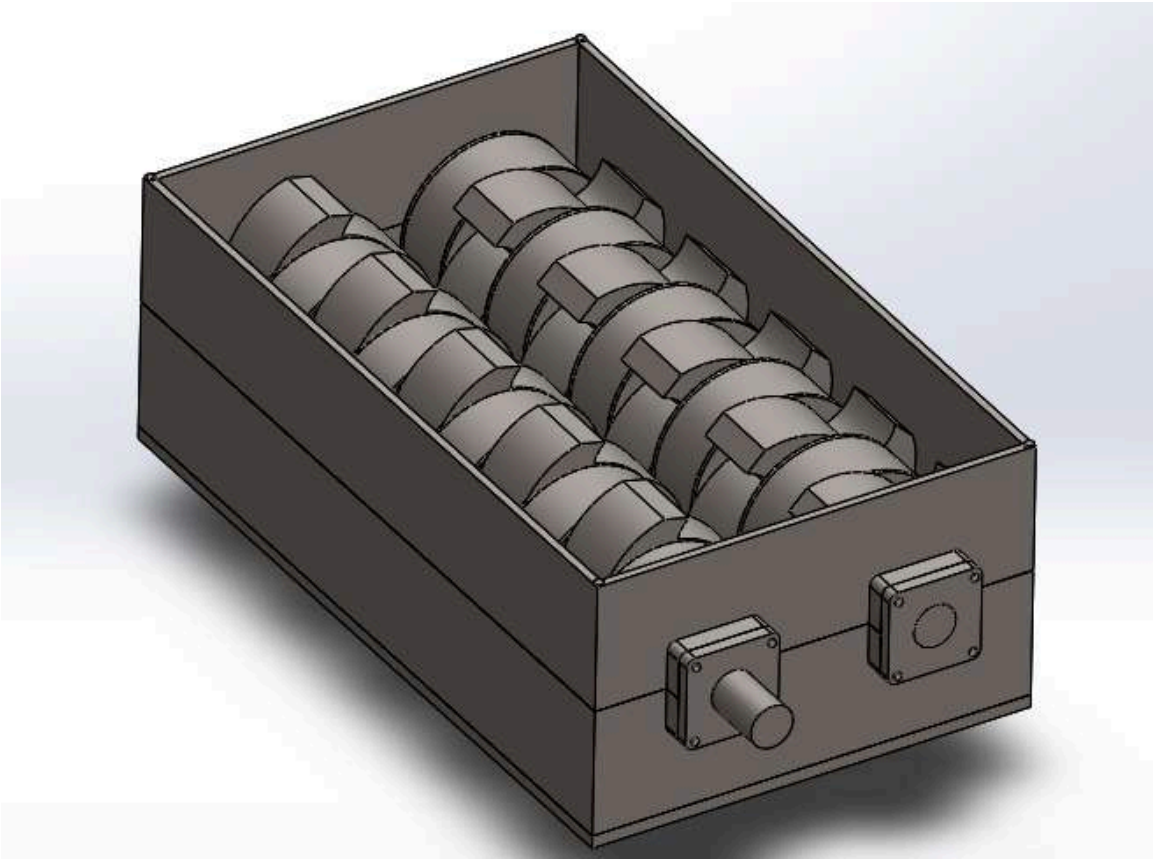


FIGURA 3.2 Etapa de pre triturado

Para el montaje del conjunto, cada eje mecanizado incorpora un hombro de apoyo en uno de sus extremos y un sistema de fijación desmontable en el extremo opuesto mediante una tuerca diseñada específicamente para el conjunto. Los árboles se apoyan sobre rodamientos alojados en los laterales de la carcasa para absorber las cargas dinámicas del proceso, mientras que el accionamiento se realiza mediante un motor eléctrico acoplado a un reductor comercial.

El control de la granulometría se realiza en la parte inferior de la cámara mediante una criba desmontable. De este modo, únicamente las partículas que alcanzan la dimensión calibrada atraviesan las perforaciones hacia la siguiente etapa del proceso, mientras que el material sobremedida permanece retenido en la cámara hasta completar su reducción. Finalmente, el equipo posee una carcasa metálica exterior conformada por paneles de chapa soldados y atornillados ,cuya función es brindar rigidez estructural, proteger los componentes internos y permitir un acceso directo para tareas de inspección y mantenimiento preventivo

3.2 Trituradora

3.2.1 Función del equipo

Una vez reducido el volumen de los envases mediante la pretrituradora, resulta necesario obtener una granulometría controlada que permita optimizar las etapas posteriores del proceso. Esta función es realizada por la trituradora .

La trituradora constituye la segunda etapa de reducción del tamaño de la línea de reciclado, recibiendo el material previamente procesado por la pretrituradora. Mientras que la primera etapa tiene como objetivo disminuir el volumen de los envases y facilitar su manipulación, la trituradora realiza la reducción granulométrica final necesaria para obtener escamas plásticas (flakes) aptas para las operaciones posteriores de separación y lavado.

La principal función del equipo consiste en producir partículas con una granulometría comprendida entre 9,5 y 12 mm, de acuerdo con las recomendaciones establecidas por

la *Association of Plastic Recyclers (APR)* [3] para el procesamiento de envases de PET. La obtención de una distribución granulométrica uniforme favorece la liberación de etiquetas, adhesivos y otros contaminantes adheridos al material, incrementando la eficiencia de las etapas posteriores de lavado y separación densimétrica, además de reducir la generación de partículas finas que puedan afectar la calidad del producto reciclado.

3.2.2 Criterios y descripción constructiva

El diseño de la trituradora se desarrolló considerando los requerimientos de granulometría exigidos por las etapas posteriores del proceso de reciclado y las recomendaciones técnicas de la bibliografía especializada. A diferencia de la pretrituradora, enfocada en la reducción primaria de volumen, la trituradora tiene como objetivo obtener escamas de PET de tamaño uniforme para optimizar el lavado, la separación densimétrica y el secado. El equipo fue dimensionado para una capacidad nominal de 110 kg/h, alineada con el régimen continuo de toda la línea para evitar cuellos de botella.

La estructura general responde a una carcasa metálica soldada conformada por paneles cerrados, diseñada para absorber las cargas dinámicas del proceso. El material ingresa directamente desde la etapa de pre trituración con un volumen reducido, lo que favorece un flujo estable dentro de la cámara.

La cámara de trituración alberga dos ejes paralelos que giran en sentidos opuestos, montados sobre rodamientos alojados en placas laterales desmontables . Cada árbol lleva montado un paquete de cuchillas móviles separadas por espaciadores que cubren la totalidad del ancho útil de la máquina. La disposición alternada de los elementos de corte distribuye progresivamente el esfuerzo de trituración a lo largo del rotor, garantizando una alimentación continua y reduciendo los picos de solicitación mecánica.

El accionamiento se realiza de forma independiente en cada eje mediante un conjunto de motor eléctrico y reductor con transmisión directa. Esta configuración distribuye la carga entre ambos rotores, simplifica el montaje y facilita las tareas de mantenimiento al permitir intervenciones individuales sobre cada mando.

En la parte inferior de la cámara se ubica una criba perforada desmontable que actúa como el mecanismo principal de control granulométrico. Las partículas permanecen sometidas a ciclos de corte dentro de la cámara hasta alcanzar una dimensión inferior a las perforaciones de la criba, momento en el que atraviesan la malla y descargan por gravedad , evitando la presencia de material sobremedida en el efluente.

Finalmente, la carcasa incorpora tapas laterales desmontables que permiten un acceso directo a los ejes, rodamientos y cuchillas sin necesidad de desarmar la estructura principal . Su arquitectura modular posibilita el reemplazo individual de los componentes sometidos a desgaste, optimizando los tiempos de parada y simplificando el mantenimiento preventivo.

3.3 Pileta de acondicionamiento

3.3.1 Función del equipo

La pileta de enjuague constituye la tercera etapa del proceso de reciclado y tiene como función recibir el material proveniente de la trituradora para realizar un primer proceso de limpieza y efectuar la separación de los distintos polímeros presentes mediante diferencia de densidad.

El material triturado ingresa por gravedad al interior de la pileta, donde entra en contacto con una solución de agua e hidróxido de sodio (NaOH) al 1 %. La utilización de esta solución permite remover suciedad superficial, restos de adhesivos, materia orgánica y otros contaminantes presentes sobre los fragmentos plásticos, favoreciendo la limpieza del material antes de las etapas posteriores del proceso.

Con el objetivo de mantener el material en suspensión y favorecer el contacto entre los fragmentos plásticos y la solución de lavado, la pileta incorpora dos ejes transversales provistos de paletas que generan una agitación continua del fluido. Este movimiento evita la acumulación localizada del material, mejora la eficiencia del lavado y contribuye al correcto desarrollo de la separación por densidad .

Durante esta etapa también se lleva a cabo la separación de los materiales según su densidad. Debido a que el politereftalato de etileno (PET) posee una densidad superior a la de la solución de lavado, las partículas de este material sedimentan hacia el fondo de la pileta, mientras que otros polímeros de menor densidad, como el polietileno (PE) y el polipropileno (PP), permanecen flotando sobre la superficie. Esta diferencia de

comportamiento permite realizar una primera clasificación del material reciclado, mejorando la calidad del PET que continúa el proceso.

Finalmente, el material sedimentado es retirado de la pileta mediante un transportador a tornillo sinfín, que lo conduce hacia la etapa de lavado, donde continúa el proceso de remoción de contaminantes previo al enjuague final y al secado.

3.3.2 Criterios y descripción constructiva

La pileta de enjuague está constituida por un tanque prismático construido en acero inoxidable AISI 304, material seleccionado por su elevada resistencia a la corrosión frente a la solución acuosa de hidróxido de sodio empleada durante el proceso, además de presentar buenas propiedades de soldabilidad y una amplia disponibilidad comercial. En el interior del tanque se disponen dos ejes agitadores paralelos, fabricados con el mismo material, cuya función es transmitir el movimiento a las paletas y mantener el material plástico en suspensión, favoreciendo la separación por densidad y evitando la acumulación de partículas en el fondo del equipo. Cada eje incorpora dos paletas, diseñadas para generar una agitación suave y continua, promoviendo el desplazamiento del material hacia la zona de descarga sin producir un mezclado excesivo del contenido del tanque.

Los ejes se encuentran soportados mediante portarodamientos desmontables fijados a las paredes laterales del tanque, lo que permite desmontar cada conjunto de forma independiente durante las tareas de mantenimiento. Estos componentes también fueron construidos en acero inoxidable AISI 304 con el propósito de evitar fenómenos de corrosión galvánica entre los elementos en contacto con el medio húmedo. Para garantizar la estanqueidad entre los portarodamientos y las paredes del tanque se emplean juntas planas de EPDM, material que presenta buena resistencia química frente al agua y soluciones diluidas de hidróxido de sodio, además de facilitar su reemplazo durante las intervenciones de mantenimiento.

Finalmente, el movimiento de los ejes agitadores es proporcionado por dos motorreductores de baja velocidad, seleccionados para suministrar el par necesario durante la operación continua del equipo.

3.4 Sistema de transporte

3.4.1 Función del equipo

El sistema de transporte constituye el módulo encargado de extraer de manera continua las partículas pesadas de PET que se sedimentan en el fondo de la pileta de enjuague y conducirlas hacia la etapa posterior de lavado por fricción.

Además de garantizar el traslado mecánico de las escamas sin interrupciones ni acumulaciones, el equipo realiza un drenaje parcial del líquido retenido durante el ascenso del material. Este proceso previo de desaguado se logra mediante la gravedad a través de un semitubo perforado, reduciendo significativamente la transferencia de solución alcalina hacia el módulo de lavado por fricción y contribuyendo a la optimización del consumo hídrico de la línea.

El equipo fue diseñado para procesar el flujo continuo proveniente de la pileta de enjuague, considerando una capacidad nominal de procesamiento de 110 kg/h, correspondiente a las condiciones de diseño establecidas en el Capítulo 1.

3.4.2 Criterios y descripción constructiva

El diseño del sistema de transporte inclinado por tornillo sinfín el mismo ingresa a la parte inferior de la pileta de lavado retirando el material separado por su densidad como se muestra en la Figura 3.5. Esta configuración resulta idónea para el manejo de sólidos húmedos, permitiendo acoplar la sección inferior sumergida directamente al fondo de la pileta de enjuague para capturar las escamas sedimentadas, mientras el tramo superior eleva el material hacia la boca de carga de la lavadora por fricción.

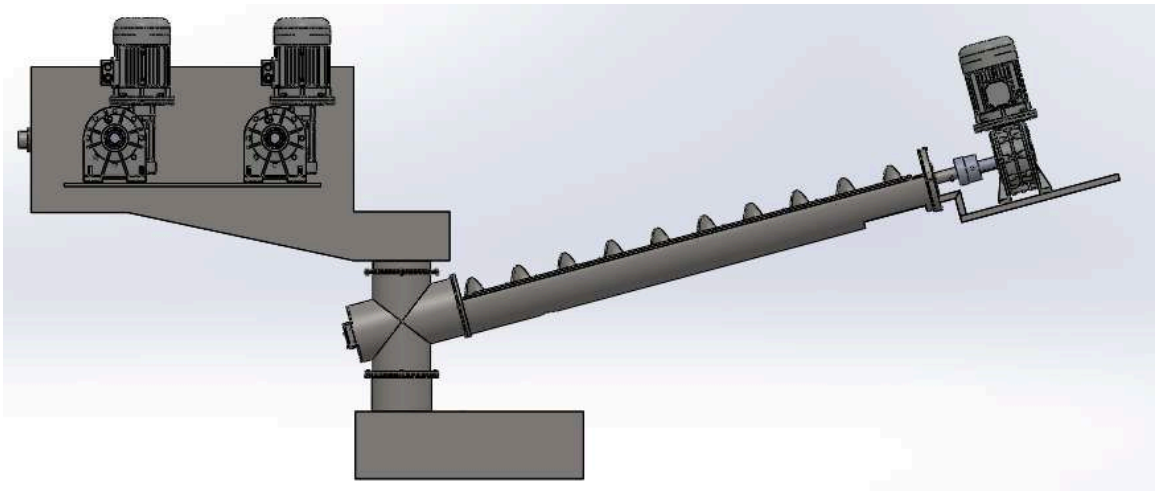


FIGURA 3.5 Vinculación del sistema de transporte a la pileta de enjuague

El equipo está constituido por una estructura tubular inclinada dividida longitudinalmente en dos semitubos. El semitubo inferior incorpora una criba perforada con orificios de 4 mm que actúa como zona de desaguado, remitiendo la totalidad de las escamas de PET mientras permite el escurrimiento y retorno de la solución por gravedad hacia la pileta como se muestra en la Figura 3.8 . Para garantizar una elevada resistencia a la corrosión frente al medio acuoso alcalino y prevenir la contaminación del plástico, la hélice, el eje, las semicubiertas y las bridas fueron proyectadas en acero inoxidable AISI 304.

El núcleo funcional lo constituye un eje central continuo de acero inoxidable sobre el cual se fijan hélices de paso constante equivalente al diámetro nominal de la rosca, garantizando un avance uniforme del material. El eje se apoya en sus extremos sobre rodamientos alojados en soportes y tapas bridadas, asegurando el centrado de la hélice respecto a la carcasa.

El accionamiento se realiza mediante un motorreductor eléctrico montado sobre un soporte en voladizo unido rígidamente al extremo superior mediante una brida circular.

3.5 Lavado por fricción

3.5.1 Función del equipo

El módulo de lavado por fricción constituye la etapa de remoción intensiva de contaminantes dentro de la línea de reciclado mecánico propuesta. Su función es eliminar la suciedad fuertemente incrustada, restos de adhesivos, etiquetas residuales y partículas orgánicas o minerales adheridas a la superficie de las escamas de PET provenientes de la etapa de transporte.

La remoción de contaminantes se logra sometiendo la masa de material plástico a un régimen de elevada turbulencia y cizallamiento mecánico en presencia de un flujo continuo de agua. Esta acción es generada por la rotación a alta velocidad de un rotor provisto de paletas dispuestas helicoidalmente dentro de una cámara cilíndrica perforada como se muestra en la Figura 3.6 (página siguiente)

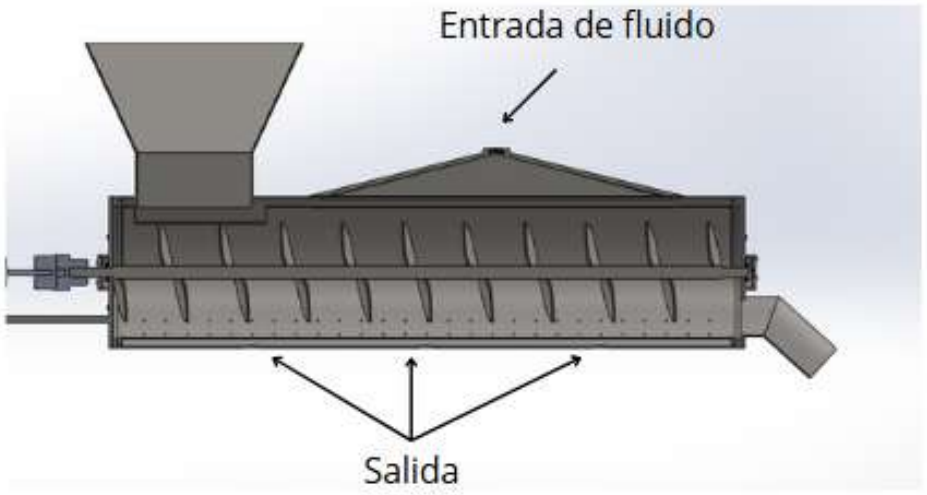


FIGURA 3.6 Cilindro perforado de lavado por fricción

El frotamiento continuo entre los fragmentos plásticos y contra la pared interna de la criba perforada produce el desprendimiento de las impurezas superficiales. Simultáneamente, la fuerza centrífuga generada impulsa el agua y los contaminantes desprendidos hacia el exterior de la criba, permitiendo obtener escamas de PET con un elevado nivel de limpieza antes de su ingreso a la etapa de secado.

El equipo fue diseñado para procesar el flujo continuo de material proveniente del transportador a tornillo sinfín, considerando una capacidad de procesamiento de 110 kg/h correspondiente a las condiciones de diseño establecidas en el Capítulo 1.

3.5.2 Criterios y descripción constructiva

El equipo está concebido para realizar la limpieza intensiva de las escamas de PET previa a la etapa de secado mediante una estructura metálica compuesta por una tolva de alimentación, un rotor central con paletas, una criba cilíndrica perforada, una carcasa exterior de recolección y una boca de descarga inclinada.

La alimentación ingresa a través de una tolva de chapas soldadas ubicada en la parte superior del extremo inicial del equipo, cuya geometría guía el material hacia la zona de acción de las paletas. La cámara de lavado constituye el núcleo funcional del sistema.

En su interior se aloja un eje central soportado por rodamientos laterales sobre el cual se sueldan paletas dispuestas de forma helicoidal. Durante la rotación, esta geometría genera el impacto e intensifica la fricción interparticular necesaria para desprender los contaminantes adheridos, mientras impulsa progresivamente el plástico en sentido axial desde la carga hacia la descarga.

Para la transmisión de potencia se adoptó un accionamiento directo mediante un acoplamiento elástico conectado entre el eje del motor y el árbol del rotor. Esta disposición aprovecha directamente la velocidad nominal de un motor eléctrico trifásico de 4 polos 1450 rpm, generando el campo de aceleración centrífuga requerido sobre la masa de plástico sin necesidad de incorporar reductores de velocidad. El motor se monta sobre una consola soporte estructural fija a la parte posterior del equipo.

Envolviendo concéntricamente al rotor se ubica una criba cilíndrica perforada desmontable. El diámetro de sus perforaciones se definió en un valor inferior a la granulometría objetivo de las escamas 5 mm asegurando que la fuerza centrífuga expulse el agua, la tierra y las etiquetas desintegradas hacia la carcasa exterior cilíndrica para su canalización, mientras el plástico limpio permanece retenido en el interior. Al alcanzar el extremo opuesto, la inclinación de la boca de descarga facilita la salida del material hacia la etapa de secado.

Dado que el equipo opera bajo presencia continua de humedad e impurezas abrasivas, la totalidad de las superficies en contacto con el material se proyectaron en acero inoxidable AISI 304 para prevenir la corrosión. Finalmente, la carcasa exterior posee paneles superiores desmontables que brindan acceso directo al conjunto de rotor, criba y soportes, reduciendo significativamente los tiempos de parada durante las tareas de inspección, limpieza y mantenimiento preventivo.

3.6 Secado

3.6.1 Función del equipo

El módulo de secado constituye la etapa final de procesamiento mecánico dentro de la línea continua de reciclado propuesta. Su función es reducir el contenido de humedad residual superficial de las escamas de PET provenientes del lavado por fricción, hasta alcanzar valores adecuados para su posterior almacenamiento o transformación en productos de valor agregado.

A diferencia del módulo de lavado por fricción, durante esta etapa no se inyecta agua al interior de la cámara. El equipo funciona como una secadora centrífuga mecánica en seco, donde el plástico húmedo es sometido a un régimen de alta velocidad de rotación.

La fuerza centrífuga generada por el giro del rotor proyecta la humedad libre y las gotículas adheridas a las escamas a través de las perforaciones de la criba cilíndrica. El agua expulsada es recolectada por la carcasa exterior y canalizada hacia el drenaje, mientras que la corriente de plástico seco es impulsada axialmente por la geometría helicoidal de las paletas hacia la boca de descarga final del proceso.

El equipo fue diseñado para procesar el flujo continuo proveniente de la lavadora por fricción, considerando una capacidad de procesamiento de 110 kg/h, correspondiente a las condiciones de diseño establecidas en el Capítulo 1.

3.6.2 Criterios y descripción constructiva

El equipo está concebido para realizar la deshidratación mecánica continua de las escamas de PET mediante una estructura metálica integrada por una tolva de alimentación, un rotor central con paletas helicoidales, una criba cilíndrica perforada, una carcasa exterior de recolección y una boca de descarga inclinada.

La alimentación del material húmedo se realiza a través de una tolva de chapa plegada y soldada ubicada en la parte superior del extremo inicial del equipo, cuya geometría guía el plástico hacia la cámara de secado. La cámara constituye el núcleo funcional del sistema; en su interior gira un eje central apoyado en ambos extremos sobre rodamientos alojados en las tapas laterales de la carcasa. Sobre el árbol se encuentran soldadas paletas dispuestas helicoidalmente que aceleran tangencialmente las escamas y las conducen progresivamente en sentido axial hacia la salida, asegurando un tiempo de residencia controlado que evita la acumulación de material.

Para el accionamiento del rotor se adoptó un sistema directo mediante un acoplamiento elástico conectado al eje del motor eléctrico trifásico, el cual se apoya sobre una consola soporte estructural fijada a la parte posterior del equipo. Esta disposición transmite el movimiento directamente sin necesidad de reductores de velocidad ni transmisiones secundarias, minimizando las pérdidas mecánicas y simplificando las tareas de mantenimiento.

Envolviendo concéntricamente al rotor se ubica una criba cilíndrica perforada desmontable. El diámetro de sus perforaciones se definió en un valor inferior a la granulometría objetivo del PET 5mm , garantizando que la elevada fuerza centrífuga desprenda y expulse la película de agua superficial a través de la malla hacia la carcasa exterior para su drenaje por la purga inferior, mientras las escamas secas permanecen retenidas en el interior. Al alcanzar el extremo opuesto, la inclinación de la boca de descarga permite la salida continua del plástico seco por gravedad hacia la etapa de almacenamiento.

Debido al contacto permanente con la humedad y a la presencia de agentes alcalinos residuales, la totalidad de los componentes estructurales e internos en contacto con el

plástico fueron proyectados en acero inoxidable AISI 304 para prevenir la corrosión. Finalmente, la carcasa exterior posee paneles desmontables que brindan acceso directo al rotor, criba y soportes, reduciendo significativamente los tiempos de parada durante las tareas de inspección, limpieza y mantenimiento preventivo.

3.7 Memorias de cálculo

En el siguiente apartado se adjuntan las memorias de cálculo de las máquinas diseñadas . En las ecuaciones se referencia el capítulo y luego a qué máquina corresponde , seguidamente el número de ecuación para no alargar la nomenclatura.

3.7.1 Memoria de cálculo de la pretrituradora

La función de la pretrituradora es realizar la reducción primaria de volumen de envases completos de PET mediante un mecanismo de doble eje rotatorio a baja velocidad.

Tomando como referencia la ficha técnica del material PET reciclado (*Ertalyte™ Sterra™ PET*)[8], la resistencia al corte pura del material según norma ASTM D732 es $\tau = 55\,MPa$

Para una cuchilla con un ancho efectivo de contacto b= 80 mm y un espesor promedio de pared de la escama e=0,5mm, el área de corte resulta (Ecuación 3.1.1):

$$A = b * e = 80mm * 0,5\,mm = 40mm^2 \quad (3.1.1)$$

La fuerza de corte tangencial requerida por una cuchilla (F) se determina mediante la Ecuación (3.2.2):

$$F = \tau * A = 55\,MPa * 40mm^2 = 2200N \quad (3.1.2)$$

Considerando que el material ingresa a la cámara de granulación con geometría irregular, se adopta como hipótesis de diseño conservadora que un máximo de 5 cuchillas se encuentran aplicando de forma simultánea el esfuerzo de corte pleno sobre el rotor. (Ecuación 3.2.3)

$$F_{tangencial} = 5 * 2200\,N = 11000\,N \quad (3.1.3)$$

Considerando un radio efectivo de las cuchillas de 0,125m , el momento torsor de diseño es calculado como (Ecuación 3.2.4)

$$T = F_{tangencial} * R = 11000\,N * 0,12m = 1375\,N * m \quad (3.1.4)$$

Por una investigación previa sobre las máquinas comercializadas de restringe la velocidad de giro de la trituradora y se impone para el cálculo una velocidad de 30 rpm , obteniendo una velocidad angular de (Ecuación 3.2.5):

$$\omega = \frac{2*\pi*30}{60} = 3,1416\,rad/s \quad (3.1.5)$$

Calculo la potencia requerida del motor como (Ecuación 3.2.6)

$$P = T * \omega = 1375\,N * m * 3,1416\,rad/s = 4319,7\,W = 4,32\,kW \quad (3.1.6)$$

Considerando un rendimiento global del reductor y el acoplamiento en un $\eta = 0.92$ y un factor de servicio de FS= 1,5, para absorber sobre cargas de impacto y atrapamientos por fluctuación de alimentación la potencia de diseño (P_D) se determina como (Ecuación 3.2.7)

$$P_D = \frac{4.32kW}{0.92} * 1,5 = 7.04\,kW \quad (3.1.7)$$

Los motores eléctricos trifásicos comerciales estándar de 4 polos giran a una velocidad nominal aproximada de 1450 rpm.
Como el rotor de la pretrituradora tiene definido un giro de 30 rpm establecido como condición de contorno se requiere elegir un reductor con una relación de reducción de (Ecuación 3.2.8)

$$i = \frac{\eta_{motor}}{\eta_{salida}} = \frac{1450\,rpm}{30\,rpm} = 48,3 \quad (3.1.8)$$

Comercialmente se pude obtener un reductor de I=50, lo que tenemos que ver es si el valor de esta reducción comercial cumple con el torque solicitado

$$50 = \frac{\eta_{motor}}{\eta_{salida}} = \frac{1450\ rpm}{X\ rpm} \rightarrow X\ rpm = 29\ rpm$$

El torque a la salida del reductor con el motor preseleccionado queda finalmente en (Ecuación 3.2.9)

$$T = \frac{Pot*9550}{29\ rpm} * 0.92 = 2272,24\ N * m \qquad (3.1.9)$$

Y el torque calculado para esta máquina era de T=1375 N*m, por lo que se puede adoptar un motoreductor comercial sin inconvenientes.

Para la correcta verificación de un estado crítico de la máquina se realizó una simulación en SolidWorks al eje de pretriturador al al cual se le dieron las propiedades del material elegido , se le impusieron restricciones para los alojamientos de los rodamientos y se aplicó la torsión calculada en la ecuación (3.1.4) y se observan los resultados en la Figura 3.3.

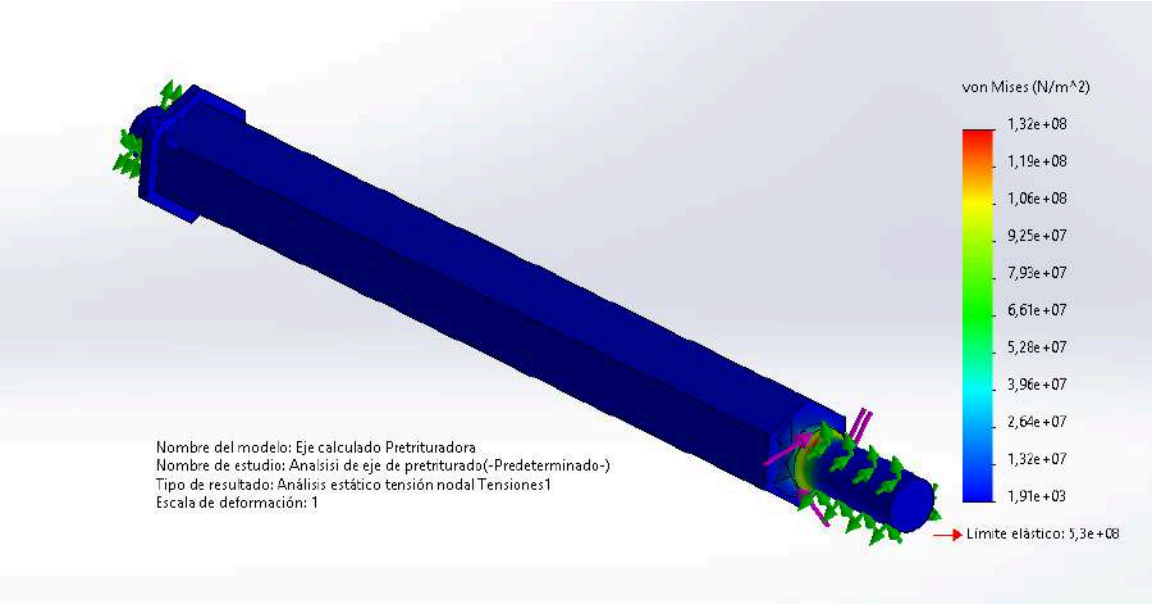


FIGURA 3.3 Resultados de simulación para pre trituración

En los resultados se observa una tensión máxima de 132 MPa es en extremo de la rosca del eje, donde se ubicaría la tuerca de fijación para las cuchillas de pre trituración esta es menor al valor de límite elástico del material SAE 1045, con un valor de 530 MPa , arrojando un coeficiente de seguridad de 4, demostrando un valor razonable de diseño.

3.7.2 Memoria de cálculo de la pretrituradora

Siguiendo la metodología de cálculo de la pretrituradora adoptó aquel a las particularidades de esta máquina.

La trituradora realiza la condimentación final del material pre triturado para obtener escamas calibradas entre 9,5 mm y 12,5 mediante la acción de cuchillas sobre el flujo de polímero.

Tomando como referencia la ficha técnica del material PET reciclado (*Ertalyte™ Sterra™ PET*)[8], la resistencia al corte pura del material según norma ASTM D732 es $\tau = 55\,MPa$

Para una cuchilla con un ancho efectivo de contacto b= 40 mm y un espesor promedio de pared de la escama e=0,5mm, el área de corte resulta (Ecuación 3.2.1):

$$A = b * e = 40mm * 0,5\,mm = 20mm^2 \quad (3.2.1)$$

La fuerza de corte tangencial requerida por una cuchilla (F) se determina mediante la Ecuación (3.2):

$$F = \tau * A = 55\,MPa * 20mm^2 = 1100N \quad (3.2.2)$$

Considerando que el material ingresa a la cámara de granulación con geometría irregular, se adopta como hipótesis de diseño conservadora que un máximo de 8 cuchillas se encuentran aplicando de forma simultánea el esfuerzo de corte pleno sobre el rotor. (Ecuación 3.2.3)

$$F_{tangencial} = 8 * 1100\,N = 8800\,N \quad (3.2.3)$$

Considerando un radio efectivo de las cuchillas de 0,125m , el momento torsor de diseño es calculado como (Ecuación 3.2.4)

$$T = F_{tangencial} * R = 8800\,N * 0,12m = 1056N * m \quad (3.2.4)$$

Adoptando la misma condición de contorno que para la selección de la velocidad e la pretrituradora , imponer la condición de giro en 30 rpm (Ecuación 3.2.5):

$$\omega = \frac{2*\pi*30}{60} = 3,1416\,rad/s \quad (3.2.5)$$

Calculo la potencia requerida del motor como (Ecuación 3.2.6)

$$P = T * \omega = 1056\,N * m * 3,1416\,rad/s = 3317,5\,W = 3,31\,kW \quad (3.2.6)$$

Considerando un rendimiento global del reductor y el acoplamiento en un $\eta = 0.92$ y un factor de servicio de FS= 1,5, para absorber sobre cargas de impacto y atrapamientos por fluctuación de alimentación la potencia de diseño (P_D) se determina como (Ecuación 3.2.7)

$$P_D = \frac{3,317kW}{0.92} * 1,5 = 5.39\,kW \quad (3.2.7)$$

Comercialmente se colocaría un motor de 5.5 kW. Los motores eléctricos trifásicos comerciales estándar de 4 polos giran a una velocidad nominal aproximada de 1450 rpm.

Como el rotor de la pretrituradora tiene definido un giro de 30 rpm establecido como condición de contorno se requiere elegir un reductor con una relación de reducción de (Ecuación 3.2.8)

$$i = \frac{\eta_{motor}}{\eta_{salida}} = \frac{1450\,rpm}{30\,rpm} = 48,3 \quad (3.2.8)$$

Comercialmente se puede obtener un reductor de I=50, lo que tenemos que ver es si el valor de esta reducción comercial cumple con el torque solicitado

$$50 = \frac{\eta_{motor}}{\eta_{salida}} = \frac{1450\,rpm}{X\ rpm} \rightarrow X\,rpm = 29\,rpm$$

El torque a la salida del reductor con el motor preseleccionado queda finalmente en (Ecuación 3.2.9)

$$T = \frac{Pot*9550}{29\,rpm} * 0.92 = 1887,06\,N * m \qquad (3.2.9)$$

Y el torque calculado para esta máquina era de T=1056 N*m, por lo que se puede adoptar un motoreductor comercial sin inconvenientes.

Para la correcta verificación de un estado crítico de la máquina se realizó una simulación en SolidWorks al eje de triturador al al cual se le dieron las propiedades del material elegido , se le impusieron restricciones para los alojamientos de los rodamientos y se aplicó la torsión calculada en la ecuación (3.2.4) y se observan los resultados en la Figura 3.4.

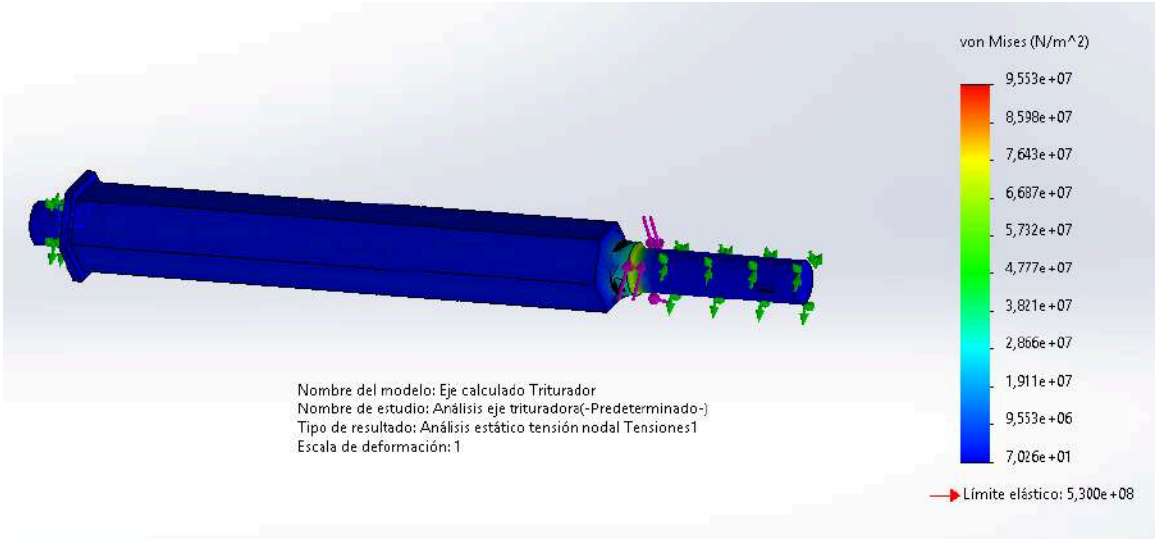


FIGURA 3.4 Resultado de análisis del eje de triturador

En los resultados se observa una tensión máxima de 95 MPa es en extremo de la rosca del eje, donde se ubicaría la tuerca de fijación para las cuchillas de trituración, de manera similar que se dio en el eje de pre trituración .Nuevamente este valor es menor al valor de límite elástico del material SAE 1045, con un valor de 530 MPa , arrojando un coeficiente de seguridad de 5.5, siendo más holgado que el eje de pre trituración , dentro de los valores razonables de diseño..

3.7.3 Memoria de cálculo para pileta de acondicionamiento

Con el propósito de dimensionar el sistema de accionamiento de la pileta de acondicionamiento y verificar la integridad mecánica de los ejes agitadores, se realiza el desarrollo analitico en función de la consideración de la resistencia hidrodinámica del fluido,

Para este método calcularemos el área proyectada por la paleta adoptando las siguientes dimensiones

$b(ancho) = 200\,mm$

$h\,(altura\,efectiva\,) = 80mm$

El área proyectada sale del producto de los dos parámetros obtenidos anteriormente dando un valor de 0.016 m^2

Para conocer la velocidad tangencial de rotación de la paleta , debe estar previamente definido las vueltas por minuto que deseo en mi proceso y con ello una velocidad angular .Una velocidad excesiva se generan turbulencias en la pileta desfavoreciendo el proceso de separación de densidad que debe efectuar la pileta de acondicionamiento , por lo que se busca una velocidad baja , se condice con el proyecto adoptar un giro de 30 rpm calculado , ya que de elegir un motor de cuatro polos que gire a 1450 rpm, ya tenemos calculado el reductor para el mismo. Con este criterio tomado calculamos la velocidad tangencial angular (Ecuación 3.3.1)

$$\omega = \frac{2*\pi*\eta}{60} = \frac{2*\pi*30\,rpm}{60} = 3,1416\,rad/s \qquad (3.3.1)$$

Para situarme en la peor situación para la velocidad tangencial (Ecuación 3.3.2) voy a usar el radio del eje más la altura efectiva de la paleta como se observa en la Figura 3.3.2 .

$$V = \omega * r = 3.1416\,rad/s * 0.23\,m = 0.722\,m/s \qquad (3.3.2)$$

La fuerza de arrastre hidrodinámica (Ecuación 3.3.3)ejercida por la solución alcalina acuosa con NaOH al 1% (adoptando una densidad de 1050 kg/m^3sobre la paleta con un coeficiente de arrastre de 1,2 . Se adoptó este valor ya que este valor para la geometría utilizada se estima entre 1,1 y 1,2. [15]

$$F_d = \frac{1}{2} * \rho * C_d * A * V^2 = \frac{1}{2} * 1050 \frac{kg}{m^3} * 1.2 * 0.722\, m/s = 7.2N \quad (3.3.3)$$

La fuerza total de arrastre se impone como el doble de este valor ya que por eje se encuentran dos paletas.

Lo siguiente es calcular el valor del torque que genera esta fuerza al eje (Ecuación 3.3.4):

$$T_h = F_d * r = 7.2\, N * 0,\ 23\, m = 1.656\, Nm \quad (3.3.4)$$

La potencia hidráulica durante el régimen resulta (Ecuación 3.3.5)

$$P_h = T_h * \omega = 1.656\, Nm * 3.1416\, rad/s = 5.2\, W \quad (3.3.5)$$

La potencia requerida para vencer el arrastre del fluido es despreciable respecto a las potencias calculadas en el proceso de reducción de tamaño por lo que se puede optar por la elección de un motor comercial de 0,37KW de cuatro polos con un reductor con coeficiente i=50 .

3.7.4. Memoria de cálculo del transportador de tornillo sinfín

A partir de las cotas constructivas del diseño y los parámetros del polímero:

- Diámetro exterior de hélice : 0.15 m
- Paso de la hélice (p) : 0.15 m
- Longitud total de canalón (L): 1.5 m
- Coeficiente de llenado adoptado tipo B (escamas de PET C_1) : 0.3 [13]
- Densidad aparente de las escamas de PET γ : 0.4 ton/m^3 [8]

Como velocidad de transporte vamos a indicarla a través del tipo de accionamiento , que será por un reductor con índice de reducción de 40.

La velocidad de vueltas del tornillo sinfín se obtiene mediante (Ecuación 3.4.1)

$$n = \frac{1450\, rpm}{40} = 36.25\, rpm \quad (3.4.1)$$

La capacidad teórica de transporte calculada mediante la expresión (Ecuación 3.4.2)

$$Q_{horiz} = \frac{\pi * D^2}{4} * p * n * 60 * C_1 * \gamma = \frac{\pi * (0.15m)^2}{4} * 0.15m * 36.25 * 60 * 0.3 * 0.4\, ton/m^3$$

$$Q_{horiz} = 691\, kg/h \quad (3.4.2)$$

También es menester calcular la corrección por la inclinación del transporte con un paso igual al diámetro por cada grado de inclinación disminuye un 2 % la capacidad , adoptando un $k_{inclinación}$=0.7 que corresponde a la capacidad para los 15º de inclinación (Ecuación 3.4.3)

$$.Q_{max} = Q_{horiz} * k_{inclinación} = 691\, kg/h * 0.7 = 484\, kg/h \quad (3.4.3)$$

Como el caudal logrado , aún con la pérdida de capacidad supera la idea del caudal que se impuso de 110 kg/h en el cálculo de la trituradora.

Otra perdida potencia que se pierde es por la altura que sube el transporte a lo largo de su trayectoria por lo tanto la potencia teórica es (Ecuación 3.4.4)[14]

$$N_o = \frac{Q * L * C_2}{270} + \frac{Q * H}{270} = \frac{0.484 * 1.5 * 2.5}{270} + \frac{0.484 * 0.388}{270} = 0.00741\, CV \quad (3.4.4)$$

Donde

$H = L * SEN(15^o)$

C_2= 2.25 , Coeficiente de resistencia [Apunte agro]

Si consideramos un rendimiento de transmisión del 85% la potencia se determina por (Ecuación 3.4.5)

$$N = \frac{N_o}{\eta} = \frac{0.00741\, CV}{0.85} = 0.00872\, CV \quad (3.4.5)$$

Por último se aplica un factor para que el transporte pueda iniciar a plena carga calculando finalmente (Ecuación 3.4.6)

$$P_{final} = N * 1.25 = 0.00872\, CV * 1.25 = 0.0109\, CV = 0.008\, kW$$

Para estandarizar la selección del motor se elije un motor eléctrico de 0.37kW con cuatro polos de 1450 rpm.

Por otro lado, no es menor atender atender la idea de la deflexión que debe sopòrtar el eje de transporte, siendo un eje que solo tiene apoyos en los extremos y la distancia entre los mismos es aproximadamente 1850 mm , por lo que se debe entender que no debe poseer una flecha de deformación superior a (Ecuación 3.4.7) [10][11]

$$\delta_{adm} = \frac{1850mm}{1000} = 1.850mm \quad (3.4.7)$$

Se impone como condición de diseño este valor y se analiza el valor mínimo del diámetro del eje, el mismo será de AISI 304 co (E=193 GPa y densidad de 8000 kg / m^3, soporta una carga distribuida total de : (Ecuación 3.4.8)

$$q_{eje} = \frac{\pi * d^2}{4} * \rho * g = 61637.6\, d^2\, N/m \quad (3.4.8)$$

g= 9.81 $\frac{m}{s^2}$

Considerando que las hélices soldadas dan un peso de 7.2 kg,(70.6 N) se plantea una carga por efecto de los componentes (Ecuación 3.4.9)

$$q_{comp} = \frac{70.6\ N}{1.85m} = 38,18\ N/m \quad (3.4.9)$$

El cálculo de la flecha máxima se rige por lo siguiente .(Ecuación 3.4.10 y 3.4.11)

$$\delta_{max} = \frac{5 * q_{total} * L^4}{384 * E * I_x} \quad (3.4.10)$$

$$I_x = \frac{\pi * d^4}{64} \quad (3.4.10)$$

Igualando la ecuación 3.4.10 a la ecuación 3.4.7 con L como incógnita

$$\frac{5 * q_{total} * L^4}{384 * E * \frac{\pi * d^4}{64}} = \frac{L}{1000}$$

Y despejamos el diámetro

$$d^4 = \frac{2500 * L^3}{3 * \pi * E} * (61637.6\, d^2\, N/m + 38,18\, N/m)$$

$d^4 = 8.7022 * 10^{-9} * (61637.6\, d^2\, N/m + 38,18\, N/m)$

Remplazando $d^2 = x$ y aplicando la propiedad distributiva y luego la resolvente obtenemos un valor de diámetro mínimo de 30.7 mm , por lo tanto se considera de un manera conservadora un diámetro de eje de 40 mm dando un favor de seguridad de 1.33.

3.7.5 Memoria de cálculo del lavado por fricción

En la industria del reciclado de termoplásticos rígidos (PET, HDPE, PP), la bibliografía técnica especializada[12][9] establece dos parámetros operativos fundamentales para el lavado por fricción e impacto:

1- Velocidad tangencial periférica en la punta de la paleta : Este valor debe ubicarse en el rango de 15 m/s a 25 m/s. Para escamas rígidas de PET contaminadas con etiquetas y restos de pegamento , el valor recomendado de diseño es de al menos 18 m/s. Esta velocidad garantiza la energía cinética requerida para el cizallamiento entre escamas

2- Aceleración centrífuga mínima (G): Para perforar la película de agua que retiene el barro , la tierra y la fibra de papel sobre la escama y evacuarla a través de la criba perforada , se requiere un campo centrífugo en el rango de 250 g a 300 g .

La velocidad angular que debería alcanzar la punta de la paleta con un radio de 0.115m y una velocidad impuesta de 18 m/s (Ecuación 3.5.1) nos impone el requerimiento de velocidad de giro del motor.(Ecuación 3.5.2)

$$\omega_{req} = \frac{V}{r} = 156.52\, rad/s \qquad (3.5.1)$$

$$n = \frac{60 * \omega_{req}}{2\pi} = 1494\, rpm \qquad (3.5.2)$$

Adoptamos un valor comercial de giro con referencia a un motor de 4 polos a 50 Hz de 1450 rpm, donde queda impuesto un valor de $\omega = 151.84\, rad/s$

Con las condiciones impuestas se calcula la velocidad tangencial (Ecuación 3.5.3) , la aceleración centrífuga lograda (Ecuación 3.5.4) y la misma expresada en términos de g.

$$v = \omega * r = 17.46\, m/s \qquad (3.5.3)$$

$$a_c = \omega^2 * r = 2651.3\, m/s^2 \quad (3.5.4)$$

$$G = \frac{2651.3\, m/s^2}{9.81\ m/s^2} = 270,3g \quad (3.5.5)$$

Este valor cae dentro de los parámetros recomendados por la bibliografía.

Una vez impuesta las condiciones de accionamiento , tengo que garantizar que el dimensionamiento del eje sea correcto como lo hice en el apartado (3.4.5) se calcula la deformación admisible como [10][11]

$$\delta_{adm} = \frac{1400mm}{1000} = 1.4mm \quad (3.5.6)$$

Se impone como condición de diseño este valor y se analiza el valor mínimo del diámetro del eje, el mismo será de AISI 304 co (E=193 GPa y densidad de 8000 kg / m^3, soporta una carga distribuida total de : (Ecuación 3.5.6)

$$q_{eje} = \frac{\pi * d^2}{4} * \rho * g = 61637.6\, d^2\, N/m \quad (3.5.7)$$

g= 9.81 $\frac{m}{s^2}$

Considerando que las hélices soldadas dan un peso de 13.7 kg,(70.6 N) se plantea una carga por efecto de los componentes (Ecuación 3.5.8)

$$q_{comp} = \frac{134.4}{1.4m} = 96\ N/m \quad (3.5.8)$$

El cálculo de la flecha máxima se rige por lo siguiente .(Ecuación 3.5.9 y 3.5.10)

$$\delta_{max} = \frac{5 * q_{total} * L^4}{384 * E * I_x} \quad (3.5.9)$$

$$I_x = \frac{\pi * d^4}{64} \quad (3.5.10)$$

Igualando la ecuación 3.5.6 a la ecuación 3.5.7 con L como incógnita

$$\frac{5*q_{total}*L^4}{384*E*\frac{\pi*d^4}{64}} = \frac{L}{1000}$$

Y despejamos el diámetro

$$d^4 = \frac{2500*L^3}{3*\pi*E} * (61637.6\, d^2\ N/m + 96\ N/m)$$

$$d^4 = 3.77137 * 10^{-9} * (61637.6\, d^2\ N/m + 96\ N/m)$$

Remplazando $d^2 = x$ y aplicando la propiedad distributiva y luego la resolvente obtenemos un valor de diámetro mínimo de 27 mm , este valor está por debajo que el eje se eligió previamente , por lo que estaría sobredimensionado en con un coeficiente de (Ecuación 3.5.11)

$$FS = \frac{40mm}{27mm} = 1.48 \quad (3.5.11)$$

Por último para dimensionar correctamente el motor vamos a analizar que se tiene una masa retenida instantánea de escamas y agua de 2.5kg y un coeficiente de rozamiento e impacto $K_d * \mu = 0.035$ [9] , mediante estas condiciones calcular la fuerza resistente tangencial a 2001 rpm (Ecuación 3.6.12) luego obtener el torque (Ecuación 3.6.13) y finalmente la potencia necesaria (Ecuación 3.6.14)

$$F_{res} = m_{ret} * \omega^2 * r * K_d * \mu = 231.98\, N \quad (3.6.12)$$

$$T_{res} = F_{res} * r = 26.68\, N * m \quad (3.6.13)$$

$$P_{secado} = T_{res} * \omega = 4175.95\, W = 4.17\, kW \quad (3.6.14)$$

Se estima un coeficiente de arranque con carga de 1.25 y un rendimiento de la transmisión de $\eta = 0.95$ dando una potencia total (Ecuación 3.6.16)

$$P_d = \frac{P_{secado}}{\eta} * FS = 5.49\, kW \quad (3.6.16)$$

3.7.6 Memoria de cálculo de etapa de secado

El objetivo de la secadora centrifugadora es reducir la humedad superficial retenida en las escamas de PET desde un 20-30% (procedente del lavado) hasta un valor final inferior al 1.5-2% requerido para el almacenamiento o posterior extrusión.

Para vencer la tensión superficial del agua que forma una película adherida sobre la escama de plástico, la bibliografía técnica especializada [9] establece que el centrifugado mecánico requiere una aceleración centrífuga en el rango de **400g a 500 g (**$a_c = 3920\ m/s^2\ a\ 4905\ m/s^2$).

Para un radio efectivo de paletas en el rotor de 0.115 m , busco determinar la velocidad angular adoptando una aceleración centrífuga de $4905\ m/s^2$ (Ecuación 3.6.1)

$$a_c = \omega^2 * r \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{a_c}{r}} = 206,52\ rad/s\ * \frac{60}{2*\pi} = 1972\ rpm \quad (3.6.1)$$

Adoptamos una velocidad de régimen de giro a 2000 rpm , esta condición se alcanzará con un motor de 4 polos que gira a 1450 rpm y un variador de frecuencia , que trabaje en 69 Hz dando las siguientes vueltas (Ecuación 3.6.2)

$$n = 1450\ rpm\ * \frac{(69Hz)}{(50Hz)} = 2001\ rpm \quad (3.6.2)$$

Con este criterio obtengo la velocidad tangencial, angular y aceleración centrífuga de la paleta (Ecuación 3.6.3 y 3.6.4)

$$\omega = \frac{2*\pi*n}{60} = 209.54\ rad/s \quad (3.6.3)$$

$$v = \omega * r = 209.54\ rad/s\ * 0.15\ m = 24.10\ m/s \quad (3.6.4)$$

$$a_c = \omega^2 * r = 5049.3\ m/s^2 \quad (3.6.1)$$

Este valor expresados en términos de fuerza g es (Ecuación 3.6.5)

$$G = \frac{5049.3\ m/s^2}{9.81\ m/s^2} = 514,7g$$

Este valor se encuentra algo por encima de lo estipulado en la referencia bibliográfica , pero asumiendo un factor de servicio de η=0.9 , la fuerza g rondaría los 463.23 g.

Una vez impuesta las condiciones de accionamiento , tengo que garantizar que el dimensionamiento del eje sea correcto como lo hice en el apartado (3.4.5) se calcula la deformación admisible como []

$$\delta_{adm} = \frac{1400mm}{1000} = 1.4mm \quad (3.6.6)$$

Se impone como condición de diseño este valor y se analiza el valor mínimo del diámetro del eje, el mismo será de AISI 304 co (E=193 GPa y densidad de 8000 kg / m^3, soporta una carga distribuida total de : (Ecuación 3.4.8)

$$q_{eje} = \frac{\pi * d^2}{4} * \rho * g = 61637.6\, d^2\, N/m \quad (3.6.7)$$

g= 9.81 $\frac{m}{s^2}$

Considerando que las hélices soldadas dan un peso de 13.7 kg,(70.6 N) se plantea una carga por efecto de los componentes (Ecuación 3.4.9)

$$q_{comp} = \frac{134.4}{1.4m} = 96\, N/m \quad (3.6.8)$$

El cálculo de la flecha máxima se rige por lo siguiente .(Ecuación 3.4.9 y 3.4.10)

$$\delta_{max} = \frac{5 * q_{total} * L^4}{384 * E * I_x} \quad (3.6.9)$$

$$I_x = \frac{\pi * d^4}{64} \quad (3.6.11)$$

Igualando la ecuación 3.6.9 a la ecuación 3.6.6 con L como incógnita

$$\frac{5 * q_{total} * L^4}{384 * E * \frac{\pi * d^4}{64}} = \frac{L}{1000}$$

Y despejamos el diámetro

$$d^4 = \frac{2500 * L^3}{3 * \pi * E} * (61637.6\, d^2\, N/m + 96\ N/m)$$

$$d^4 = 3.77137 * 10^{-9} * (61637.6\, d^2\, N/m + 96\ N/m)$$

Remplazando $d^2 = x$ y aplicando la propiedad distributiva y luego la resolvente obtenemos un valor de diámetro mínimo de 27 mm , este valor esta por debajo que el eje se eligió previamente , por lo que estaría sobredimensionado en con un coeficiente de (Ecuación 3.6.12)

$$FS = \frac{40mm}{27mm} = 1.48 \quad (3.6.12)$$

Por otro lado, para dimensionar correctamente el motor vamos a analizar que se tiene una masa de escamas retenidas en régimen continuo de 2kg y un coeficiente de rozamiento e impacto $K_d * \mu = 0.025$ [9] , mediante estas condiciones calcular la fuerza resistente tangencial a 2001 rpm (Ecuación 3.6.13) luego obtener el torque (Ecuación 3.6.14) y finalmente la potencia necesaria (Ecuación 3.6.15)

$$F_{res} = m_{ret} * \omega^2 * r * K_d * \mu = 252.4\ N \quad (3.6.13)$$

$$T_{res} = F_{res} * r = 29.03\ N * m \quad (3.6.14)$$

$$P_{secado} = T_{res} * \omega = 6083\ W = 6.08\ kW \quad (3.6.15)$$

Se estima un coeficiente de arranque con carga de 1.25 y un rendimiento de la transmisión de $\eta = 0.95$ dando una potencia total (Ecuación 3.6.16)

$$P_d = \frac{P_{secado}}{\eta} * FS = 8\ kW \quad (3.6.16)$$

Por último , se ejecutó un estudio de frecuencias para determinar la primera frecuencia natural de flexión del rotor del sinfín de secado.

- **Primera Frecuencia Natural (f_1):** 96,455 Hz (5787,3 rpm).
- **Frecuencia de Operación Nominal (fop):** 33,35 Hz (2001 rpm).

La primera frecuencia natural del sistema se encuentra un **189% por encima** de la velocidad máxima de trabajo *($f_1 \approx 2{,}89 \cdot fop$)*. Al superar ampliamente el margen de seguridad mínimo recomendado *($f_1 \geq 1{,}2 \cdot fop$)*, queda descartado cualquier riesgo de entrar en resonancia armónica durante la operación, garantizando la estabilidad dinámica del equipo. Los resultados se reflejan en la Figura 3.7 (página siguiente)

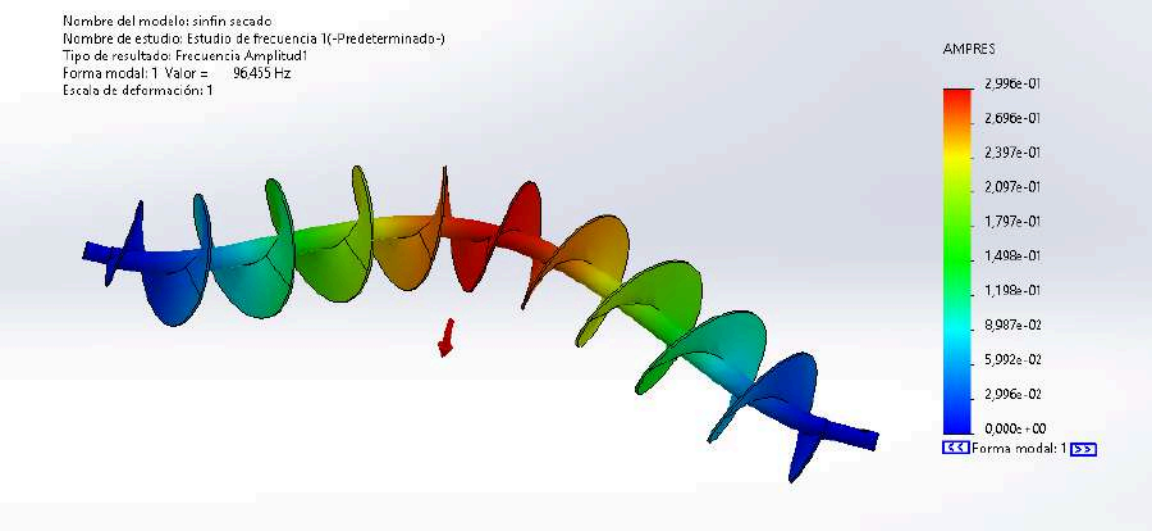


FIGURA 3.7 Resultado de simulación de frecuencia

Capítulo 4: Mantenimiento

4.1 Mantenibilidad pretrituradora

La pretrituradora fue diseñada considerando criterios de mantenibilidad con el objetivo de reducir los tiempos de intervención y facilitar las tareas de inspección, mantenimiento preventivo y reemplazo de componentes sometidos a desgaste.

La carcasa posee paneles desmontables que permiten acceder a los elementos internos sin necesidad de desarmar completamente la estructura del equipo. Asimismo, el sistema de fijación adoptado para los ejes posibilita el desmontaje del conjunto de cuchillas y espaciadores mediante la extracción de la tuerca de fijación, simplificando las operaciones de mantenimiento y el reemplazo de piezas desgastadas, esta predisposición al desarmado completo se ilustra en la Figura 4.1. (página siguiente)

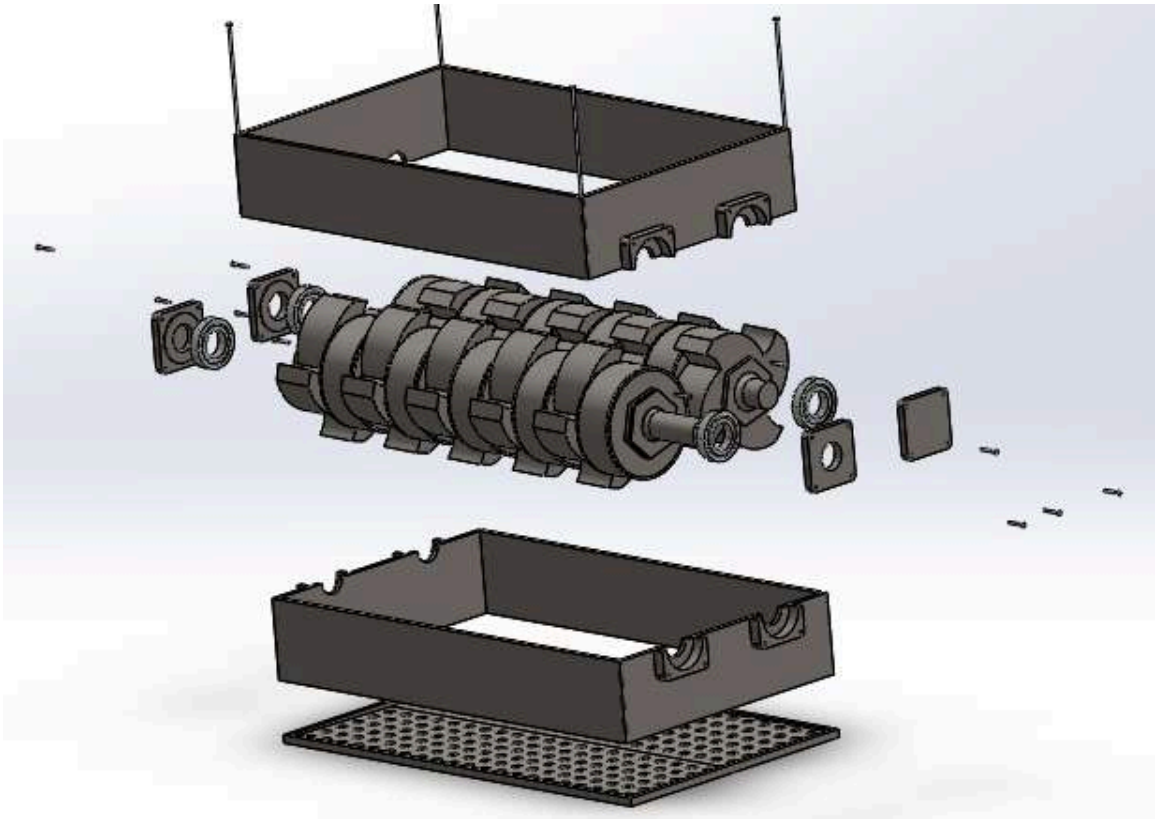


FIGURA 4.1 Desmontabilidad de paquete de pre triturado

Las cuchillas constituyen el principal elemento sometido a desgaste durante el proceso de pre trituración las mismas tienen un mecanismo de fijación mediante un tope mecánico en el eje y una tuerca de fijación al final, para agilizar su desmontaje y eventual cambio ilustrado en la Figura 4.2. Se recomienda realizar inspecciones visuales periódicas para verificar su estado, detectando pérdida de filo, deformaciones o fisuras que puedan afectar el desempeño del equipo. En caso de ser necesario, las cuchillas pueden reemplazarse individualmente sin modificar el resto del conjunto. (página siguiente)

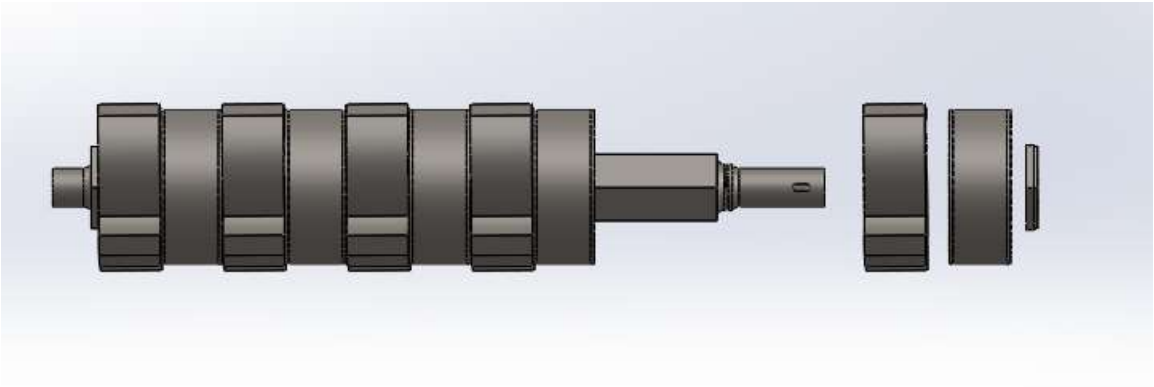


FIGURA 4.2 Desmontabilidad de las cuchillas

Los rodamientos deberán inspeccionarse periódicamente para verificar la ausencia de ruidos anormales, aumento de temperatura o juego excesivo. La lubricación deberá realizarse de acuerdo con las especificaciones del fabricante del rodamiento seleccionado, utilizando la grasa recomendada y respetando los intervalos de mantenimiento establecidos.

Durante las tareas de mantenimiento también se recomienda verificar el estado de la criba, comprobando la ausencia de deformaciones, fisuras u obstrucciones que puedan alterar la granulometría del material obtenido. Asimismo, deberá controlarse el correcto apriete de la tornillería y el estado general de los componentes estructurales del equipo.

El procedimiento general de desmontaje inicia cuando la carcasa se extrae desajustar los 4 tornillos de fijación de la caja de pre trituración, y se abre la oportunidad de desarmar los ejes y observar el estado de los asientos.

4.2 Mantenibilidad trituradora

La trituradora fue diseñada con el mismo propósito que la trituradora , facilitar la operación de desarme y revisión de componentes críticos.

La carcasa dispone de paneles desmontables que permiten acceder al interior del equipo sin necesidad de desmontar completamente la estructura. Del mismo modo, el

sistema de fijación adoptado para los ejes posibilita la extracción del conjunto de cuchillas, separadores y criba, facilitando las tareas de inspección, limpieza y sustitución de los componentes sometidos a desgaste, se incorpora una figura ilustrativa de su completo desmontaje en la Figura 4.3

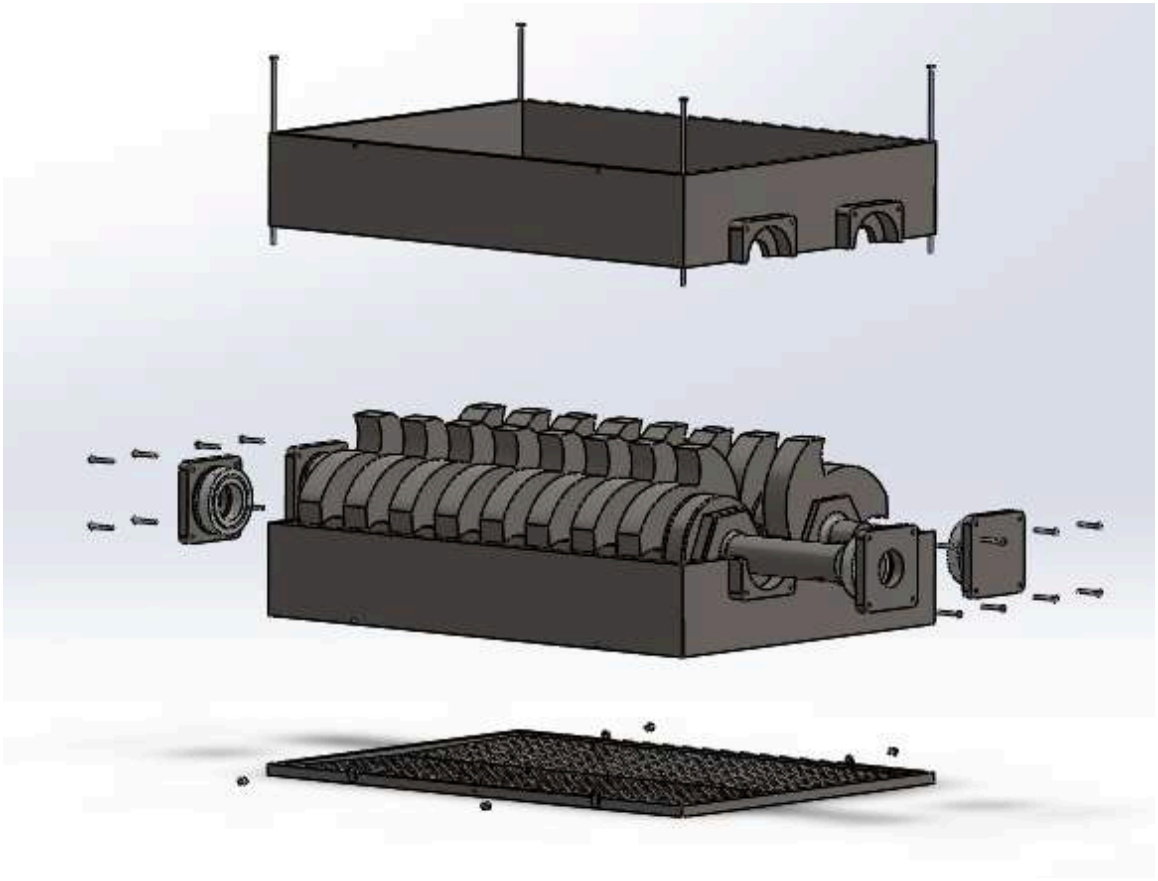


FIGURA 4.3 Desarme completo del paquete de trituración

Las cuchillas representan el principal elemento de desgaste del equipo debido al contacto permanente con el material triturado, las mismas tienen el mismo mecanismo de fijación que la pretrituradora. Se recomienda efectuar inspecciones visuales periódicas para verificar el estado del filo, la presencia de deformaciones, fisuras o desgastes irregulares que puedan afectar la capacidad de corte o modificar la granulometría obtenida. Cuando el desgaste supere los límites admisibles, las cuchillas deberán reemplazarse individualmente sin necesidad de intervenir sobre el resto del conjunto.

Los rodamientos deberán inspeccionarse periódicamente verificando la ausencia de ruidos anormales, incrementos de temperatura y juego excesivo. La lubricación deberá realizarse respetando las especificaciones del fabricante, utilizando el lubricante recomendado y los intervalos de mantenimiento establecidos.

La criba constituye un elemento fundamental para garantizar la granulometría de salida del material. La diferencia principal que se encuentra con la pretrituradora es que mientras en la misma , la criba se encuentra apoyada sobre la unión entre ambos pasos , la criba de triturado se encuentra atornillada en la sección final del paquete de trituración

Deberá verificarse periódicamente, el estado de los ejes, las uniones estructurales y los soportes de los rodamientos, con el propósito de detectar de manera temprana posibles aflojamientos o anomalías derivadas de las solicitaciones dinámicas propias del proceso de trituración.

El procedimiento general de desmontaje consiste en retirar los paneles laterales de la carcasa, desmontar el sistema de transmisión, extraer el conjunto eje–cuchillas y desmontar posteriormente la criba para acceder a los componentes internos. Una vez efectuadas las tareas de mantenimiento o reemplazo de piezas, el montaje deberá realizarse siguiendo el procedimiento inverso, verificando el correcto posicionamiento de todos los componentes, el apriete de los elementos de fijación y el libre giro de los ejes antes de la puesta en servicio del equipo.

4.3 Mantenibilidad de la pileta de enjuague

La pileta de enjuague fue diseñada con el objetivo de reducir los tiempos de mantenimiento y permitir un conjunto de ejes completamente desmontable, minimizando al mismo tiempo la posibilidad de pérdidas de líquido durante el funcionamiento. Para ello, se desarrolló un sistema de portarodamientos extraíbles, fijados a la pared metálica de la pileta mediante una junta de estanqueidad ubicada entre el kit portarodamiento y la chapa de la pileta.

El procedimiento de desmontaje consiste, en primer lugar, en retirar las paletas montadas sobre los ejes. Posteriormente, se desacopla el eje del sistema de

transmisión. Una vez que el eje queda completamente libre de elementos de sujeción, se desmontan los portarodamientos, permitiendo la extracción lateral de los ejes sin necesidad de intervenir sobre la estructura principal de la pileta. Este diseño facilita las tareas de inspección, limpieza y reemplazo de componentes, reduciendo los tiempos de intervención y simplificando las operaciones de mantenimiento.

A continuación se ilustra el despiece del eje la pileta de enjuague en la Figura 3.5 y el despiece de las paletas del eje de movimiento en la Figura 3.6. (página siguiente)

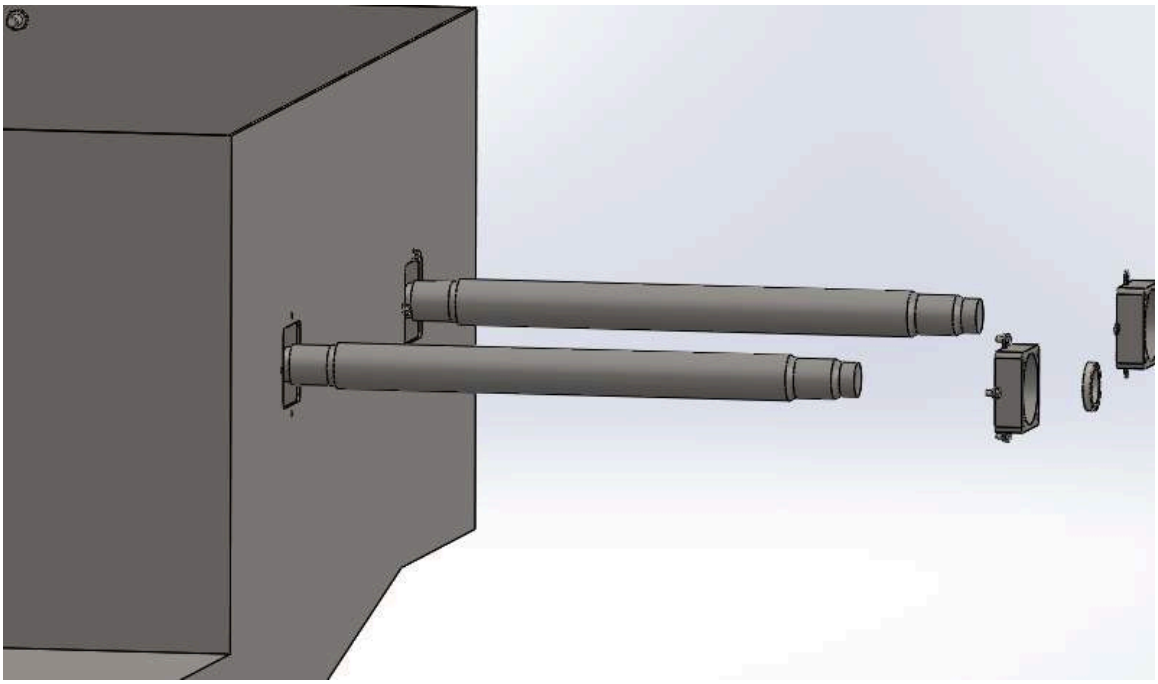


FIGURA 3.5. Retiro lateral de ejes

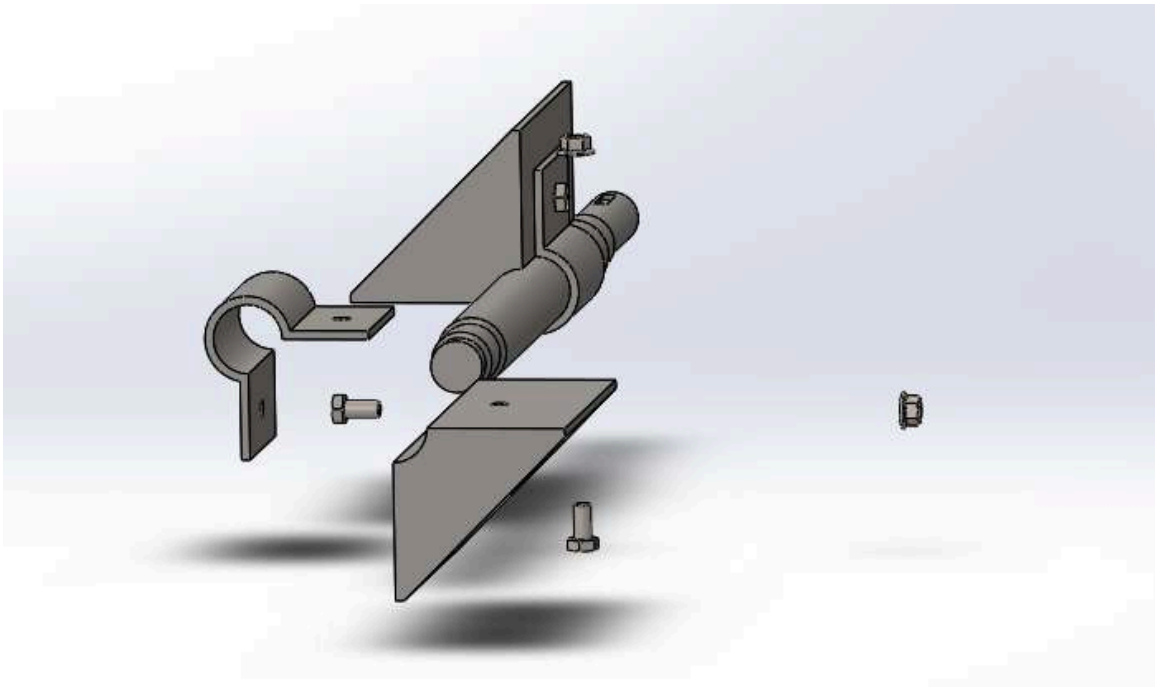


FIGURA 3.6. Retiro de paleta de ejes

El tanque posee una configuración superior abierta que permite un fácil acceso visual y mecánico al interior del equipo sin necesidad de desmontar la estructura principal. Asimismo, la utilización de portarodamientos bridados montados exteriormente en los laterales de la carcasa evita el contacto directo de los rodamientos con la solución de hidróxido de sodio y posibilita el desmontaje independiente de cada eje agitador para tareas de reparación o reemplazo.

Las paletas agitadoras representan el principal elemento mecánico en contacto directo con la masa de plástico triturado y el baño líquido, por lo que se recomienda efectuar inspecciones visuales periódicas para verificar la ausencia de deformaciones, corrosión o desgaste por rozamiento con las escamas.

Dado que la pileta opera con una solución acuosa de NaOH al 1 %, resulta fundamental verificar periódicamente el estado de las juntas planas de goma NBR (Acrilonitrilo Butadieno) dispuestas entre los portarodamientos y las paredes metálicas, detectando de manera temprana posibles fugas de fluido o degradación del material elastomérico. Se adjunta un anexo de planos de juntas que se recomienda implementar. También se posee una junta en la criba de depósito que se recomienda cambiar en caso de pérdidas .

En plantas de reciclado continuo de PET con el volumen de operación que trabaja este proceso se recomienda

Se realiza habitualmente cada 15 a 30 días de operación continua (o entre 150 y 200 toneladas de plástico procesadas),un recambio completo de la solución de limpieza ya que en ese momento la solución acumula una carga crítica de sólidos disueltos, tensoactivos agotados y viscosidad por etiquetas o pegamento desintegrado.

Diariamente se pierde solución por el arrastre del material húmedo que sale hacia el sinfín y por la purga de lodos. Se debe realizar un purgado inferior diario de sedimentos (lodos) y reposición de agua NaOH para mantener el nivel del tanque y la concentración en el 1% nominal (pH entre 12 y 13).El volumen útil de la pileta es de 60.2 Lts por lo que se requiere un sistema de recirculación adecuado a la cantidad recomendada, en este proyecto no se analizó el sistema de bombeo y recirculado del proceso de enjuague.

4.4 Mantenibilidad del sistema de transporte

La carcasa tubular posee un semitubo superior desmontable en toda su longitud, lo que permite inspeccionar la totalidad de la hélice helicoidal y acceder al interior del tubo sin necesidad de desacoplar el transporte de la pileta de enjuague. La integración de una malla perforada en el semitubo inferior exige un mantenimiento enfocado en la limpieza para preservar su capacidad de escurrimiento.

La hélice helicoidal representa el principal componente expuesto a abrasión constante por el desplazamiento del plástico húmedo. Se deben realizar inspecciones periódicas para evaluar el desgaste en el borde exterior del helicoide y verificar que la luz radial respecto al semi tubo perforado se mantenga dentro de los márgenes admisibles para evitar el atrapamiento de escamas.

En la sección de la transmisión, el acoplamiento elástico de garras dispuesto entre el motor reductor y el eje del sinfín facilita el desacople rápido del motor sin alterar el centrado del árbol principal. Se deberá inspeccionar periódicamente el estado del elemento elastomérico del acople para verificar que no presente agrietamiento o juego excesivo por la fatiga del arranque.

El procedimiento general de desmontaje consiste en retirar los elementos de fijación del semitubo superior, desacoplar el conjunto motor reductor mediante la extracción de la tornillería en el extremo porta motor, desmontar la tapa de rodamiento y retirar longitudinalmente el eje con la sección de sinfín. El montaje se ejecuta siguiendo el orden inverso, verificando el centrado del eje, la alineación del acoplamiento elástico y el sellado estanque entre los dos semitubos antes de reiniciar la operación.

Se muestra a continuación un despiece del sistema de transporte en la Figura 3.7

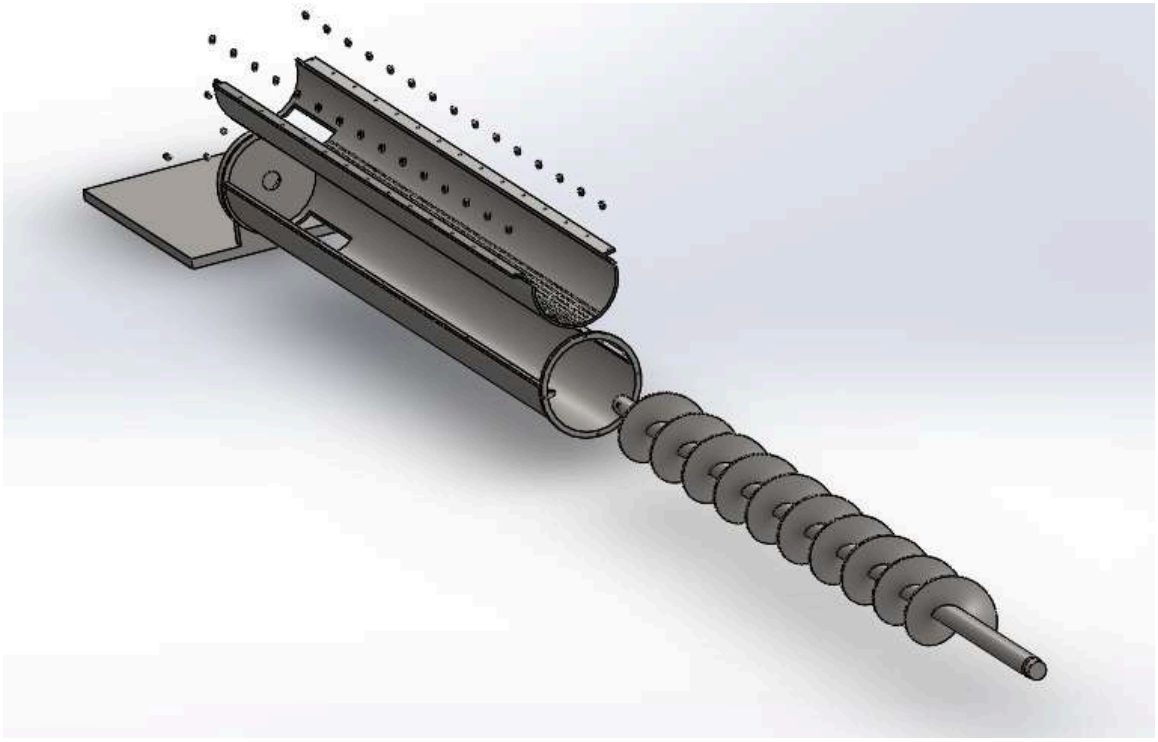


FIGURA 3.7 Desarme de sistema de transporte

4.5 Mantenibilidad del lavado por fricción

La lavadora por fricción fue concebida considerando el elevado desgaste por erosión que genera el lavado intensivo de plásticos a alta velocidad, adoptando criterios de diseño modular que permitan acelerar las intervenciones preventivas y correctivas.

La carcasa cilíndrica exterior incorpora cubiertas y paneles desmontables que brindan acceso longitudinal directo a la criba perforada interna y al rotor de lavado. Esta configuración permite realizar tareas de inspección, desobstrucción y limpieza de los orificios de la criba sin requerir el desmontaje completo de la máquina ni la desconexión de las tolvas de entrada y salida.

Las paletas helicoidales del rotor constituyen los elementos sometidos al mayor nivel de desgaste dinámico por impacto y fricción continua con las escamas de PET. Se recomienda llevar a cabo inspecciones periódicas para detectar desgastes en las caras de choque o deformaciones. Su diseño sobre el eje central permite reparar o reemplazar las secciones de paletas individualmente.

Los rodamientos de alta velocidad alojados en las tapas laterales deberán contar con un monitoreo de vibraciones y temperatura, efectuando su lubricación mediante las graseras externas según las horas de marcha indicadas por el fabricante.

El procedimiento general de desmontaje consiste en retirar los paneles superiores de la carcasa, desmontar la criba perforada dividida en tramos, desacoplar el motor eléctrico de la consola y extraer el rotor de lavado apoyado en las tapas bancada. El montaje se realiza siguiendo la secuencia inversa, asegurando el correcto centrado del rotor respecto a la criba para mantener el huelgo radial constante y verificando el balanceo dinámico antes del arranque.

A continuación se muestra una imagen del despiece de la lavadora en la Figura 3.8.

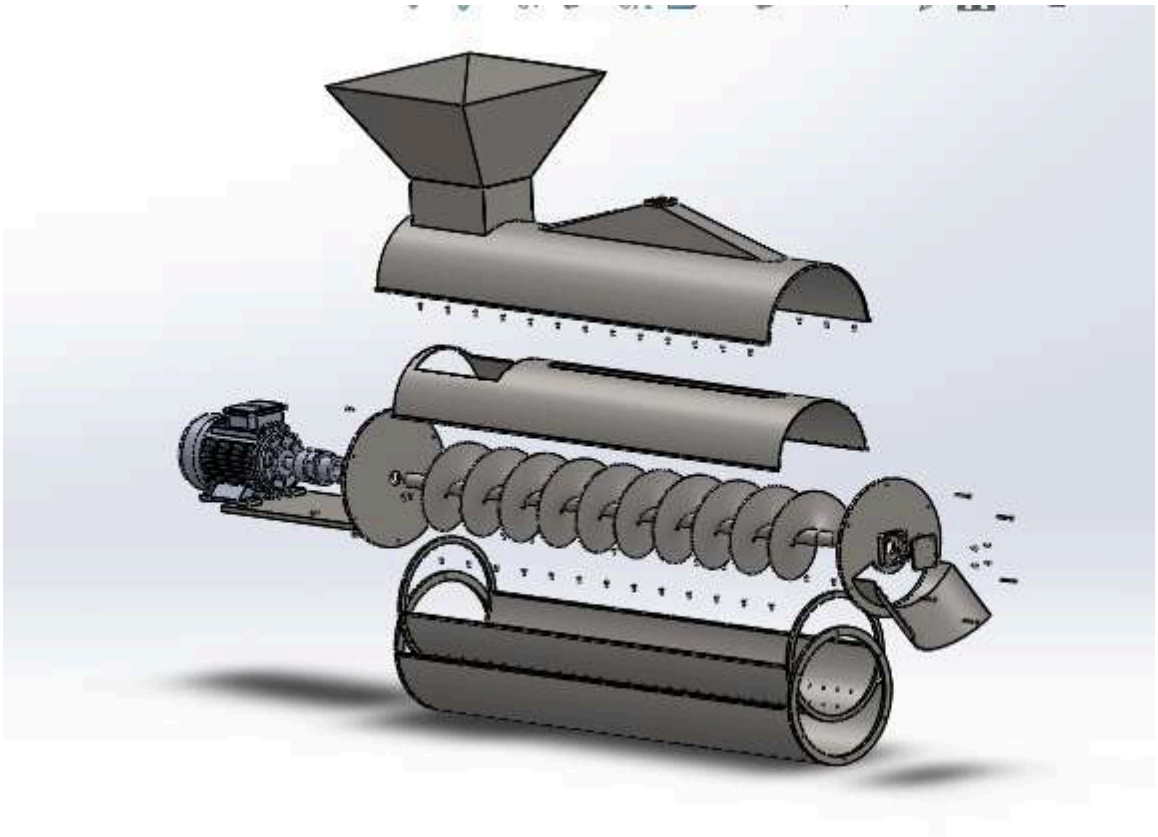


FIGURA .8 Desarmado de sistema de lavado

4.6 Mantenibilidad del secado

La secadora centrífuga fue diseñada bajo criterios de mantenibilidad orientados a resolver los requerimientos de inspección periódica asociados a equipos de alta rotación, facilitando el acceso a los componentes de deshidratación y simplificando el reemplazo de elementos de desgaste.

Al compartir una filosofía constructiva similar a la lavadora por fricción, la secadora posee una carcasa cilíndrica con tapas desmontables que permiten acceder

directamente a la criba perforada seca y al rotor. Esto resulta indispensable para remover el polvo fino o trozos de film acumulados por la acción centrífuga sobre la superficie interna de la malla.

El rotor con paletas helicoidales está sometido a solicitaciones dinámicas continuas con la masa de plástico húmedo. Durante las tareas de mantenimiento preventivo, se deben inspeccionar visualmente las paletas para comprobar la ausencia de micro fisuras por fatiga y verificar la fijación de la tornillería estructural sobre la consola soporte.

Los rodamientos de los extremos del rotor requieren un control estricto de lubricación y control de juego radial.

El procedimiento general de desmontaje consiste en retirar la cubierta exterior desmontable de la carcasa, retirar los tramos de la criba cilíndrica, desacoplar el motor eléctrico de la consola y extraer el eje del rotor junto con sus soportes bridados. El montaje se realiza en sentido inverso.

A continuación se ilustra el desarme del equipo de secado en la Figura 4.9. (página siguiente)

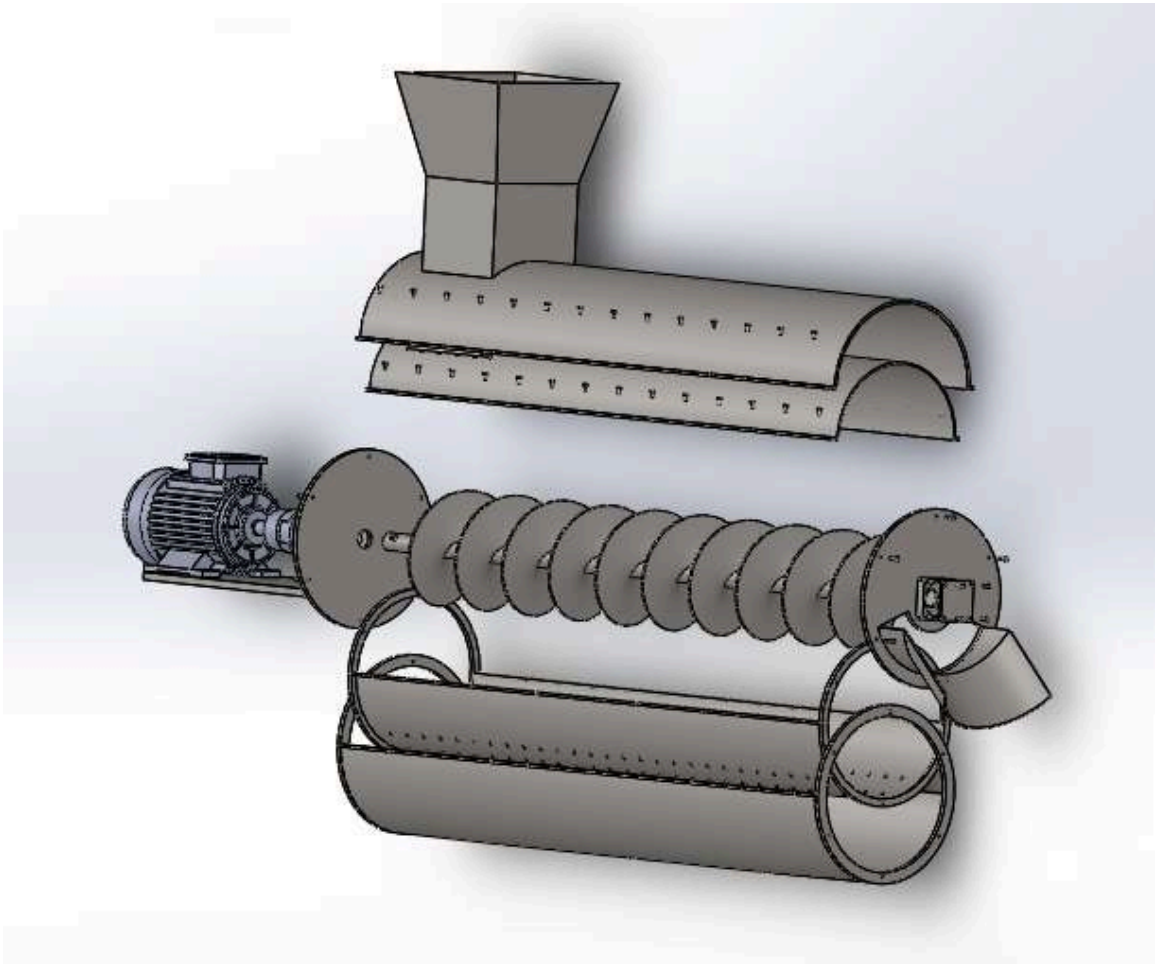


FIGURA 4.9 Desarmado del equipo de secado.

4.7 Plan de mantenimiento preventivo consolidado

A continuación se presenta la tabla resumen con las actividades, componentes y frecuencias recomendadas para cada una de las máquinas que integran la línea de reciclado:

Equipo	Componente	Actividad	Frecuencia
Pretrituradora	Cuchillas	Inspección visual del desgaste y fisuras	Cada 250 h
	Rodamientos	Verificar temperatura, ruido y juego	Cada 250 h
	Rodamientos	Relubricación	Según fabricante (aprox. cada 1.000 h)
	Criba	Inspección y limpieza	Cada 250 h
	Ejes	Inspección visual	Cada 1.000 h
Trituradora	Cuchillas	Inspección visual del desgaste, filo y fisuras	Cada 250 h
	Rodamientos	Verificar temperatura, ruido y juego	Cada 250 h
	Rodamientos	Relubricación	Según fabricante (aprox. cada 1.000 h)
	Criba	Inspección, limpieza y verificación de perforaciones	Cada 250 h
	Ejes	Inspección visual	Cada 1.000 h
Pileta de enjuague	Paletas agitadoras	Inspección visual de alineación, deformación y corrosión	Cada 250 h
	Juntas	Verificación de estanqueidad y ausencia de fugas	Cada 250 h
	Rodamientos exteriores	Inspección de juego, ruido y estado de carcasas bridadas	Cada 250 h
	Rodamientos exteriores	Relubricación con grasa resistente a ambientes húmedos	Cada 1.000 h
	Sustancia alcalina	Cambio del líquido para llevar a tratamientos y reutilizar	Cada 30 días
	Motorreductores	Control de nivel de aceite y ruidos en la transmisión	Cada 500 h
	Criba de drenaje	Limpieza de perforaciones y remoción de finos acumulados	Cada 250 h

Sistema de transporte	Hélice helicoidal	Inspección visual de desgaste en bordes y luz radial	Cada 250 h
	Malla perforada	Limpieza con agua a presión e inspección de obstrucciones	Cada 250 h
	Acoplamiento elástico	Control visual de desgaste en el elemento elastomérico	Cada 500 h
	Rodamientos y retenes	Verificar temperatura, juego y estado de la estanqueidad	Cada 250 h
	Motorreductor	Verificación de nivel de aceite y control de temperatura	Cada 1.000 h
Lavado por fricción	Paletas helicoidales	Inspección visual de desgaste por impacto y erosión	Cada 250 h
	Criba perforada	Inspección, desobstrucción y limpieza de orificios	Cada 250 h
	Rodamientos de alta velocidad	Monitoreo de temperatura, ruidos y nivel de vibraciones	Cada 250 h
	Rodamientos de alta velocidad	Relubricación por graseras externas con lubricante sintético	Según fabricante (aprox. cada 500 h)
	Juntas	Inspección de estado para evitar paso de agua a rodamientos	Cada 250 h
Secadora centrífuga	Paletas del rotor	Inspección visual de desgaste, fisuras por fatiga y fijación	Cada 250 h
	Criba cilíndrica	Inspección y limpieza de incrustaciones secas o pelusas	Cada 250 h
	Rodamientos de apoyo	Monitoreo de vibraciones, temperatura y estado de retenes	Cada 250 h
	Rodamientos de apoyo	Relubricación periódica	Según fabricante (aprox. cada 500 h)
	Consola porta motor	Verificación de apriete de tornillería y ausencia de fisuras	Cada 1.000 h

Capítulo 5 : Impacto medioambiental

5.1 Cuantificación del procesamiento y contribución a la economía circular

El modelo de economía circular busca desvincular el desarrollo económico del consumo de recursos finitos, promoviendo la reincorporación continua de materiales reciclados a las cadenas de valor productivas. En este marco, la evaluación del impacto ambiental de la línea proyectada se fundamenta en la capacidad de mitigación directa que representa el procesamiento de plásticos post consumo en lugar de su disposición final en rellenos sanitarios o su vertido en el entorno natural.

Para evaluar la magnitud de la solución propuesta, se determina la masa total anual de plástico reciclado por la planta operando bajo el régimen de diseño establecido en el Capítulo 1.

Considerando una capacidad nominal de procesamiento de 110 kg/h, una jornada laboral de 8 h/día y un régimen operativo anual basado en 245 días hábiles, la masa anual procesada de PET (M_a) se calcula mediante la Ecuación (5.1)

$$M_a = Q * t_{diario} * N_{días} \quad (5.1)$$

Donde:

$Q = 110\ kg/h\ es\ la\ capacidad\ de\ la\ línea$
$t_{diario} = 8\ h/dia\ es\ la\ duración\ de\ la\ jornada\ laboral$
$N_{días} = 245\ días/\ año\ representa\ los\ días\ laborales$

Sustituyendo queda

$$M_a = 215,\ 6\ t\ /\ año$$

Físicamente, este valor representa la recuperación anual de más de **215,6 toneladas de residuos plásticos** que dejan de presionar sobre la infraestructura de disposición final de la región de Rosario.

Tomando como peso promedio de una botella de PET postconsumo de 1,5 L un valor aproximado de 30 g, la cantidad de envases recuperados es de

$$N_{envases} = \frac{M_a}{m_{envase}} = \frac{215600\ kg/año}{0{,}030\ kg/envase} = 7186667\ envases\ por\ año$$

El procesamiento de aproximadamente **7,18 millones de botellas anuales** por una sola linea de escala PyME demuestra la efectividad en los sistemas modulares integrados para descongestionar los flujos de residuos urbanos.

5.2 Incidencia sobre la generación y contaminación de plásticos en la ciudad de Rosario

Para contextualizar el porcentaje de mitigación que aporta la línea de reciclado, se analiza la tasa de generación de residuos sólidos urbanos (RSU) en la ciudad de Rosario

Con una población estimada de 1.000.000 de habitantes y una generación promedio per cápita de 1 kg/habitante por dia de RSU, la ciudad genera aproximadamente 1.000 toneladas diarias de residuos. De acuerdo con estudios de caracterización física de RSU en la región, la fracción de plásticos representa en promedio el 12%de la masa total de RSU, de la cual la fracción de envases rígidos de PET y poliolefinas (HDPE/PP) constituye cerca del 25 % de dicho componente plástico.

Por lo tanto, la masa diaria de PET y envases reciclables generada en Rosario

$$M_{PET\ ,Rosario} = 1000\ t/dia\ *\ 0,12\ *\ 0,25 = 30\ t/dia$$

En un año estas implican 10950 toneladas por año , a partir de esta aproximación la tasa de reciclado que ofrece la línea de producción se determina mediante

$$P_{reciclado} = \left(\frac{M_a}{M_{PET\ ,Rosario}}\right) * 100$$

Este cálculo nos da una razón del 1,97% de PET reciclado por una única linea de 110 kg/h operando durante un turno de 8 horas .

5.3 Mitigación de la huella de carbono y prevención de microplásticos

5.3.1 Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

La fabricación de PET virgen a partir de precursores petroquímicos (etilenglicol y ácido tereftálico) implica una huella de carbono aproximada de 2.15 Kg CO_2 equiv/kg de PET. En contraposición, el proceso de reciclado mecánico integral (que abarca pre triturado, trituración, lavado, separación y secado) consume aproximadamente 0.45 Kg CO_2 equiv/kg de PET.

La reducción de emisiones netas por kilogramo de material recuperado (ΔE) es de 1,70 Kg CO_2 equiv/kg de PET.. El ahorro de emisiones anuales de la planta se calcula mediante la Ecuación (5.4):

$$Emisiones_{evitadas} = Ma * \Delta E = 366,5\ t\ CO_2\ equiv/año. \quad (5.4)$$

5.3.2 Comparación de magnitud y equivalencia operativa

Para poner en perspectiva técnica el impacto de evitar la emisión de $366,5\ t\ CO_2\ equiv/año$, se compara este resultado con la huella de carbono generada por el parque automotor de pasajeros convencional.

Considerando que un automóvil mediano naftero emite en promedio 150 g CO_2/km y recorre aproximadamente 15000 km al año en régimen urbano/interurbano, la emisión anual de un vehículo resulta:

$$E_{Auto} = 0,150kg\ CO_2/km * 150000 = 2,\ 25\ t\ CO_2\ /año$$

El número equivalente de huella de carbono que estaríamos evitando la cantidad de autos sería

$$N_{Autos} = \frac{366,5\ t\ CO_2/año}{2,\ 25\ t\ CO_2\ /año} = 163\ automóviles$$

La operación de esta única línea de reciclado de 110 kg/h en un solo turno diario logra un ahorro de emisiones equivalente a **retirar de circulación 163 automóviles de pasajeros por año**.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

El desarrollo del presente proyecto final permitió realizar el diseño conceptual y la ingeniería de detalle de una línea continua destinada al reciclado mecánico de envases de PET postconsumo. A lo largo del trabajo se definieron los criterios de diseño de cada uno de los equipos, procurando que funcionen como un sistema integrado y no como una simple sucesión de máquinas independientes. La línea diseñada comprende las etapas de pretriturado, trituración, separación por densidad en la pileta de enjuague, transporte mediante tornillo helicoidal con desaguado, lavado por fricción y secado centrífugo, conformando un proceso continuo que reduce las manipulaciones intermedias del material y simplifica la operación.

Durante el diseño también se priorizó la calidad del material obtenido. Para ello se seleccionó una granulometría adecuada para las escamas de PET y se adoptaron soluciones constructivas orientadas a disminuir la generación de partículas finas durante las operaciones de trituración. A su vez, la combinación de la separación por densidad y las etapas posteriores de lavado permite remover una parte importante de los contaminantes presentes en el material antes de su reutilización.

Otro aspecto considerado desde las primeras etapas del proyecto fue la mantenibilidad de los equipos. La utilización de componentes comerciales normalizados, el diseño de conjuntos desmontables y la incorporación de soluciones que facilitan el acceso a los elementos de desgaste permitieron desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para toda la línea, buscando reducir los tiempos de intervención y facilitar las tareas de inspección y reemplazo de componentes.

Finalmente, el dimensionamiento realizado permitió establecer una capacidad nominal de procesamiento de 110 kg/h. Considerando una operación en un turno diario, esta capacidad equivale al tratamiento de aproximadamente 215 toneladas de plástico por año, lo que representa cerca de 7,18 millones de envases de PET. Estos valores muestran que una línea de estas características podría contribuir al aprovechamiento de una fracción significativa de los residuos plásticos generados en la ciudad de Rosario, disminuyendo la cantidad de

material destinado a disposición final y favoreciendo su reincorporación al ciclo productivo.

En conjunto, el proyecto permitió aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera al desarrollo de una solución de ingeniería para una problemática ambiental concreta. Si bien el trabajo se limitó al diseño de la línea de procesamiento, constituye una base técnica para futuras etapas de fabricación, validación experimental y eventual implementación a escala industrial.

En el plano personal y académico, la realización de este proyecto final representó el desafío más complejo y enriquecedor de la carrera de Ingeniería Mecánica. La exigencia de sintetizar en un único trabajo práctico los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación —cálculo de máquinas, mecánica de fluidos, selección de materiales, diseño en CAD, simulación por elementos finitos y gestión de la producción— exigió desarrollar una rigurosa metodología de trabajo.

Compaginar el desarrollo integral del proyecto (que incluyó la redacción de la memoria técnica, el cálculo analítico de seis máquinas y la elaboración de 60 planos de fabricación con una jornada laboral de 9 horas diarias constituyó un reto de elevadísima exigencia personal. Esta situación puso de manifiesto que el éxito de un proyecto de esta envergadura no depende únicamente de la solvencia técnica, sino también de la capacidad de autogestión, la resiliencia y el mantenimiento de una estructura de trabajo metódica y constante.

Recomendaciones

La experiencia adquirida durante el desarrollo de este proyecto permitió identificar algunos aspectos que pueden resultar de utilidad para futuros estudiantes que aborden trabajos de características similares. En primer lugar, se considera importante mantener un contacto frecuente con los docentes y directores del proyecto, ya que las reuniones periódicas permiten validar criterios de diseño, resolver dudas a medida que aparecen y corregir posibles desvíos antes de avanzar sobre etapas posteriores del trabajo.

También resulta conveniente definir un plan de trabajo desde el inicio, estableciendo objetivos parciales y tiempos estimados para cada etapa. En proyectos de larga duración es habitual que surjan modificaciones o imprevistos; sin embargo, contar con

una planificación previa facilita la organización del trabajo y ayuda a evitar demoras durante la etapa final de desarrollo.

Otro aspecto que demostró ser relevante es la preparación del entorno de trabajo antes de comenzar las tareas de diseño. Verificar el funcionamiento del software, disponer de las licencias correspondientes y realizar copias de seguridad periódicas permite reducir el riesgo de interrupciones. Durante el desarrollo de este proyecto fue necesario reinstalar el software CAD debido a una falla del sistema, situación que implicó una pérdida considerable de tiempo. Considerando que gran parte del trabajo se realizó fuera del horario laboral, este tipo de inconvenientes puede afectar significativamente el avance del proyecto.

Por último, este trabajo deja abiertas distintas posibilidades para futuros desarrollos. Entre ellas se destacan el diseño de un sistema cerrado para el tratamiento y recirculación del agua utilizada en el proceso de lavado, dejando espacio para una oportunidad de mejora contundente .

Bibliografía

[1] Plastics Europe -“Plastics – the fast Facts” Publicación con datos sobre los polimeros de asociación europea responsable del 90% de los polímeros producidos en la Unión Europea

[2] *Effect of Recycled Content and rPET Quality on the Properties of PET Bottles, Part III: Modelling of Repetitive Recycling"*

[3] **Association of Plastic Recyclers (APR).**

PET-P-03 Standard Laboratory Grinding Practices for PET Articles into Flake, 2024

[4] República Argentina. **Ley N.º 25.675 – Ley General del Ambiente.** Publicada en el Boletín Oficial el 28 de noviembre de 2002. InfoLEG – Ministerio de Justicia y Derechos Humanos de la Nación.:

https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/79980/norma.htm

[5] República Argentina. **Ley N.º 25.916 – Gestión Integral de Residuos Domiciliarios.** Publicada en el Boletín Oficial el 7 de septiembre de 2004. InfoLEG – Ministerio de Justicia y Derechos Humanos de la Nación.:

https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/95000-99999/98327/norma.htm

[6] República Argentina. **Ley N.º 19.587 – Higiene y Seguridad en el Trabajo.** Publicada en el Boletín Oficial el 28 de abril de 1972. InfoLEG – Ministerio de Justicia y Derechos Humanos de la Nación.:

https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=17612

[7] República Argentina. **Decreto N.º 351/79 – Reglamentación de la Ley N.º 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo.** Poder Ejecutivo Nacional. Publicado en el Boletín Oficial el 22 de mayo de 1979. InfoLEG – Ministerio de Justicia y Derechos Humanos de la Nación.:

https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/30000-34999/32030/texact.htm

[8] Recycled Polyethylene Terephthalate

https://www.mcam.com/mam/54371/GEP-Ertalyte%E2%84%A2%20Sterra%E2%84%A2%20PET_en_US.pdf

[9] Perry's Chemical Engineers' Handbook – Cap. 21 (Solid-Liquid Separation / Centrifuges)

[10] Shigley – Diseño en Ingeniería Mecánica (McGraw-Hill)

[11] Mott – Elementos de Máquinas en el Diseño Mecánico (Pearson)

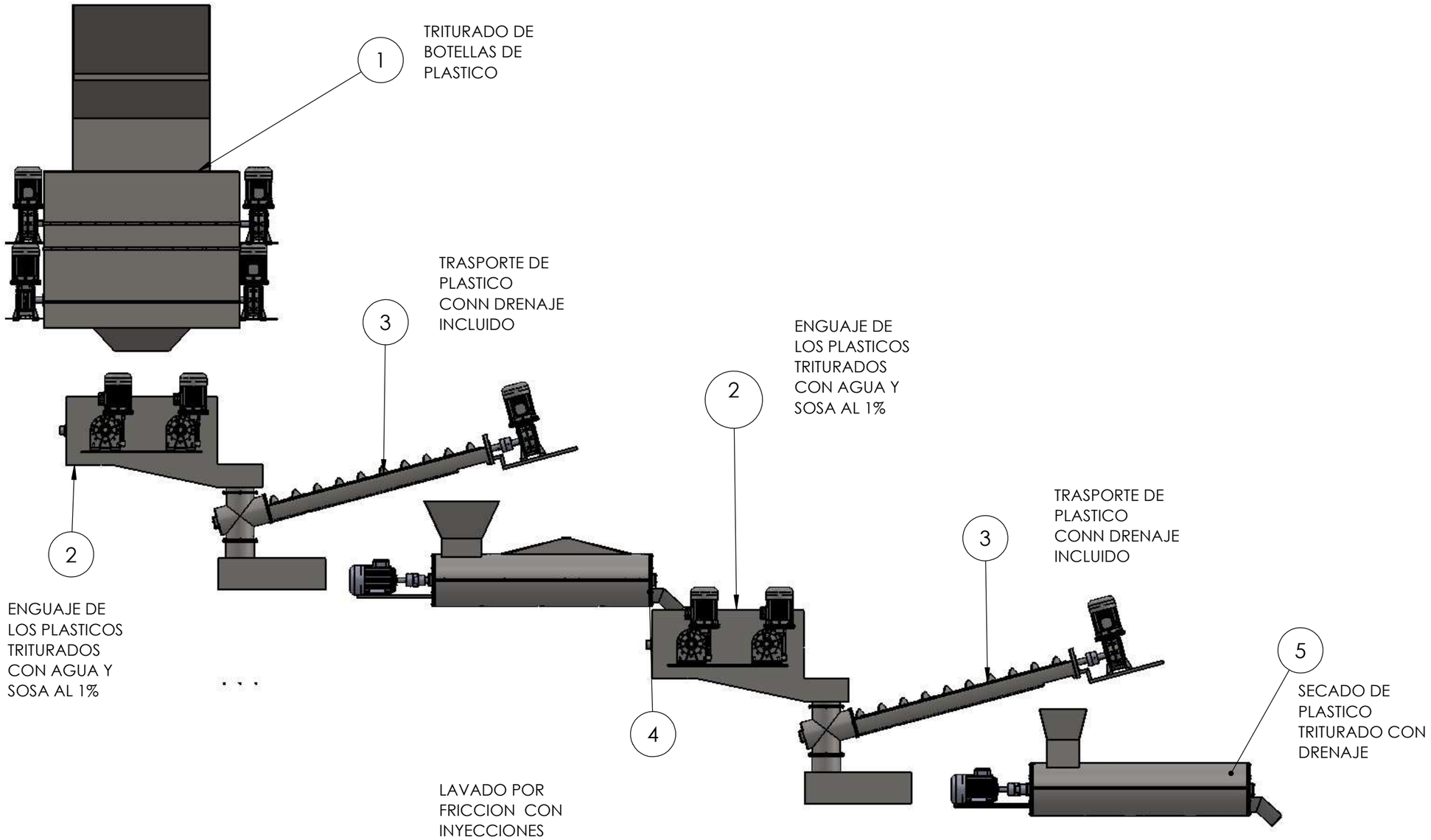
[12] ASG Plastic Recycling Tech (Sistemas de Lavado y Secado de PET)

[13] CEMA Standard 350 – *Screw Conveyors for Bulk Materials*

(Conveyor Equipment Manufacturers Association)

[14] DIN 15201 a DIN 15204 – *Continuous Mechanical Handling Equipment: Screw Conveyors*

[15] White, Frank M. — *Mecánica de Fluidos* (Ed. McGraw-Hill)



Nº	DESCRIPSIÓN	PLANO	CANT
5	SUBENSAMBLAJE SECADO	58	1
4	SUBENSAMBLAJE LAVADO	48	1
3	SUBENSAMBLAJE TRASNPORTE	42	2
2	SUBENSAMBLAJE ENJUAGUE	27	2
1	SUBENSAMBLAJE TRITURADO	02	1

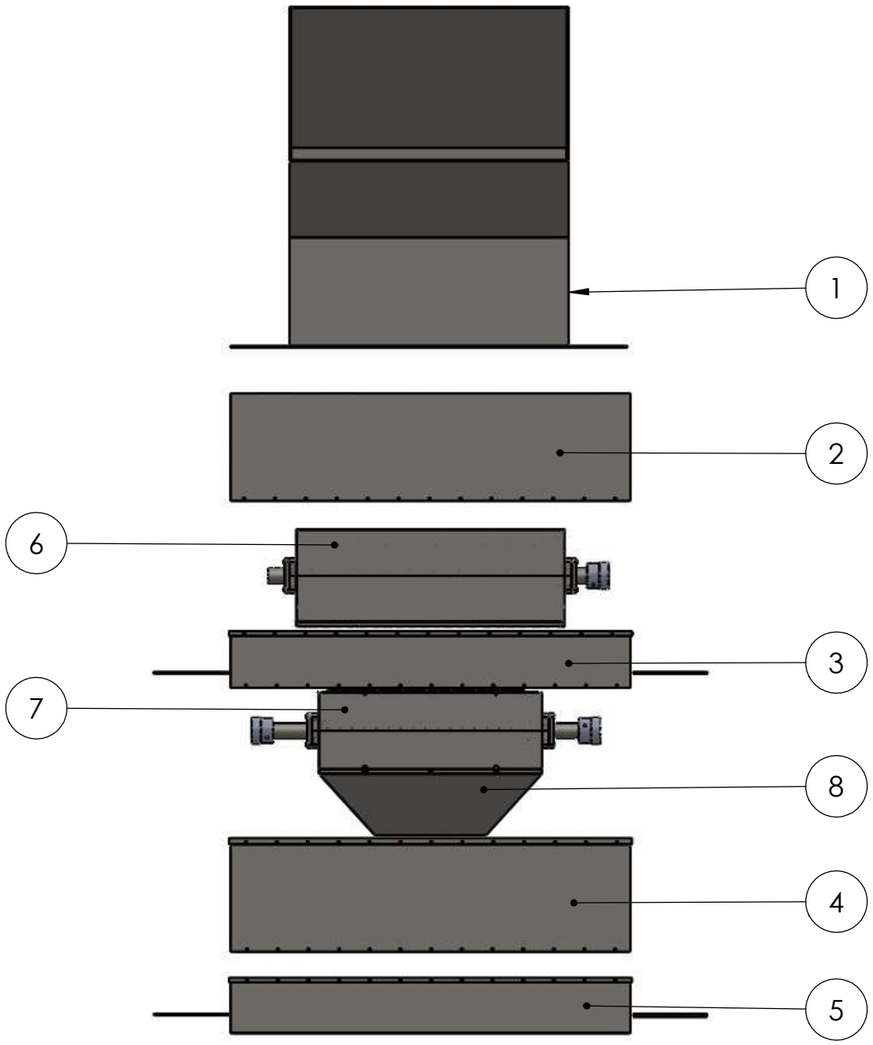
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

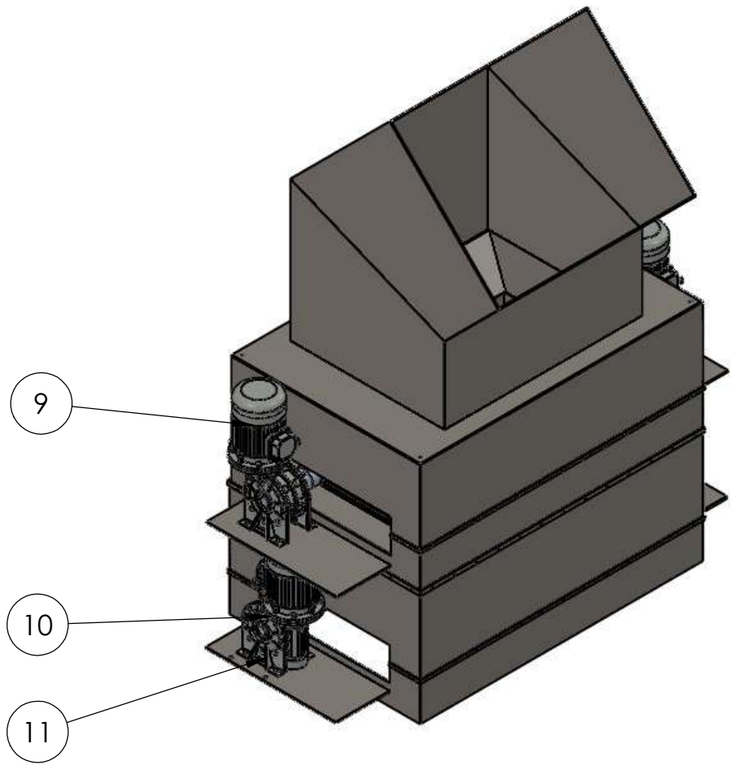
TITULO
PROCESO DE RECICLADO DE PLASTICO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28-07-26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL
1:30

PLANO 01





Nº	DESCRIPCIÓN	PLANO	CANT.
11	REDUCTOR I:50	-	4
10	MOTOR ELÉCTRICO 5.5kW (7.5HP)1450 RPM	-	2
9	MOTOR ELÉCTRICO 7.5 kW (10 HP) 1450 RPM	-	2
8	SALIDA PAQUETE TRITURACIÓN	10	1
7	SUBENSAMBLAJE DE TRITURADO	09	1
6	SUBENSAMBLAJE DE PRETRITURADO	08	1
5	SEMICAJA DE TRITTURADO INF	07	1
4	SEMICAJA DE TRITURADO SUP	06	1
3	SEMICAJA DE PRETIRTURADO INF	05	1
2	SEMICAJA DE PRETIRTURADO SUP	04	1
1	BOCA DE TRITURACIÓN	03	1

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA

ROSARIO

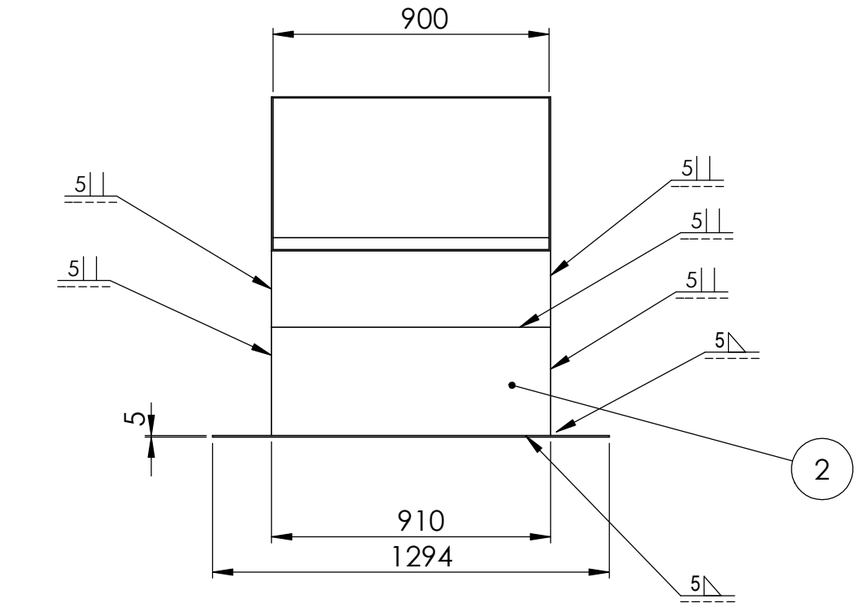
TITULO

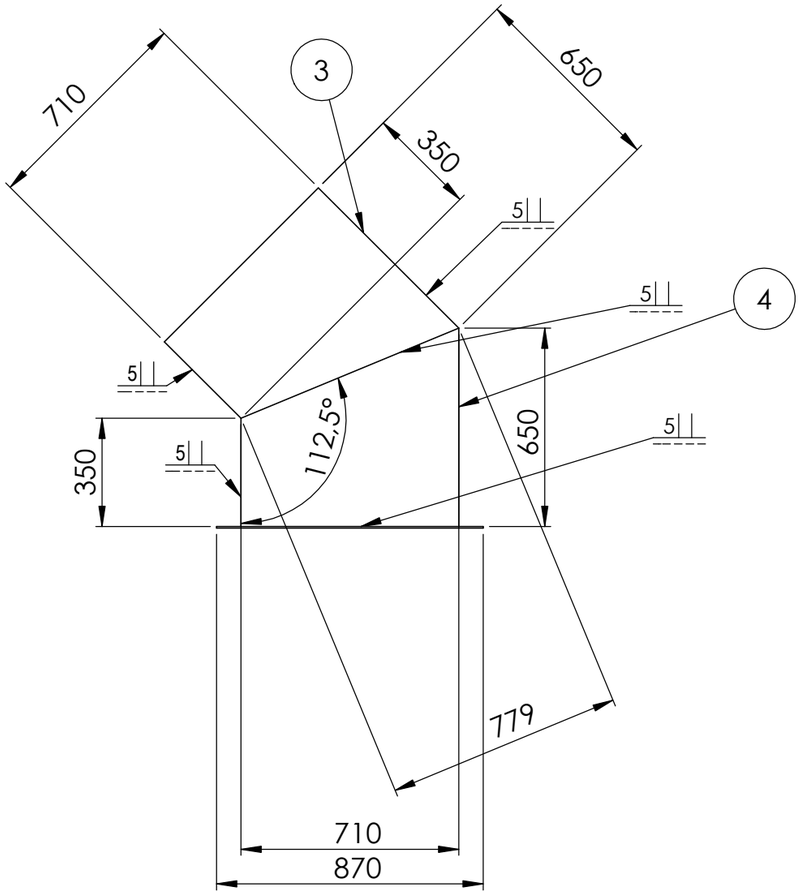
SUBENSAMBLAJE TRITURADO

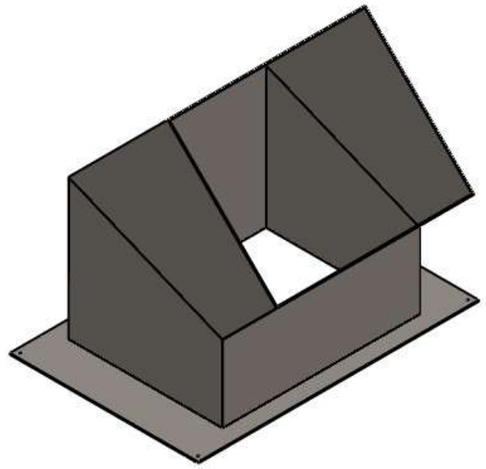
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

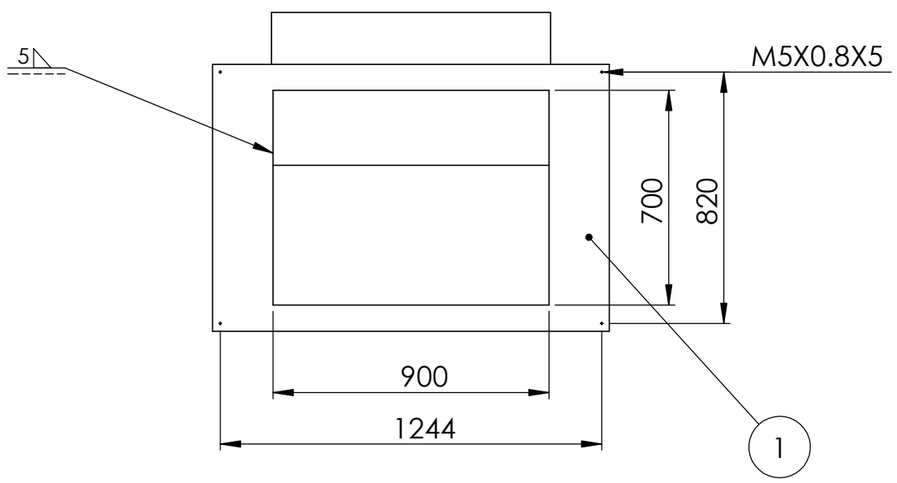
ESCALA GENERAL 1:20

PLANO 02









TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
4	PLACA POSTERIOR PARTE RECTA e:5mm	ASTM A36	2
3	PLACA PARTE INCLINADA e:5mm	ASTM A36	4
2	PLACA FRONTAL PARTE RECTA e:5mm	ASTM A36	2
1	PLACA BASE e: 5mm	ASTM A36	1

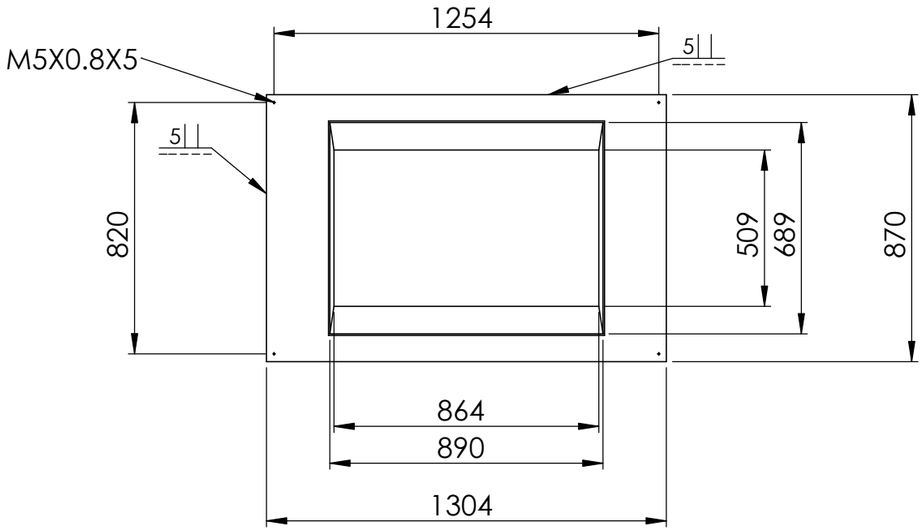
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

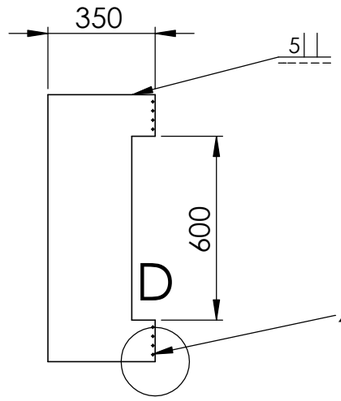
TITULO
BOCA DE TRITURACIÓN

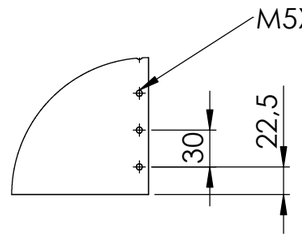
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL
20:1

PLANO 03

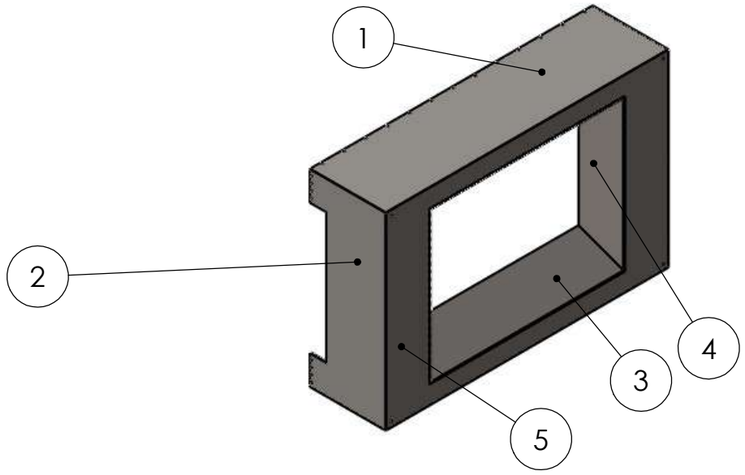


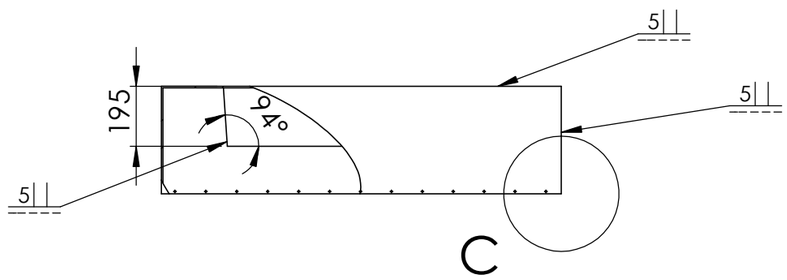


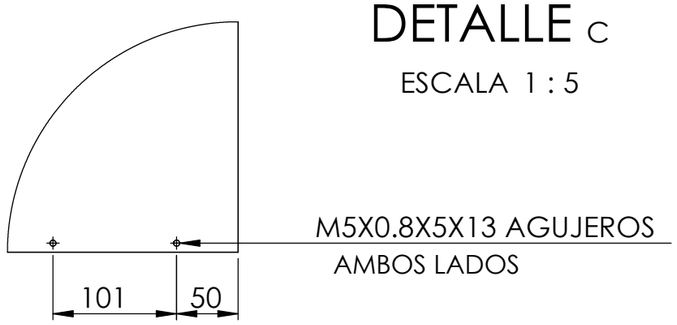


DETALLE D

ESCALA 1 : 5







DETALLE C

ESCALA 1 : 5

Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
5	PLACA BASE e:5mm	ASTM A36	1
4	PLACA INCLINADA LATERAL e: 5mm	ASTM A36	2
3	PLACA INCLINADA FRONTAL e:5mm	ASTM A36	2
2	PLACA LATERAL RECTA e: 5mm	ASTM A36	2
1	PLACAFRONTAL RECTA e: 5mm	ASTM A36	2

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO

TITULO: SEMICAJA DE PRETIRTURADO SUP

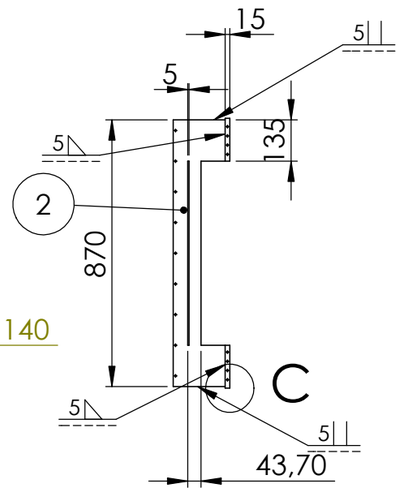
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL 1:20

PLANO 04

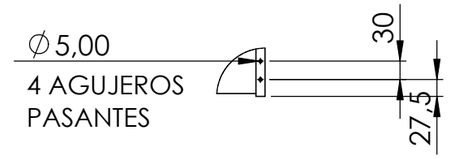
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

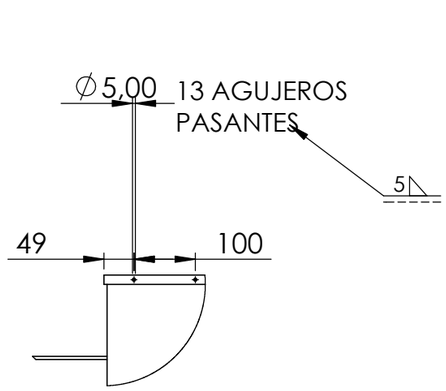




DETALLE C

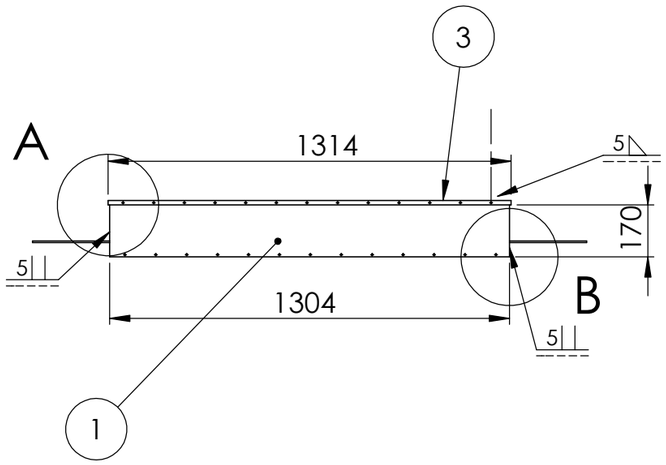
ESCALA 1 : 10

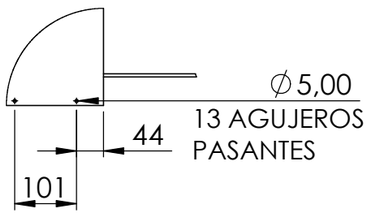




DETALLE A

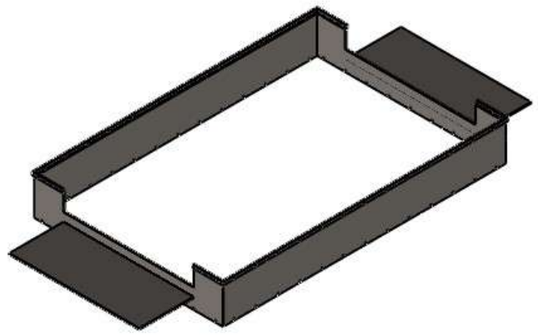
ESCALA 1 : 10





DETALLE B

ESCALA 1 : 10



Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
4	PLACA PORTA MOTOR e:5mm	ASTM A36	2
3	PERFIL 5X10X6Metros	ASTM A36	1
2	PLACA LATERAL e: 5mm	ASTM A36	2
1	PLACA FRONTAL e: 5mm	ASTM A36	2

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

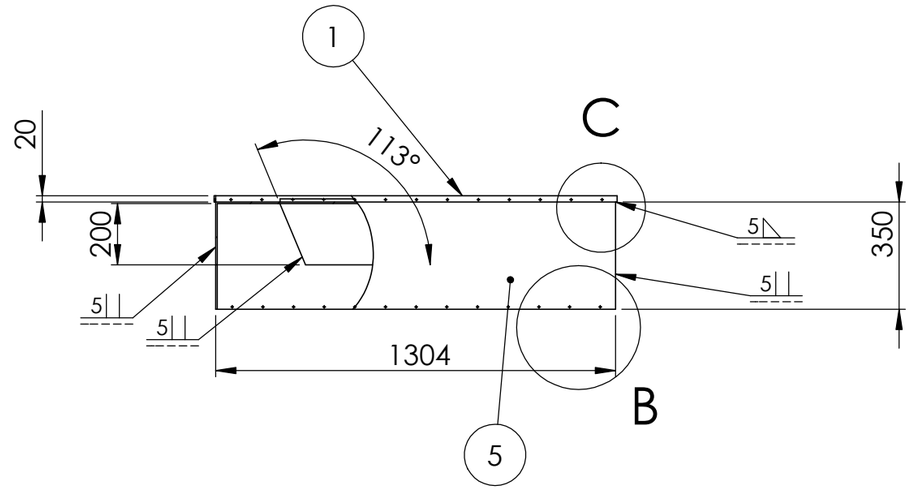
TITULO
SEMICAJA DE PRETIRTURADO INF

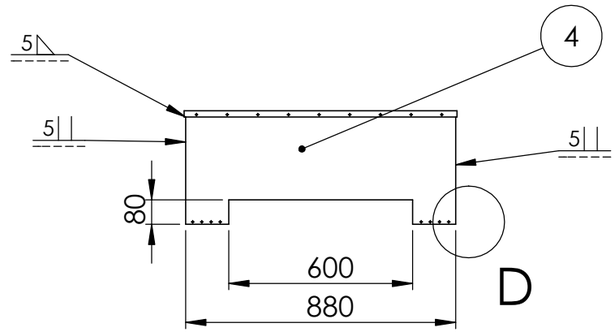
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

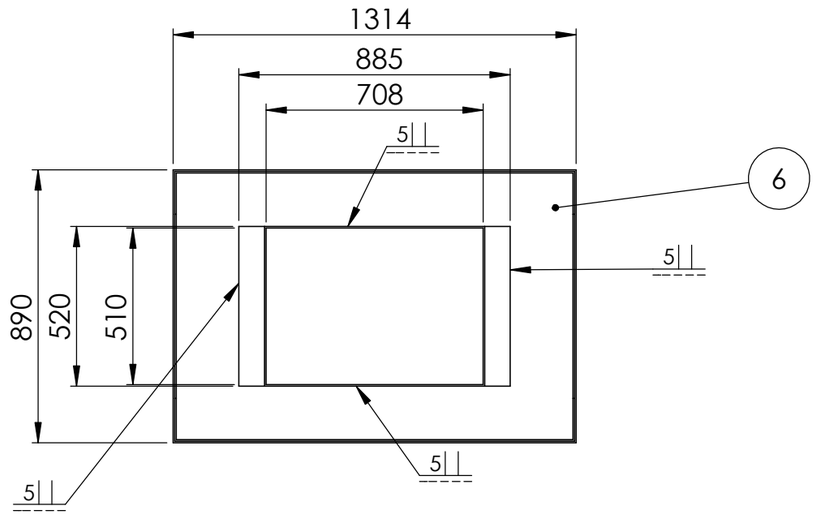
ESCALA GENERAL
1:20

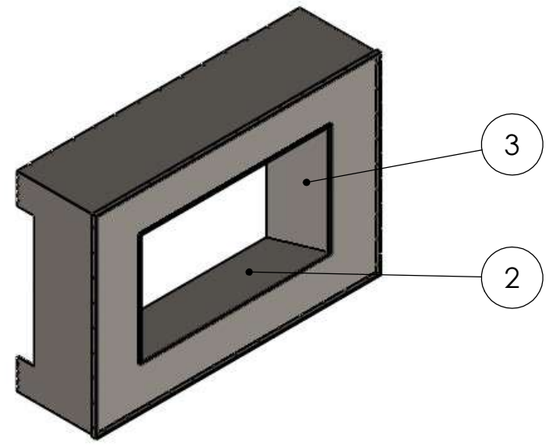
PLANO 05

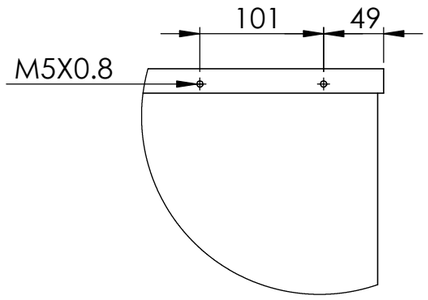
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m





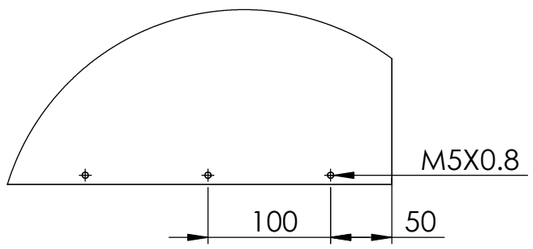






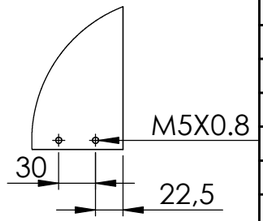
DETALLE C

ESCALA 1 : 5



DETALLE B

ESCALA 1 : 5



DETALLE D

ESCALA 1 : 5

Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
6	PLACA BASE e:5mm	ASTM A36	1
5	PLACA FRONTAL e:5 mm	ASTM A36	2
4	PLACA LATERAL e : 5mm	ASTM A36	2
3	PLACA LAT. INTERIOR INCL. e: 5 mm	ASTM A36	2
2	PLACA FRONTAL INTERIOR INCL. e:5 mm	ASTM A36	2
1	PERFIL 20X5 X 6M	ASTM A36	1

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO

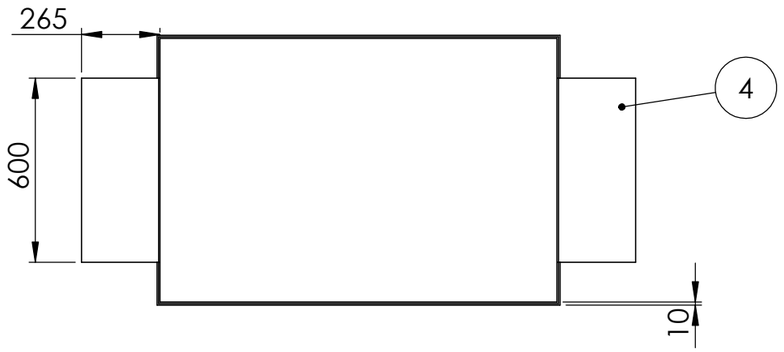
TITULO: SEMICAJA TRITURADOR SUP

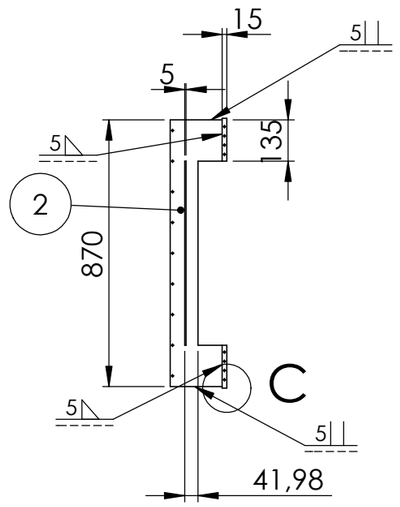
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL 1:20

PLANO 06

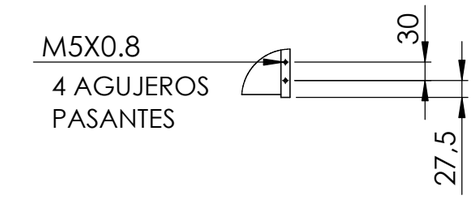
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

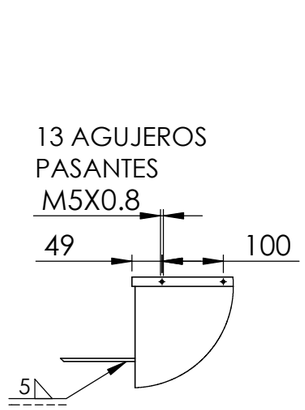




DETALLE C

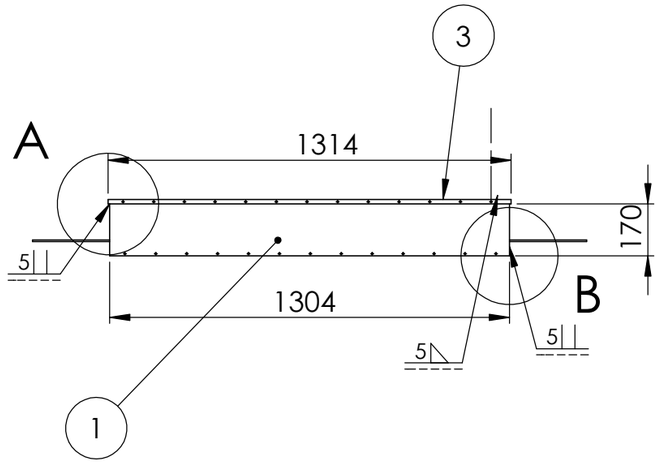
ESCALA 1 : 10

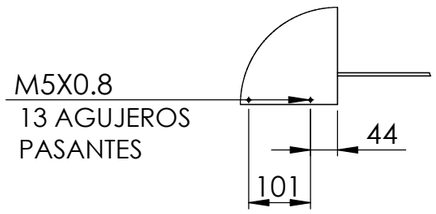




DETALLE A

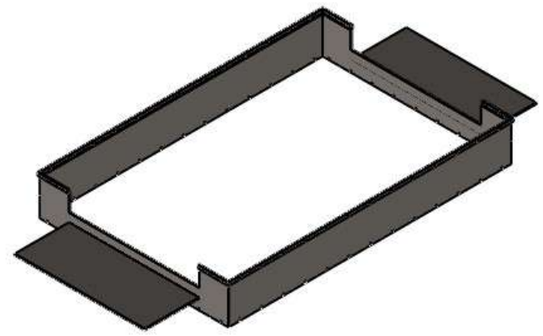
ESCALA 1 : 10





DETALLE B

ESCALA 1 : 10



Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
4	PLACA PORTA MOTOR e:5mm	ASTM A36	2
3	PERFIL 5X10X6Metros	ASTM A36	1
2	PLACA LATERAL e: 5mm	ASTM A36	2
1	PLACA FRONTAL e: 5mm	ASTM A36	2

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

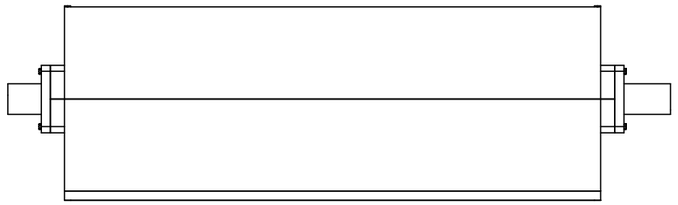
TITULO
SEMICAJA DE TRITTURADO INF

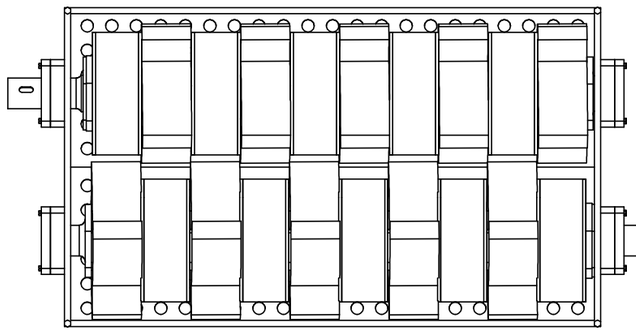
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

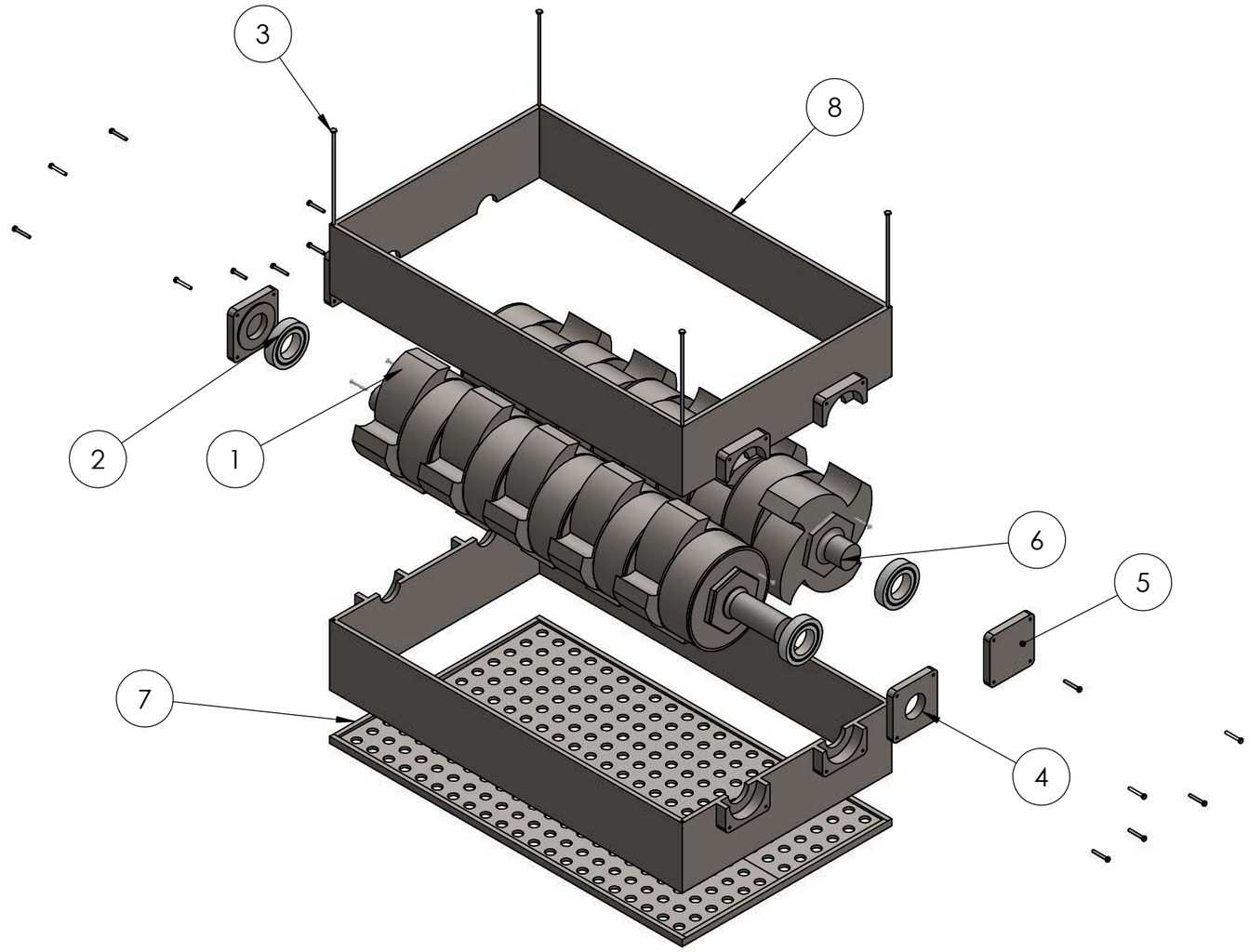
ESCALA GENERAL
1:20

PLANO 07

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m







8	semicaja de PRETRITURADO	11	2
7	CRIBA DE PRETRITURADO	12	1
6	SUBESNAMBLAJE EJE	13	2
5	PORTARODAMIENTO	14	2
4	PORTARODAMIENTO LADO EJE	15	2
3	PERNO M15X0.8 250mm	-	4
2	RODAMIENTO SKF 6210	-	4
1	TORNILLO M5X0.8 35mm	-	16
Nº	DESCRIPCIÒN	PLANO	CANT

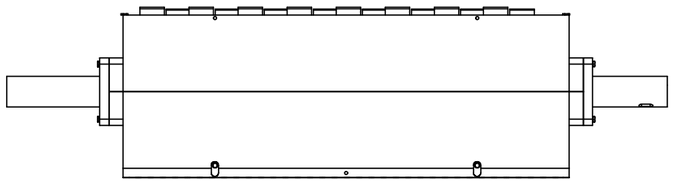
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

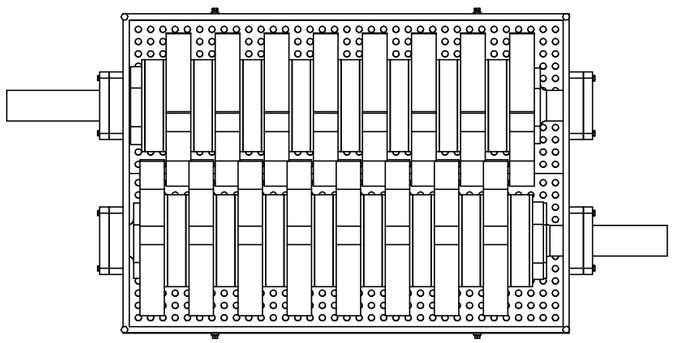
TITULO
SUBENSAMBLAJE PRETRITURADO

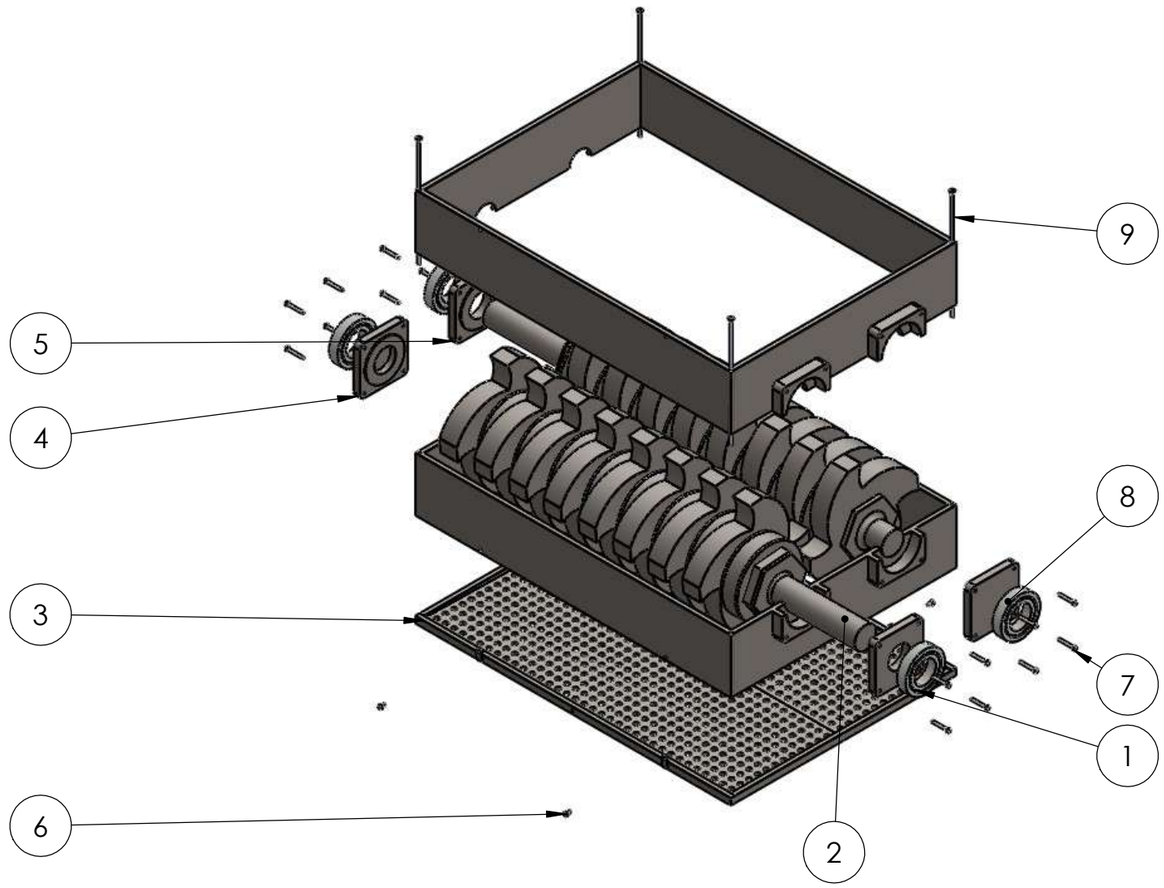
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL
1:10

PLANO 08







Nº	DESCRIPCIÓN	PLANO	CANT
9	PERNO M15X0.8 250mm	-	4
8	RODAMIENTO SKF 6210	-	4
7	TORNILLO M5X0.8 LARGO 35mm	-	16
6	TORNILLO M5X0.8 LARGO 8 mm	-	4
5	PORTARODAMIENTO LADO EJE	15	2
4	PORTARODAMIENTO	14	2
3	CRIBA PRETRITURADO	22	1
2	EJE TRITURADO	21	2
1	SEMICAJA DE TRITURADORA	20	2

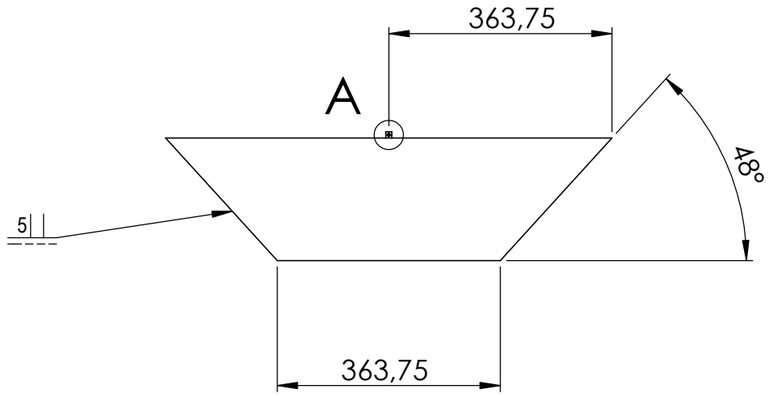
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

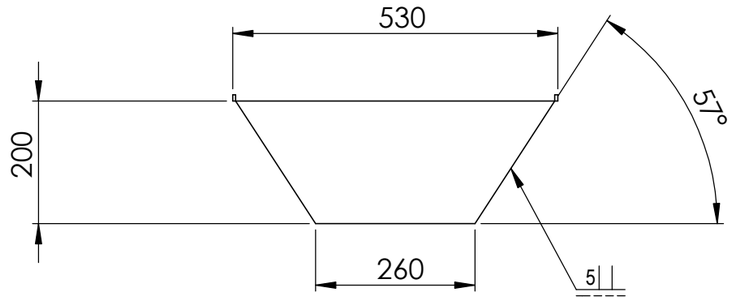
TITULO
SUBENSAMBLAJE TRITURACIÓN

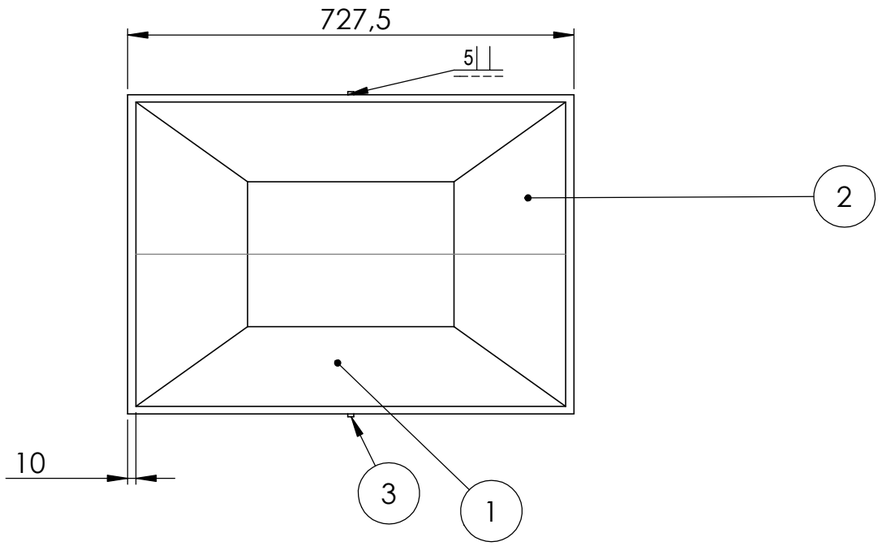
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

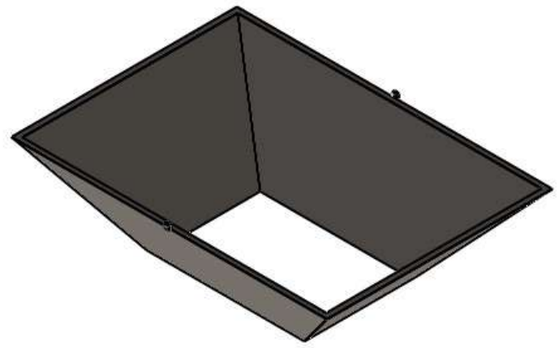
ESCALA GENERAL
1:10

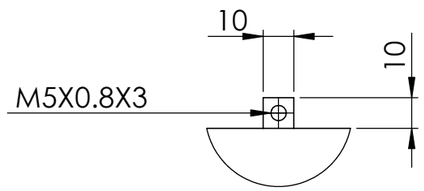
PLANO 09











DETALLE A

ESCALA 1 : 2

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
3	OREJAS DE AGARRE	ASTM A36	2
2	PLACA INCLINADA FRONTAL	ASTM A36	2
1	PLACA INCLINADA LATERAL	ASTM A36	2

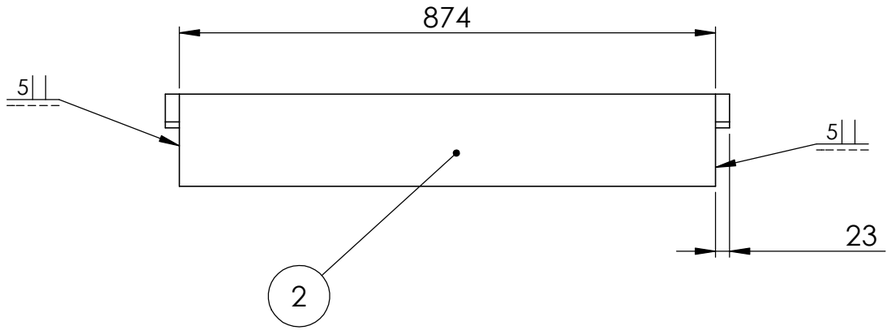
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

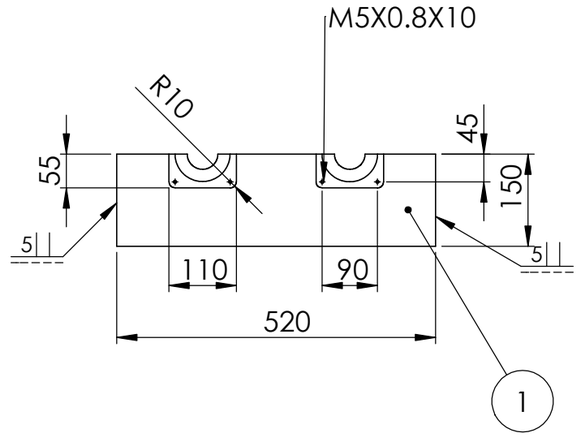
TITULO: SALIDA DE TRITURACIÓN

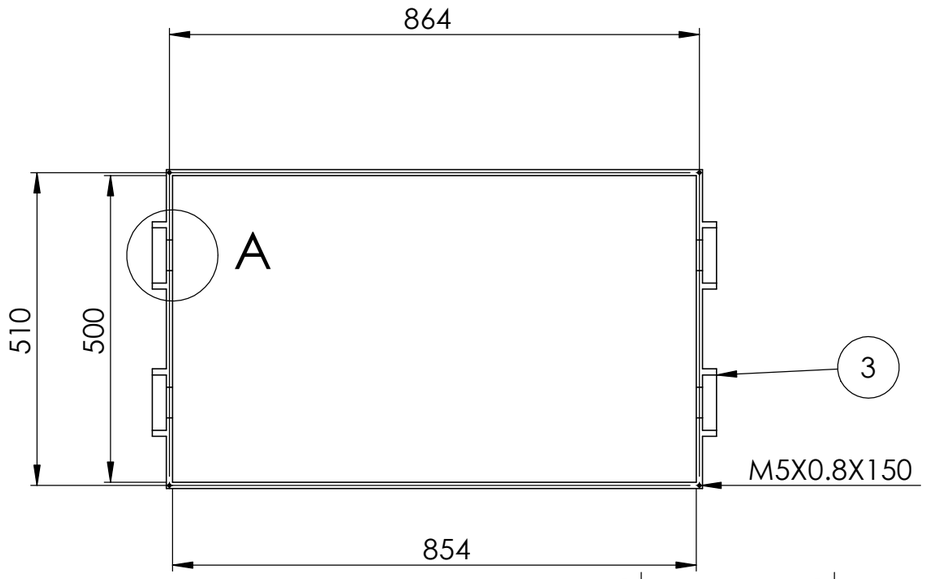
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

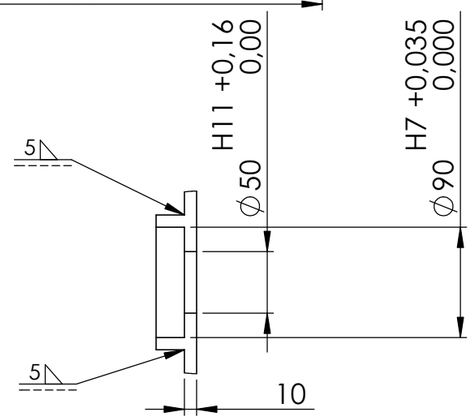
ESCALA GENERAL 1:10

PLANO 10



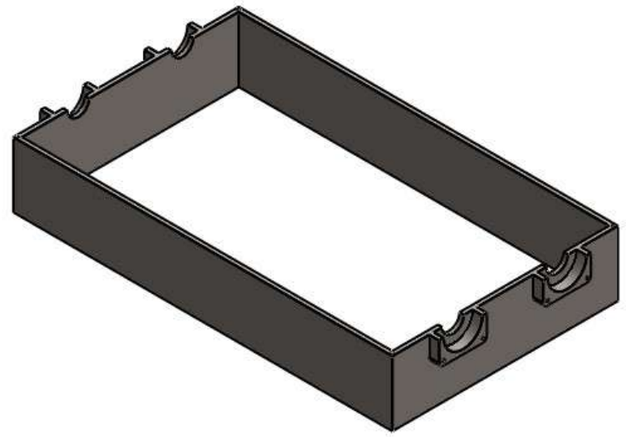






DETALLE A

ESCALA 1 : 5



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
3	PLACA 110X55X23	SAE 1045	4
2	PLACA LATERAL 874X150X10	SAE 1045	2
1	PLACA FRONTAL MECANIZADA 520X150X10	SAE 1045	2

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO: SEMI CAJA DE PRETRITURADO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

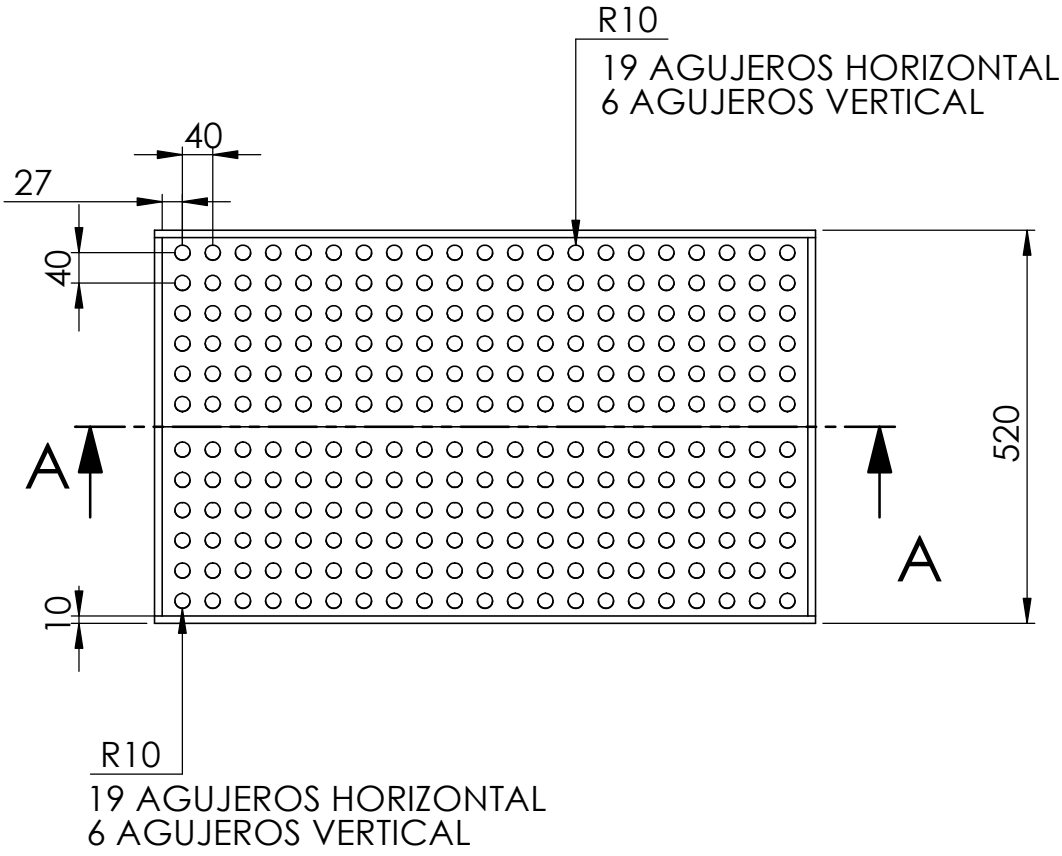
ESCALA GENERAL 1:10

PLANO 11

SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 10





TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

PLACA 520X874X15mm	ASTM A36	18,2 KG
DESCRIPCION	MATERIAL	PESO

PROYECTO FINAL

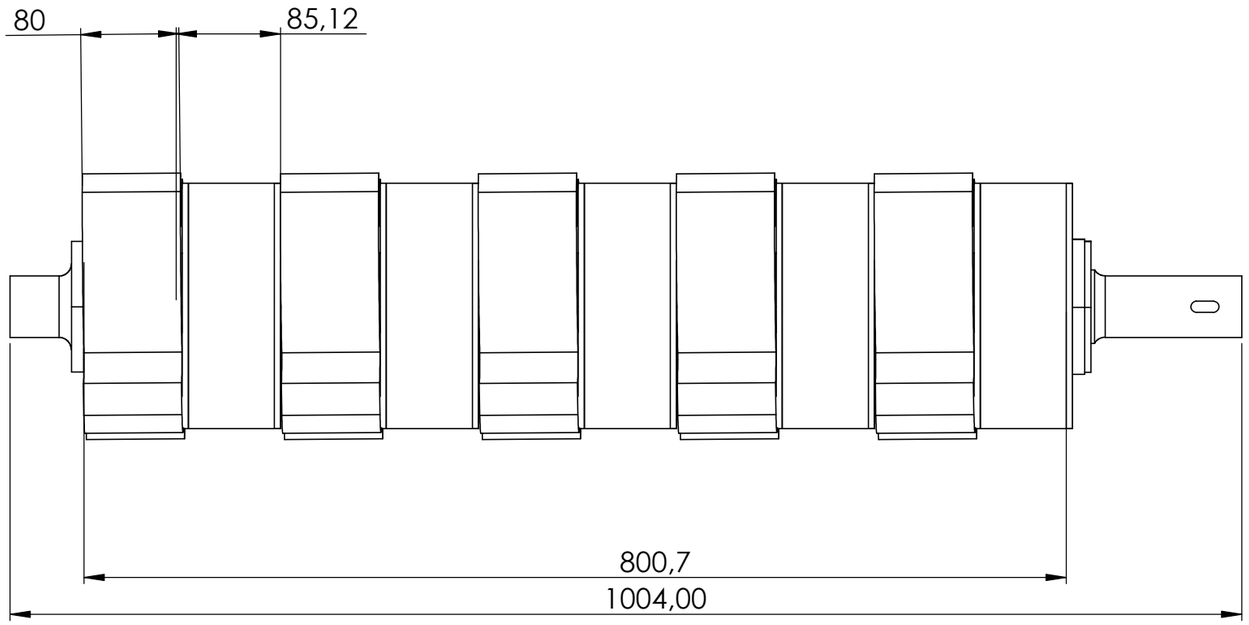
ESCUELA INGENIERIA MECANICA

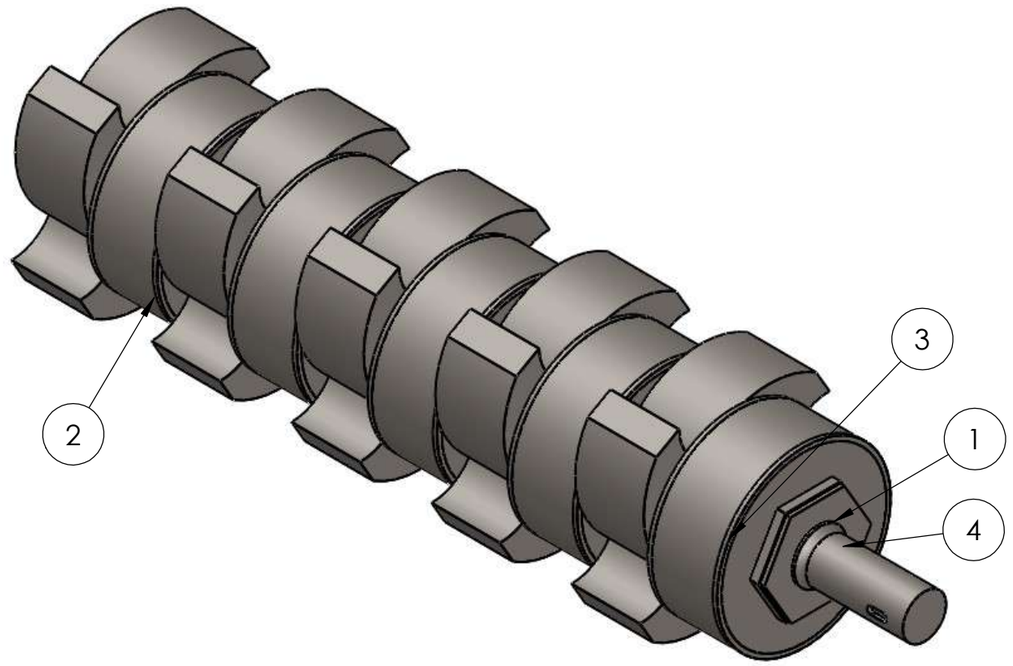
ROSARIO

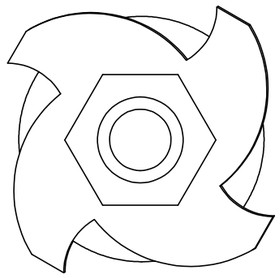
TITULO

CRIBA DE PRETRITURADO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL	PLANO 12
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:10	
APROBO			LEGAJO:R-4268/4		







4	TUERCA DE FIJACIÓN	16	1
3	SEPARADORES	17	5
2	ENGRANAJE PRETRITURADO	18	5
1	EJE PRETRITURADORA	19	1
Nº	DESCRIPCIÓN	PLANO	CANT

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

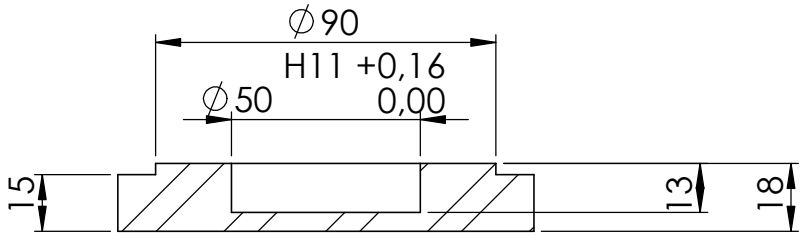
TITULO
SUBENSAMBLAJE EJE PRETRITURADO

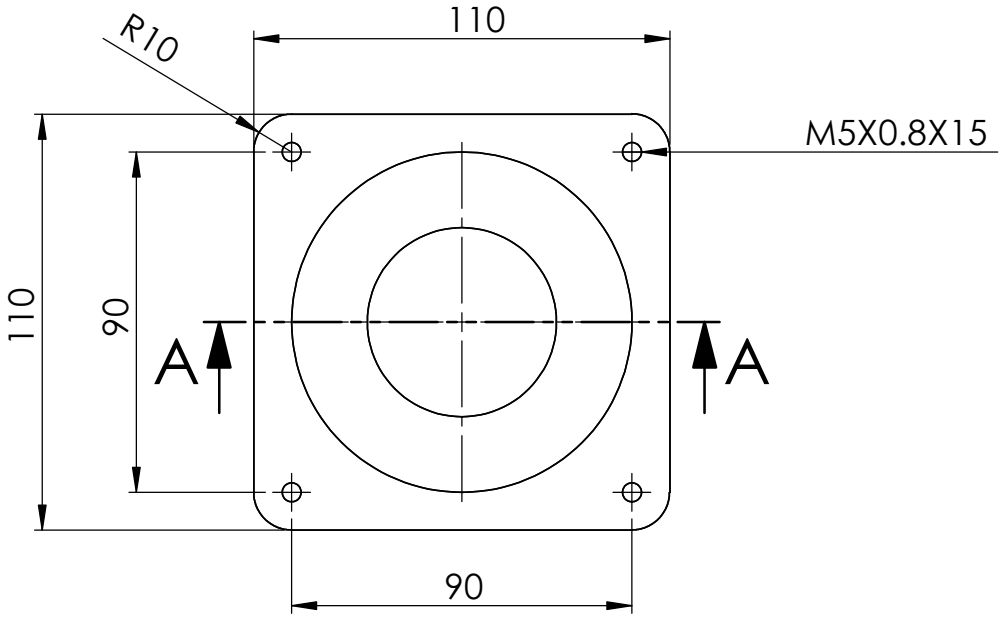
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL
1:5

PLANO 13

SECCIÓN A-A





TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

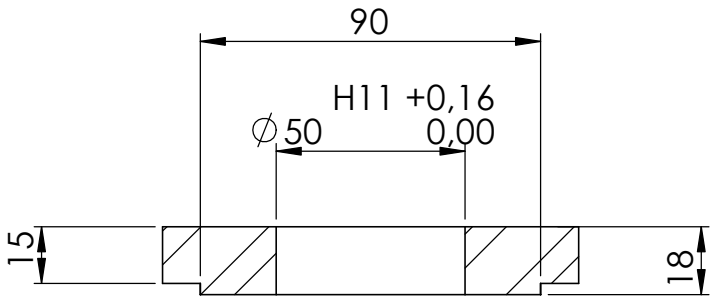
TAPA MECANIZADA P/RODAMIENTO	ASTM A36	1.35 KG
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO

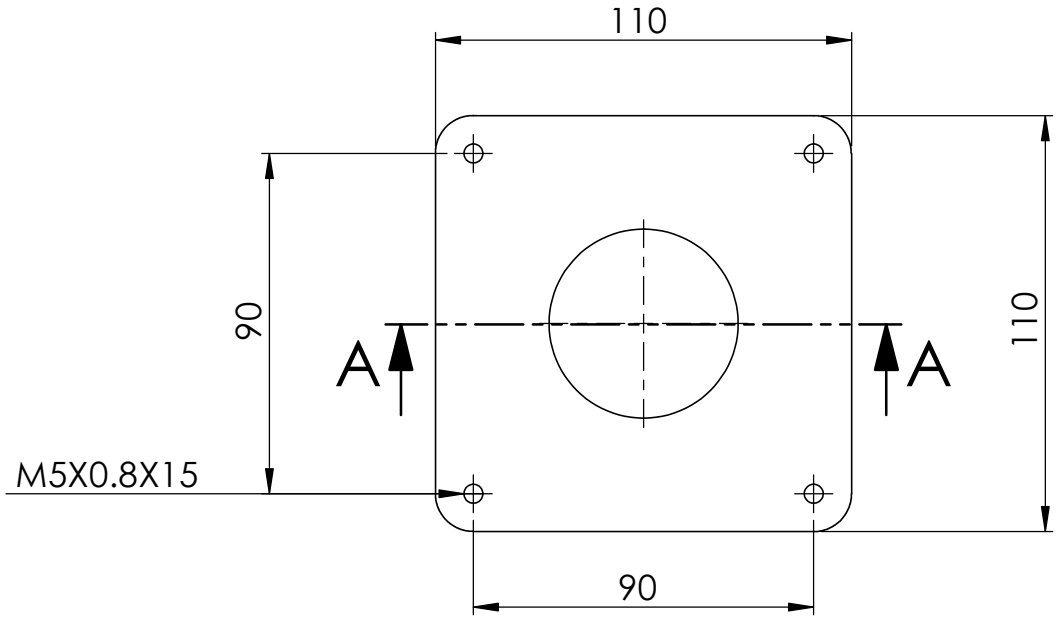
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO
PORTARODAMIENTO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL	PLANO 14
DIBUJO	23/07/26		RUIZ FACUNDO	1:2	
APROBO			LEGAJO:R-4268/4		

SECCIÓN A-A





TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

TAPA MECANIZADA P/ RODAMIENTO	ASTM A36	1,2 KG
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

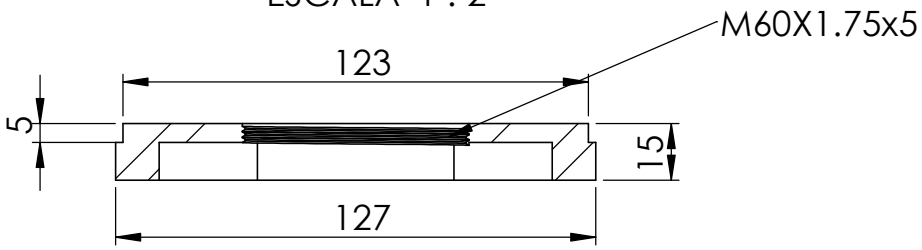
TITULO
PORTA RODAMIENTO LADO EJE

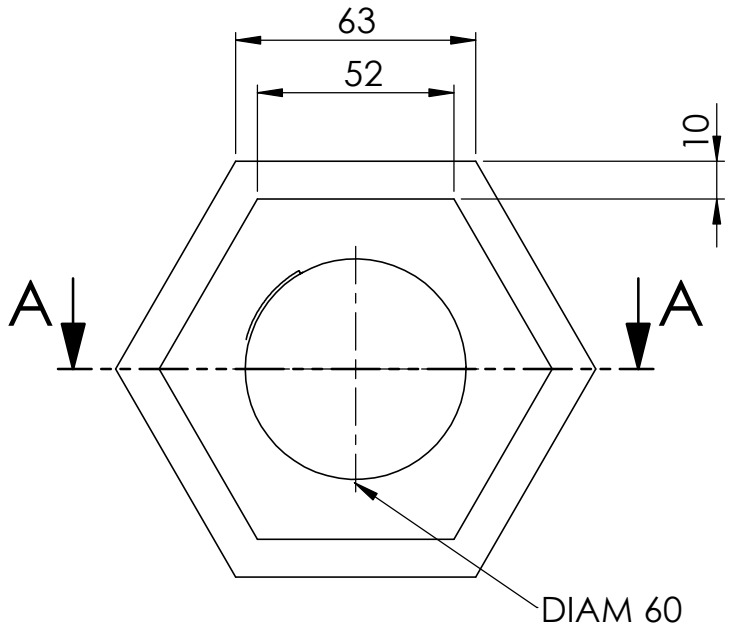
	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:2
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

PLANO 15

SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 2





TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

TUERCA MECANIZADA DE SUJECIÓN	SAE 1045	0.5KG
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA

ROSARIO

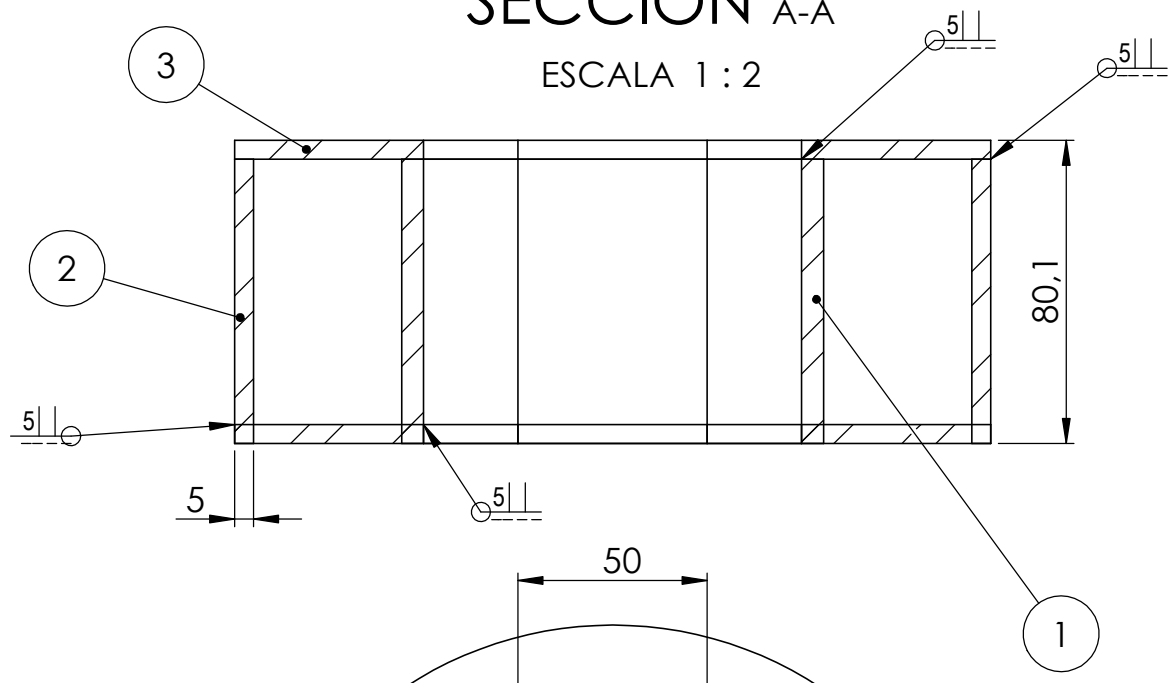
TITULO

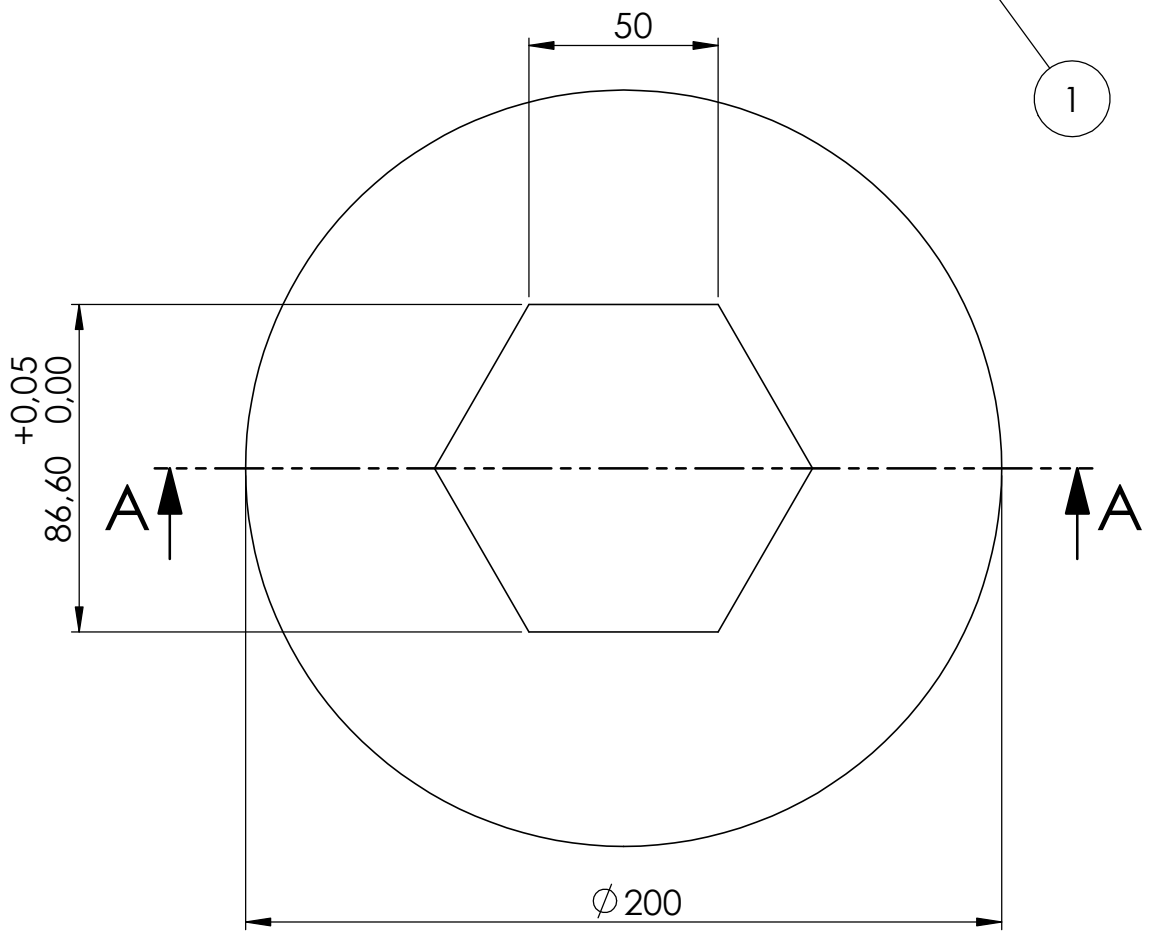
TUERCA DE FIJACIÓN TRITURADO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL		PLANO 16
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:2		
APROBO			LEGAJO:R-4268/4			

SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 2





TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

PESO TOTAL : 4,93 KG

Nº.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.
3	TAPA e: 5 mm	SAE 1045	2
2	CILINDRO DIAM 200 e: 5mm	SAE 1045	1
1	TUBO HEXAGONAL e: 5 mm	SAE 1045	1

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA

ROSARIO

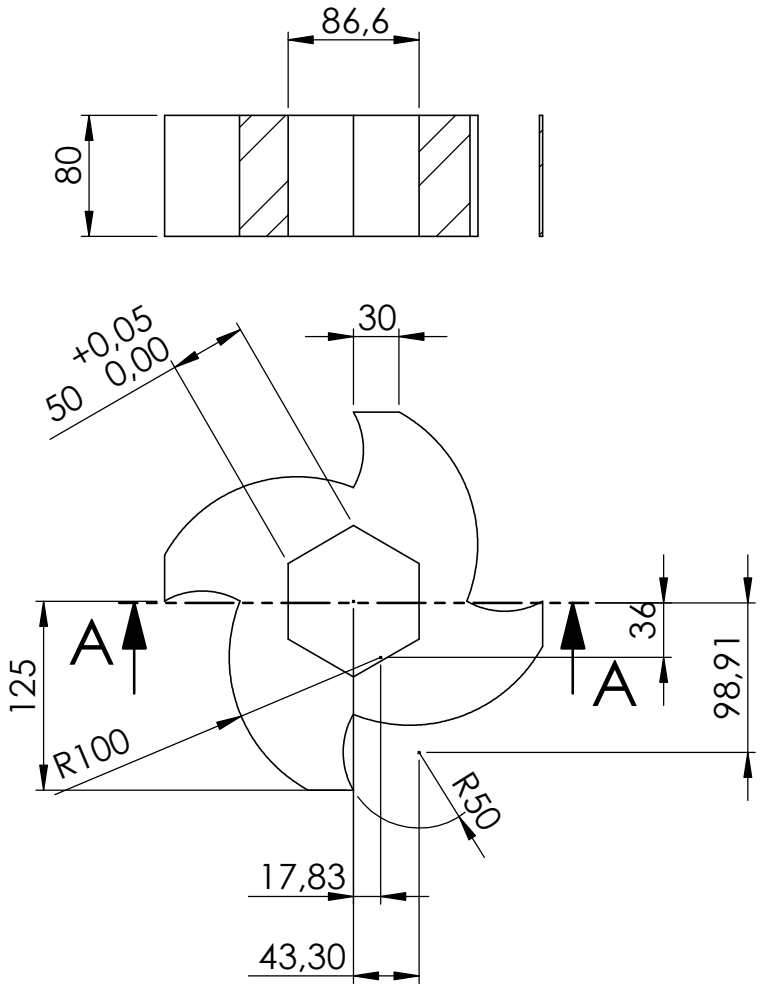
TITULO

SEPARADORES PRETRITURADO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:2
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

PLANO 17

SECCIÓN A-A



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

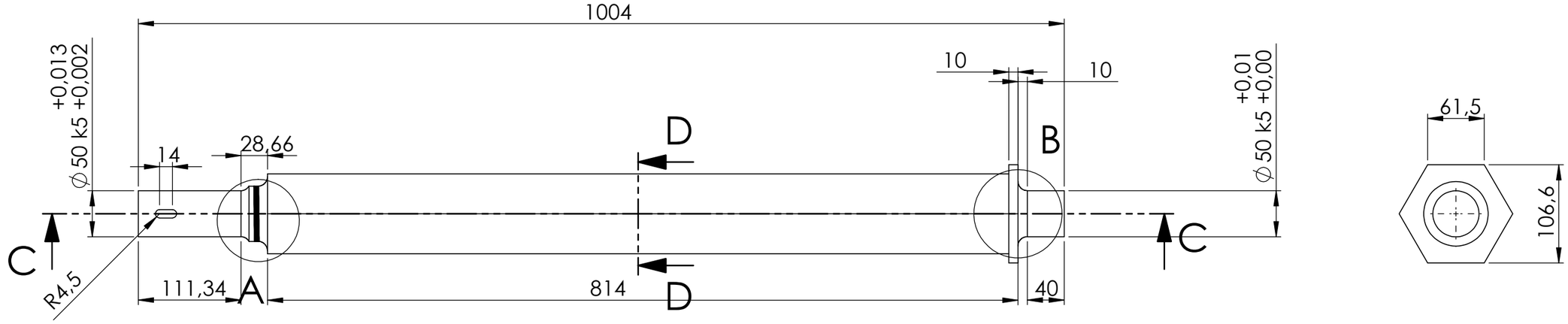
CUCHILLA DE CORTE	SAE 1045	17,6 KG
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO

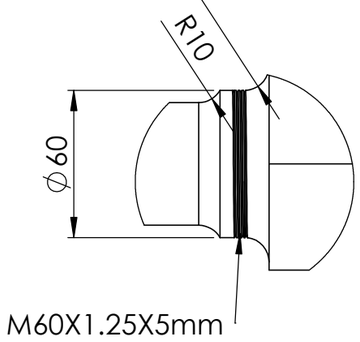
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO
ENGRANAJE PRETRITURADORA

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:5
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

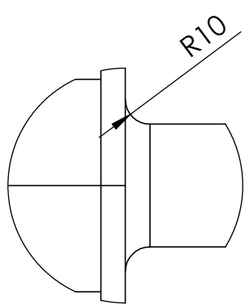
PLANO 18





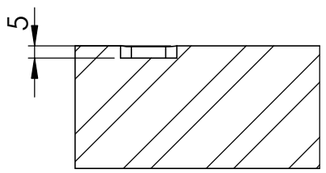
DETALLE A

ESCALA 2 : 5



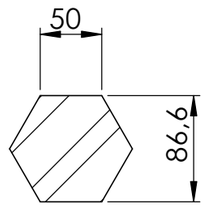
DETALLE B

ESCALA 2 : 5



SECCIÓN C-C

ESCALA 2 : 5

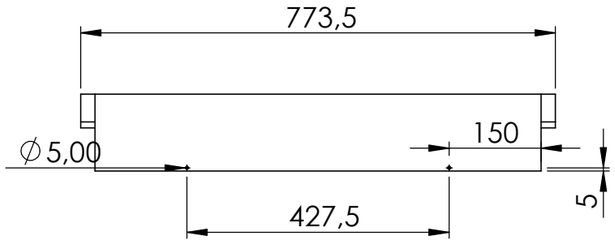


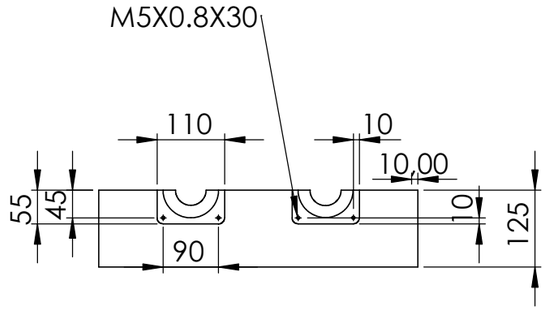
SECCIÓN D-D

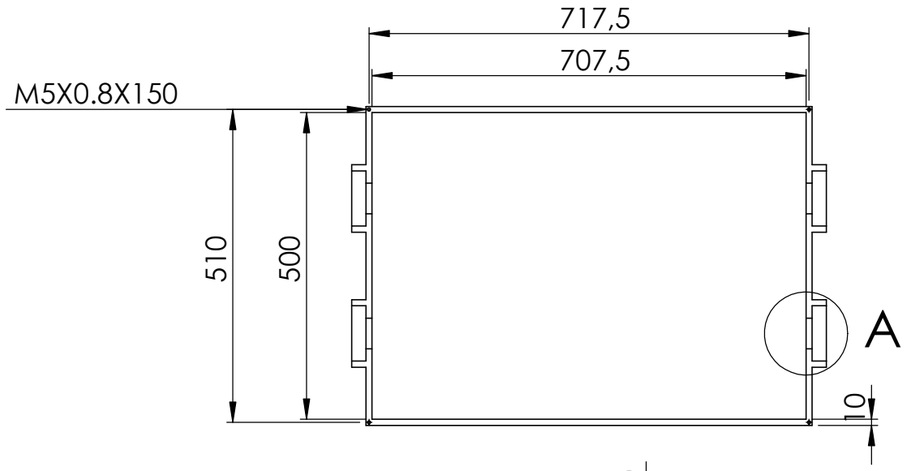
ESCALA 1 : 5

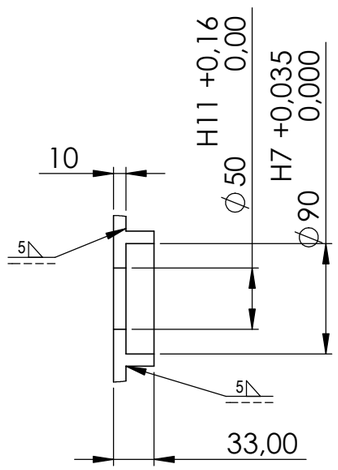
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

EJE DE PRETRITURACIÓN				SAE 1045 TEMPL. Y REV.	44,9KG
DESCRIPCIÓN				MATERIAL	PESO
PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO				TITULO EJE PRETRITURADOR	
	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL	PLANO 19
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:5	
APROBO			LEGAJO: R-4268/4		



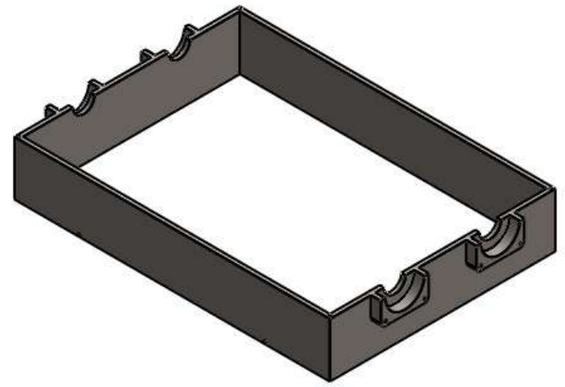






DETALLE A

ESCALA 1 : 5



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT
3	PLACA 110X55X23	SAE 1045	4
2	PLACA 727.5X125X10	SAE 1045	2
1	PLACA 520X125X10	SAE 1045	2

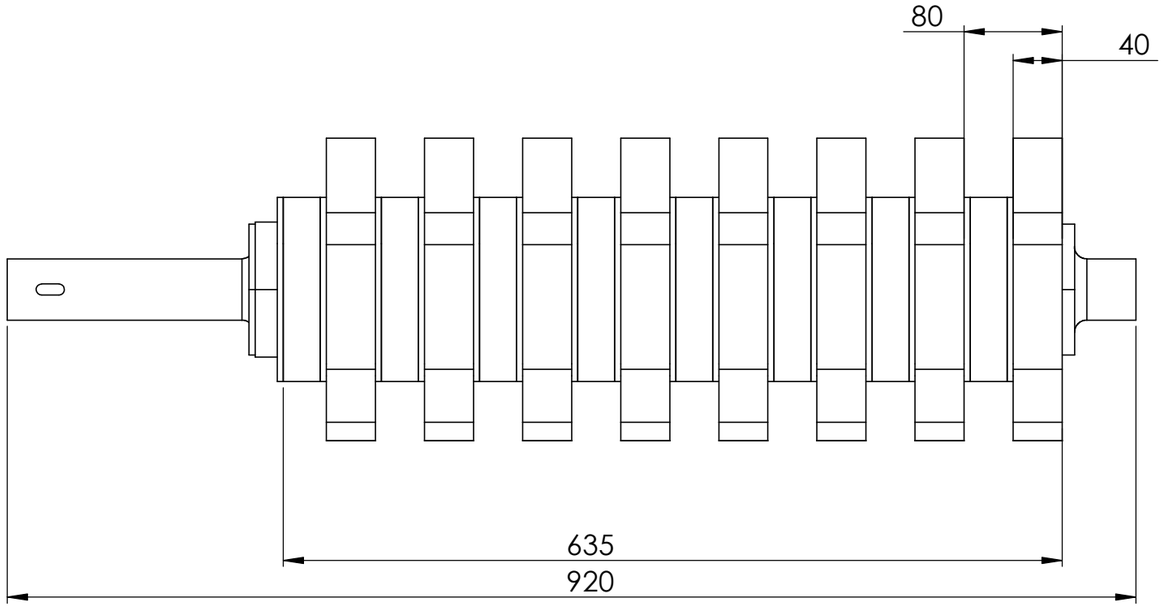
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

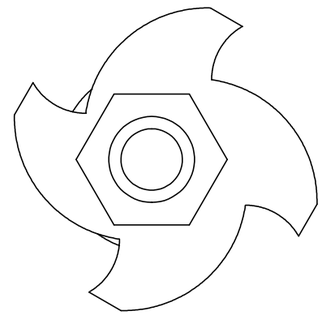
TITULO: SEMICAJA DE TRITURADORA

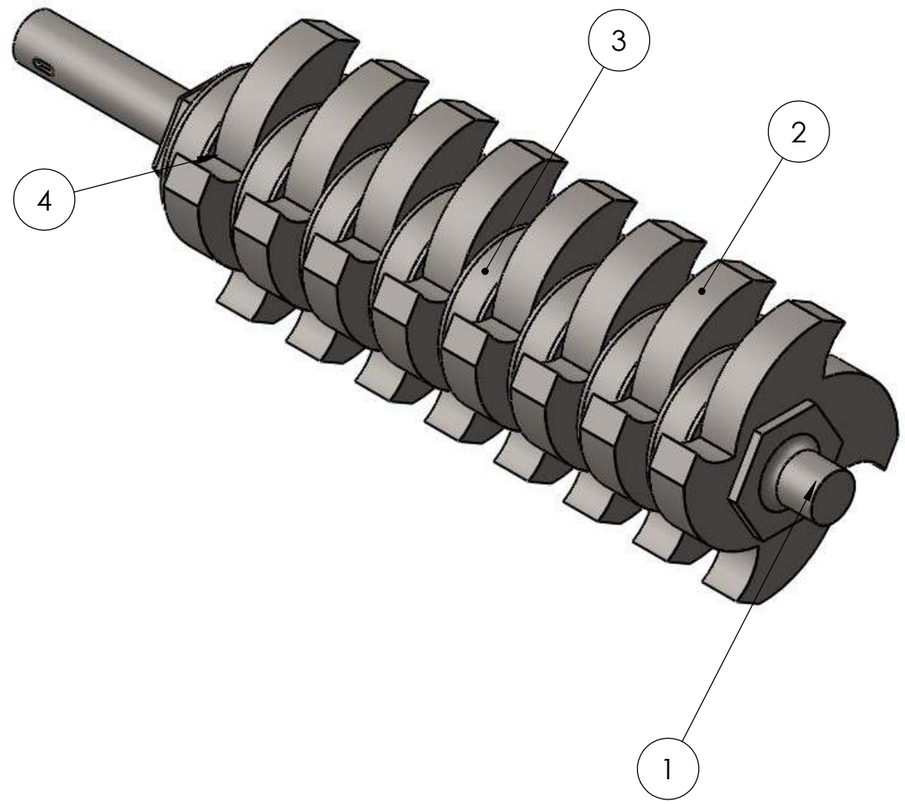
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL 1:10

PLANO 20







Nº	DESCRIPCIÓN	PLANO	CANT
4	TUERCA DE FIJACIÓN TRITURADO	26	1
3	SEPARADORES TRITURADO	25	8
2	ENGRANAJE TRITURADO	24	8
1	EJE TRITURADOR	23	1

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

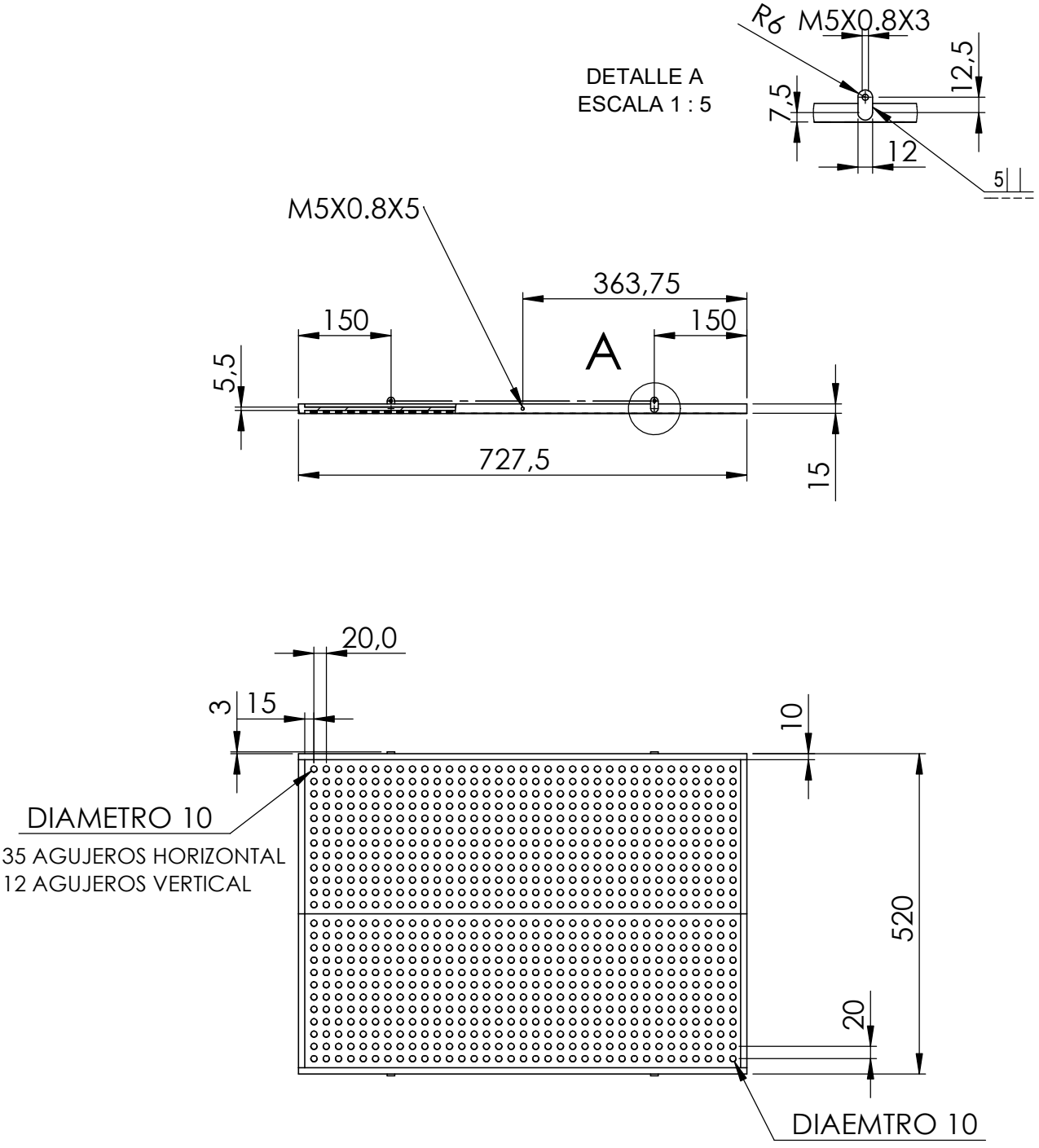
TITULO
SUBENSAMBLAJE EJE TRITURACIÓN

	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL
1:5

PLANO 21

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

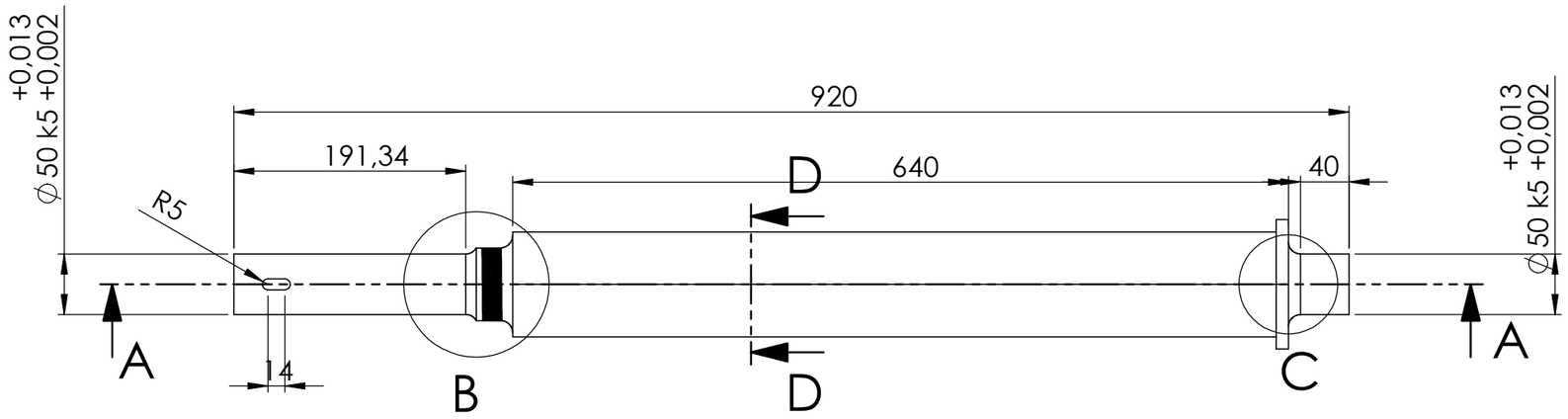
PLACA 520X727,5X15mm	ASTM A36	15.35 KG
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO

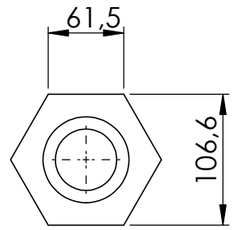
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

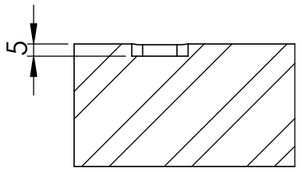
TITULO
CRIBA TRITURADO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:10
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

PLANO 22

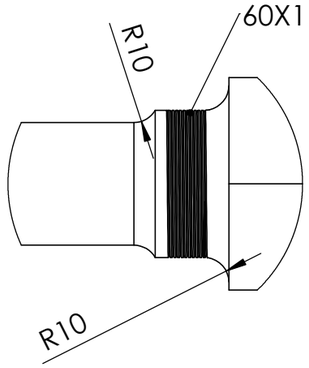






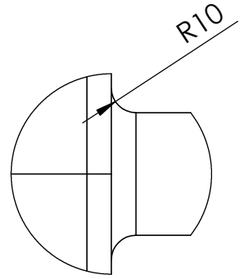
SECCIÓN A-A

ESCALA 2 : 5



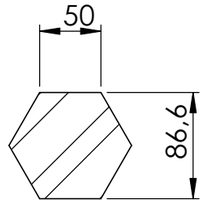
DETALLE B

ESCALA 2 : 5



DETALLE C

ESCALA 2 : 5



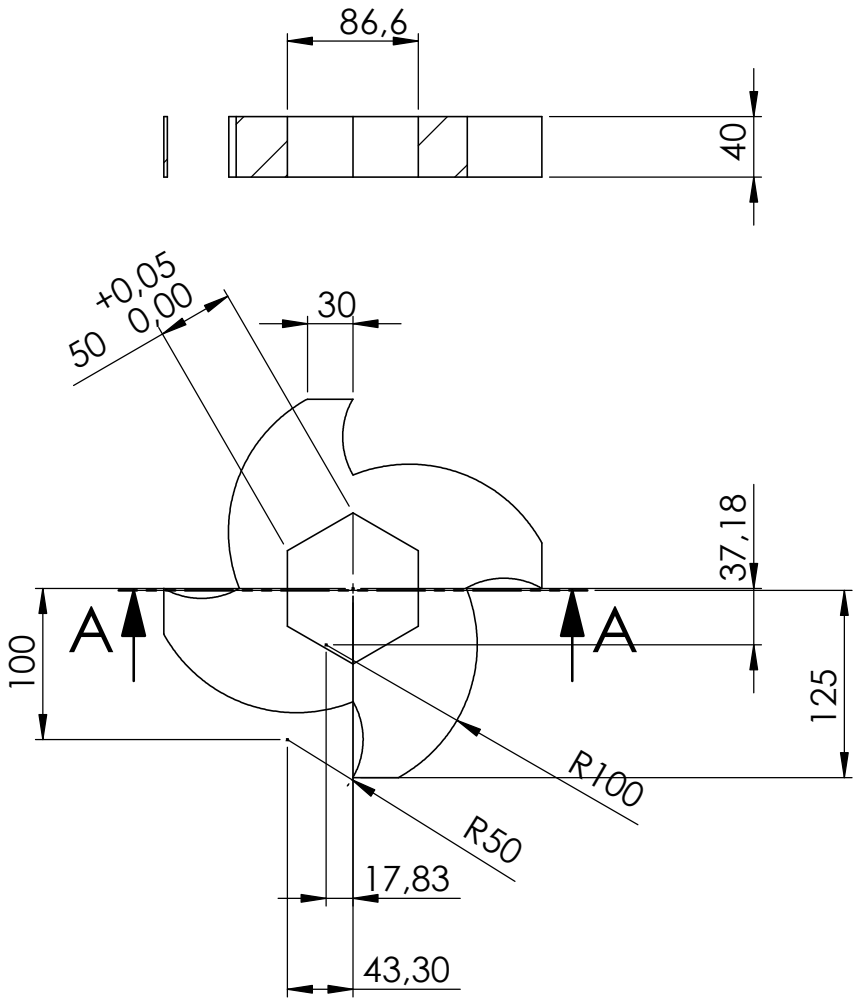
SECCIÓN D-D

ESCALA 1 : 5

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

EJE DE TRITURACIÓN		SAE 1045 TEMPL Y REV	37.4 KG
DESCRIPCION		MATERIAL	PESO
PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO		TITULO EJE TRITURADOR	
	FECHA / FIRMA / NOMBRE	ESCALA GENERAL	PLANO 23
DIBUJO	28/07/26 / RUIZ FACUNDO	1:5	
APROBO	LEGAJO: R-4268/4		

SECCIÓN A-A



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

CUCHILLA DE CORTE	SAE 1045	8.8 KG
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO

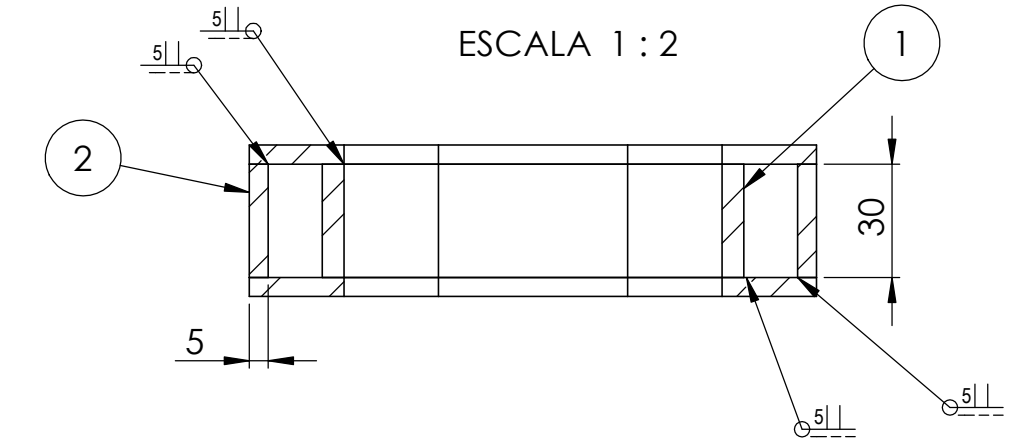
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

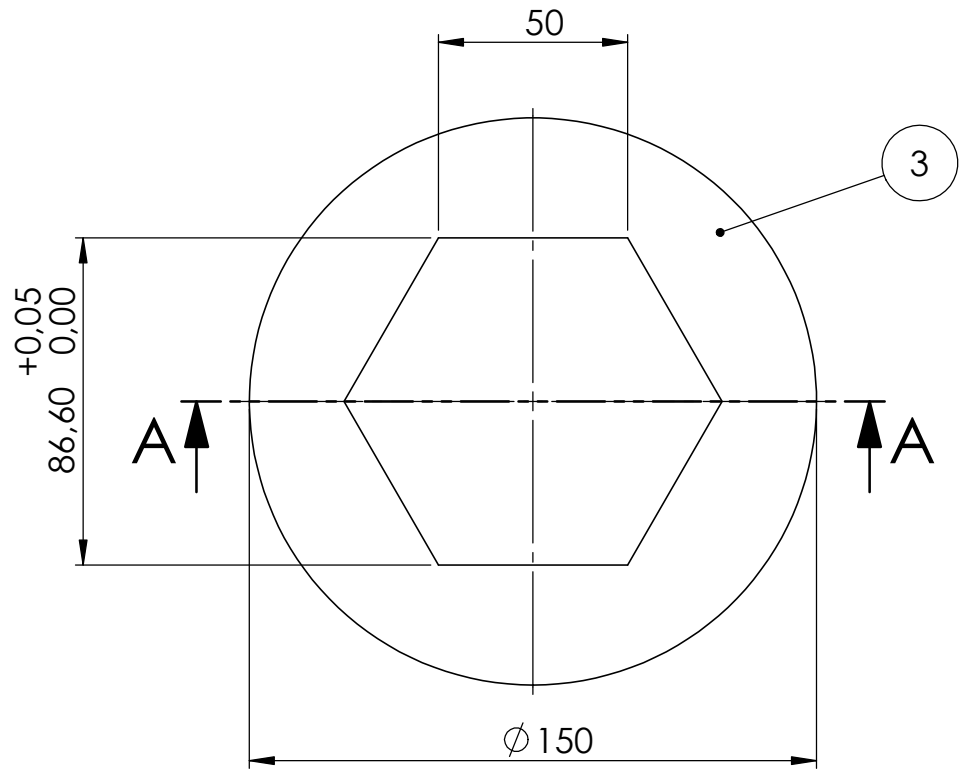
TITULO
ENGRANAJE TRITURADOR

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL	PLANO 24
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:5	
APROBO			LEGAJO:R-4268/4		

SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 2





TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
3	TAPA e:5mm	SAE 1045	2
2	CILINDRO DIAM 150mm e:5mm	SAE 1045	1
1	TUBO HEXAGONAL e:5mm	SAE 1045	1

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA

ROSARIO

TITULO

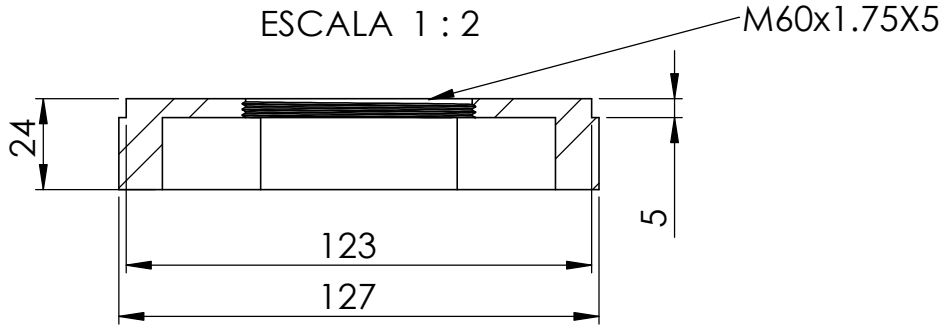
SEPARADOR TRITURADO

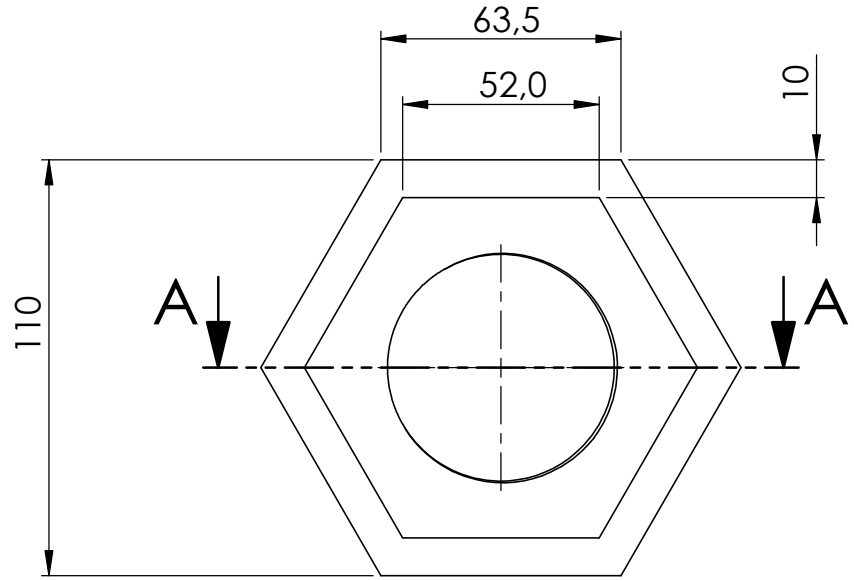
	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:2
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

PLANO 25

SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 2





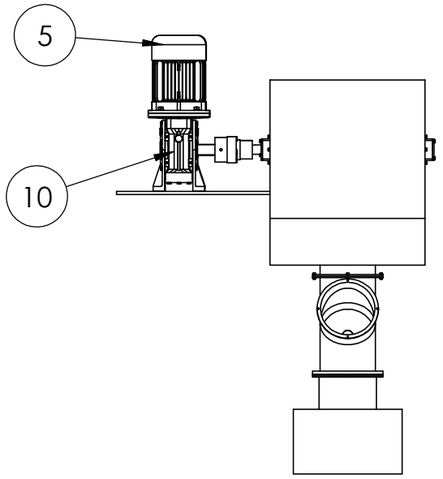
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

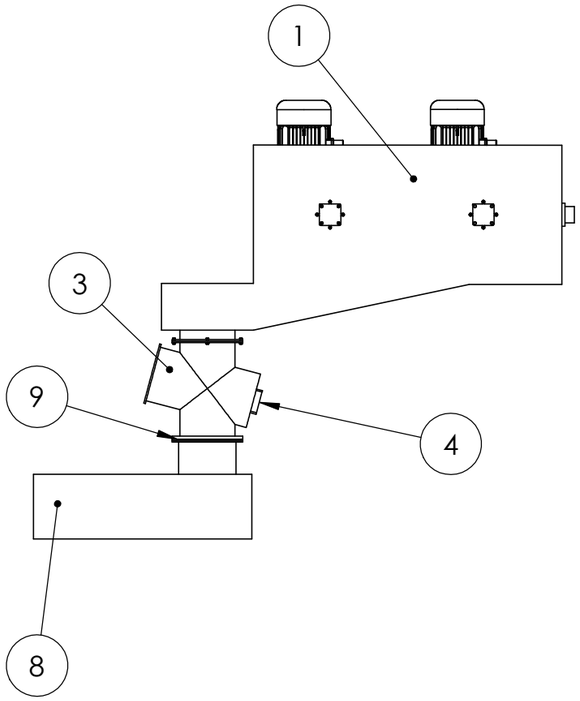
TUERCA MECANIZADA DE SUJECIÓN	SAE 1045	0.8 KG
DENOMINACION	MATERIAL	PESO

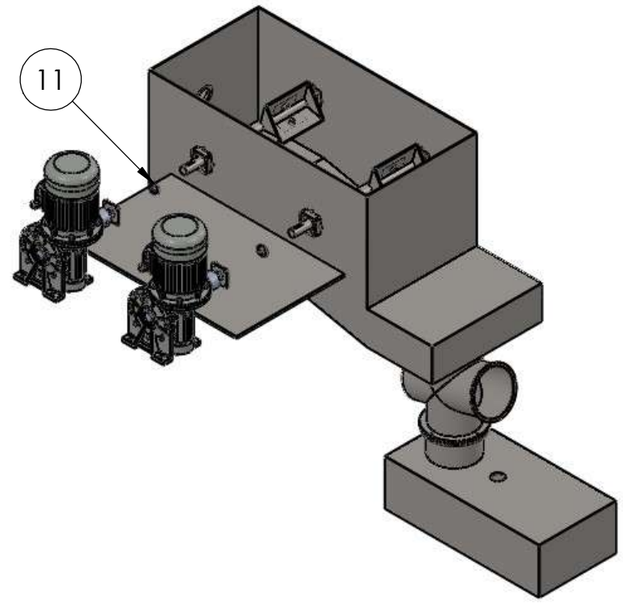
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

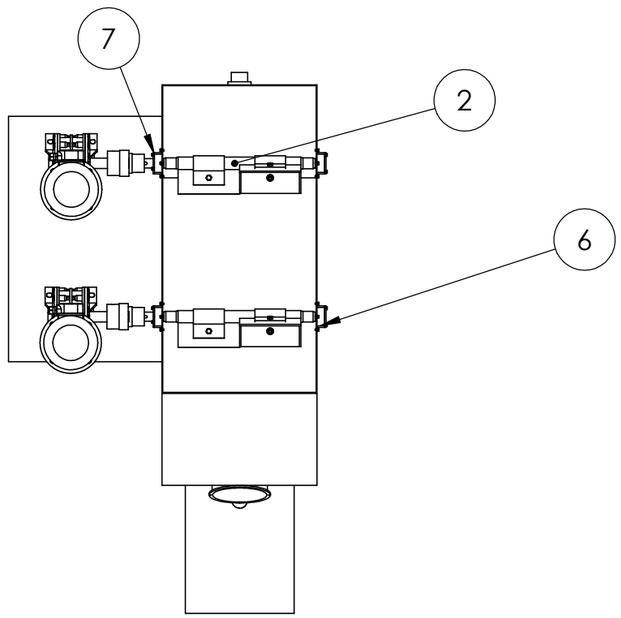
TITULO
TUERCA DE FIJACIÓN

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL	
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:2	PLANO 26
APROBO			LEGAJO:R-4268/4		









11	RODAMIENTO SKF 6206-2RS1	-	4
10	REDUCTOR I:50	-	2
9	CRIBA DE DEPOSITO	35	1
8	DEPOSITO	34	1
7	ENSAMBLAJE PORTA RODAMIENTO EJE DE ENJUAGUE LADO MOTOR	33	2
6	ENSAMBLAJE PORTA RODAMIENTO EJE DE ENJUAGUE	32	2
5	MOTOR ELECTRICO 0.37KW (0.5HP)	-	2
4	TAPA DE RODAMIENTO DE SINFIN DE TRASPORTE	31	1
3	ENTRADA DE SINFIN DE TRASPORTE	30	1
2	SUBENSAMBLAJE EJE ENJUAGUE	29	2
1	PILETA DE ENJUAGUE	28	1
Nª	DESCRIPCION	PLANO	CANT

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA

ROSARIO

TITULO

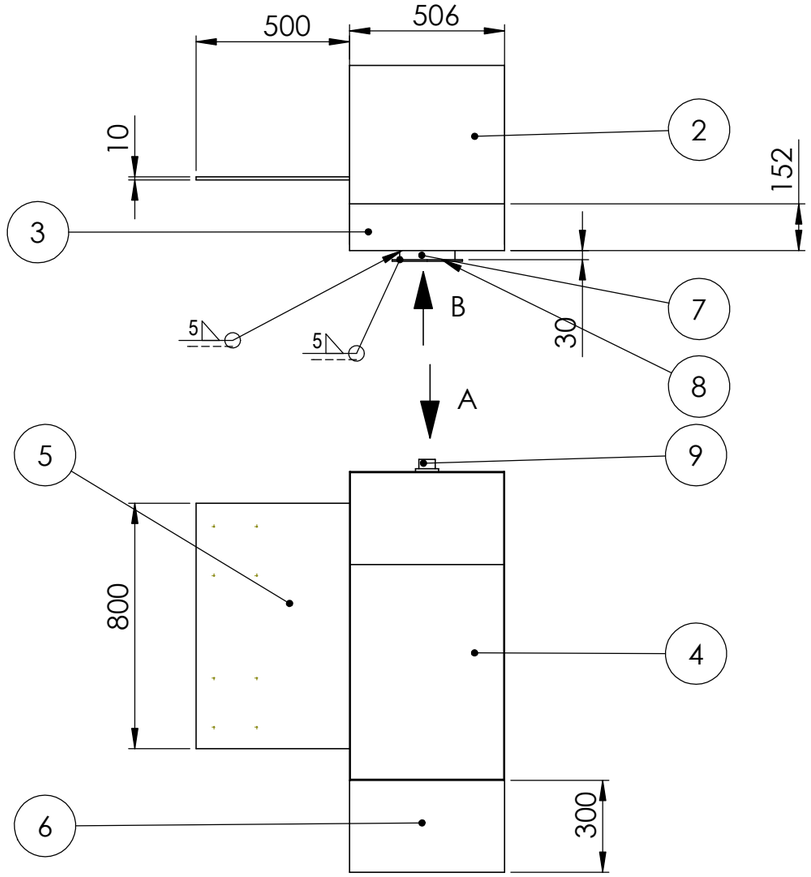
SUBENSAMBLAJE ENJUAGUE

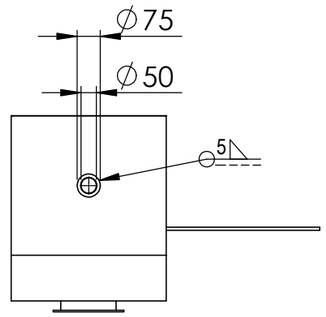
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL

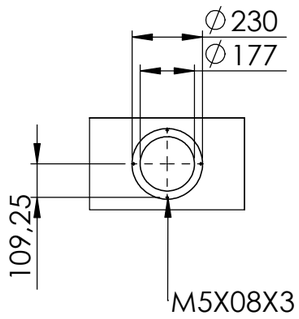
1:20

PLANO 27

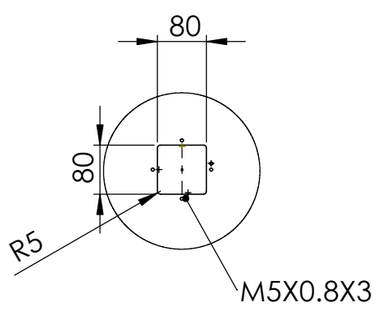




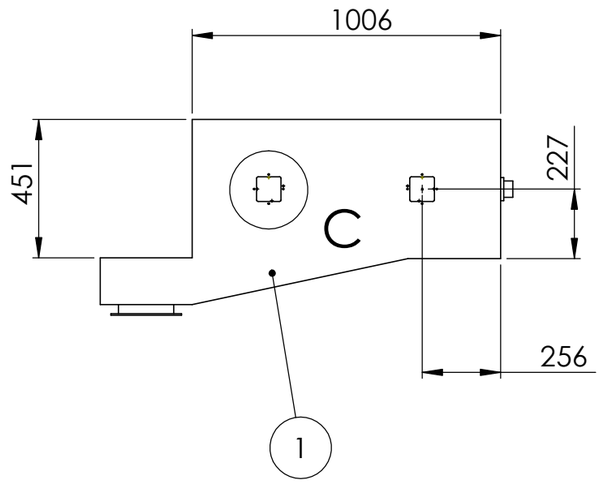
VISTA A
180,00°

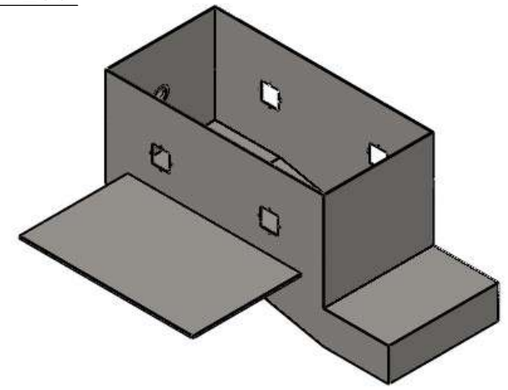


VISTA B



DETALLE C
ESCALA 1 : 10





VOLUMEN TOTAL: 71.7 Lts

VOLUMEN UTIL : 60.2 Lts

Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
9	BRIDA DIAM 50mm	ASIS 304	1
8	ARO DE DIAM 230 mm e:3 mm	ASIS 304	1
7	CILINDRO DIAM 177 X30mm e: 3mm	ASIS 304	1
6	PLACA 506X300 e: 3 mm	ASIS 304	2
5	PLACA 500X800 e: 3 mm	ASIS 304	1
4	PLACA 506X1006 e: 3 mm	ASIS 304	1
3	PLACA 506X152 e: 3 mm	ASIS 304	2
2	PLACA 506X451 e: 3 mm	ASIS 304	2
1	PLACA 1306X451 e: 3 mm	ASIS 304	2

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

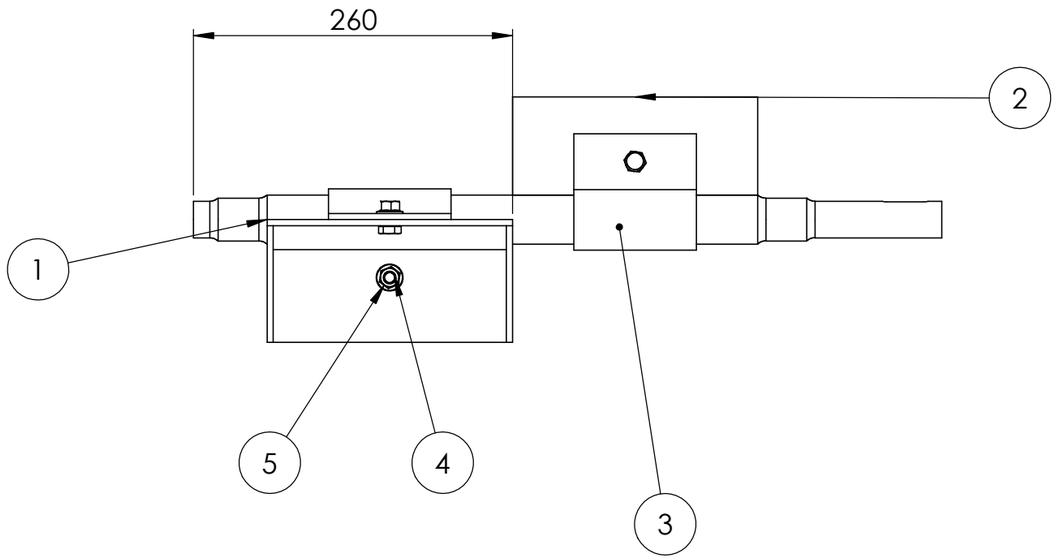
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

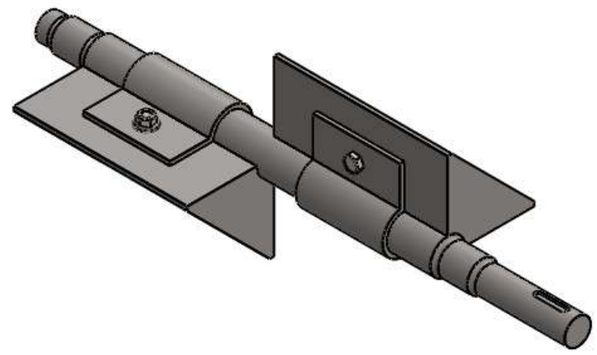
TITULO
PILETA DE ENJUAGUE

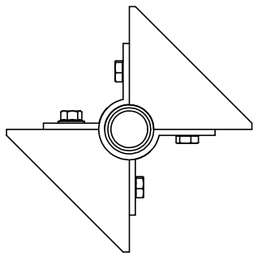
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL
1:20

PLANO 28







Nº	DESCRIPCION	PLANO	CANT
5	TUERCA INOX M10X1.5	-	4
4	TORNILLO INOX M10 X 1.5 X 20	-	4
3	SUJETA PALETAS	41	2
2	PALETA ENJUAGUE	40	2
1	EJE DE PILETA ENJUAGUE	39	1

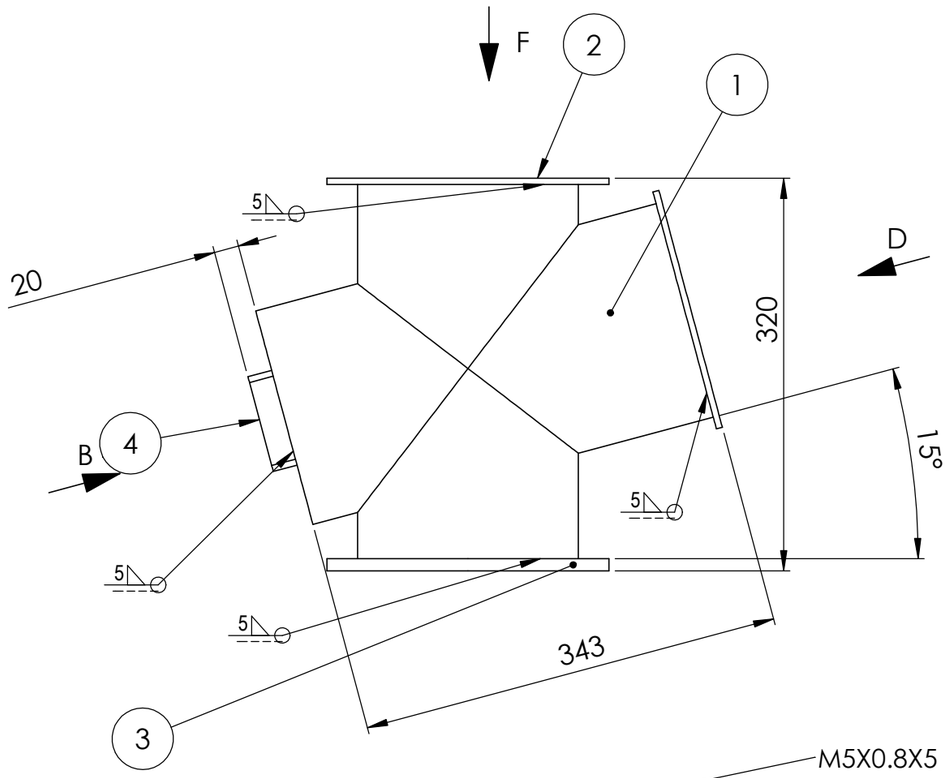
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

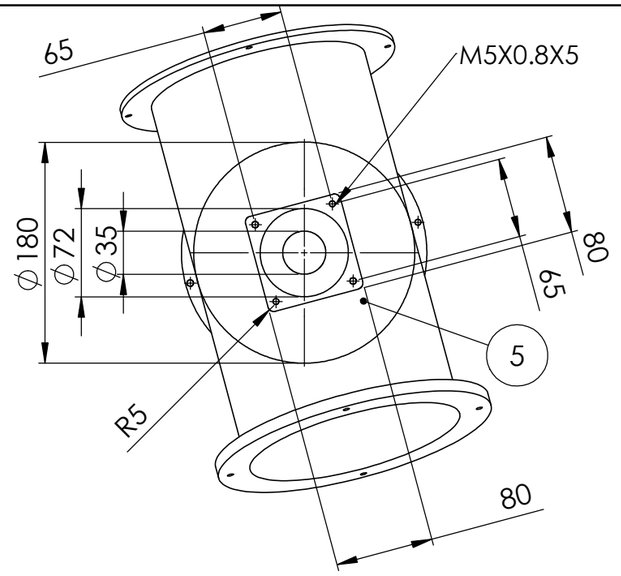
TITULO
SUBENSAMBLAJE EJE ENJUAGUE

	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

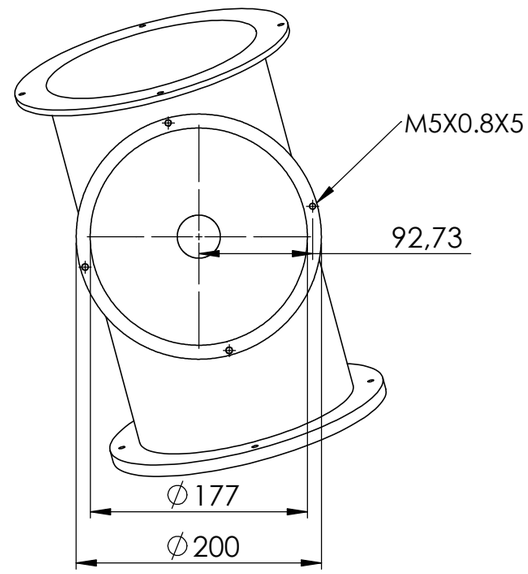
ESCALA GENERAL
1:5

PLANO 29

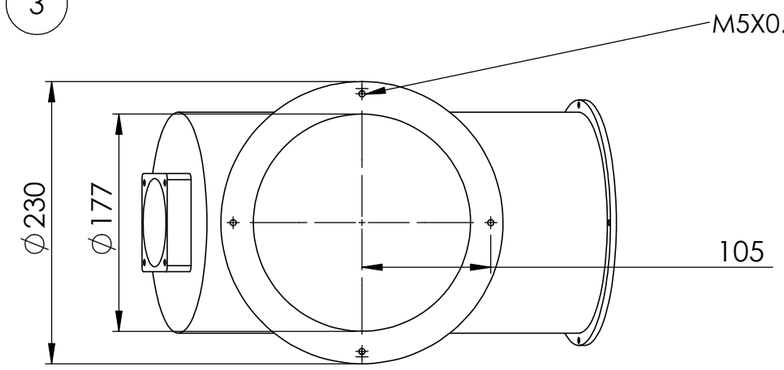


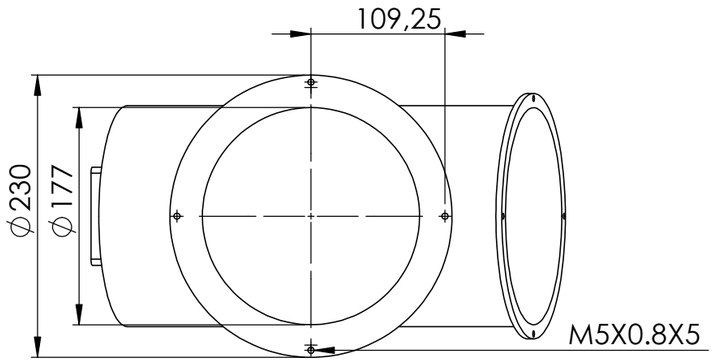


VISTA B

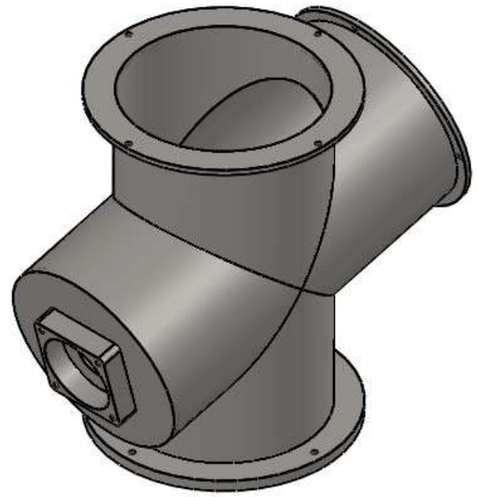


VISTA D





VISTA F



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCIÒN	MATERIAL	CANT
5	TAPA CIRCULAR DIAM 180	AISI 304	1
4	PORTA RODAMIENTO 80X80	AISI 304	1
3	ARO DIAM 230 INT 177 e:10mm	AISI 304	1
2	ARO DIAM 230 INT 177 e:5mm	AISI 304	2
1	CILINDRO DIAM INT 177 e: 3mm	AISI 304	2

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

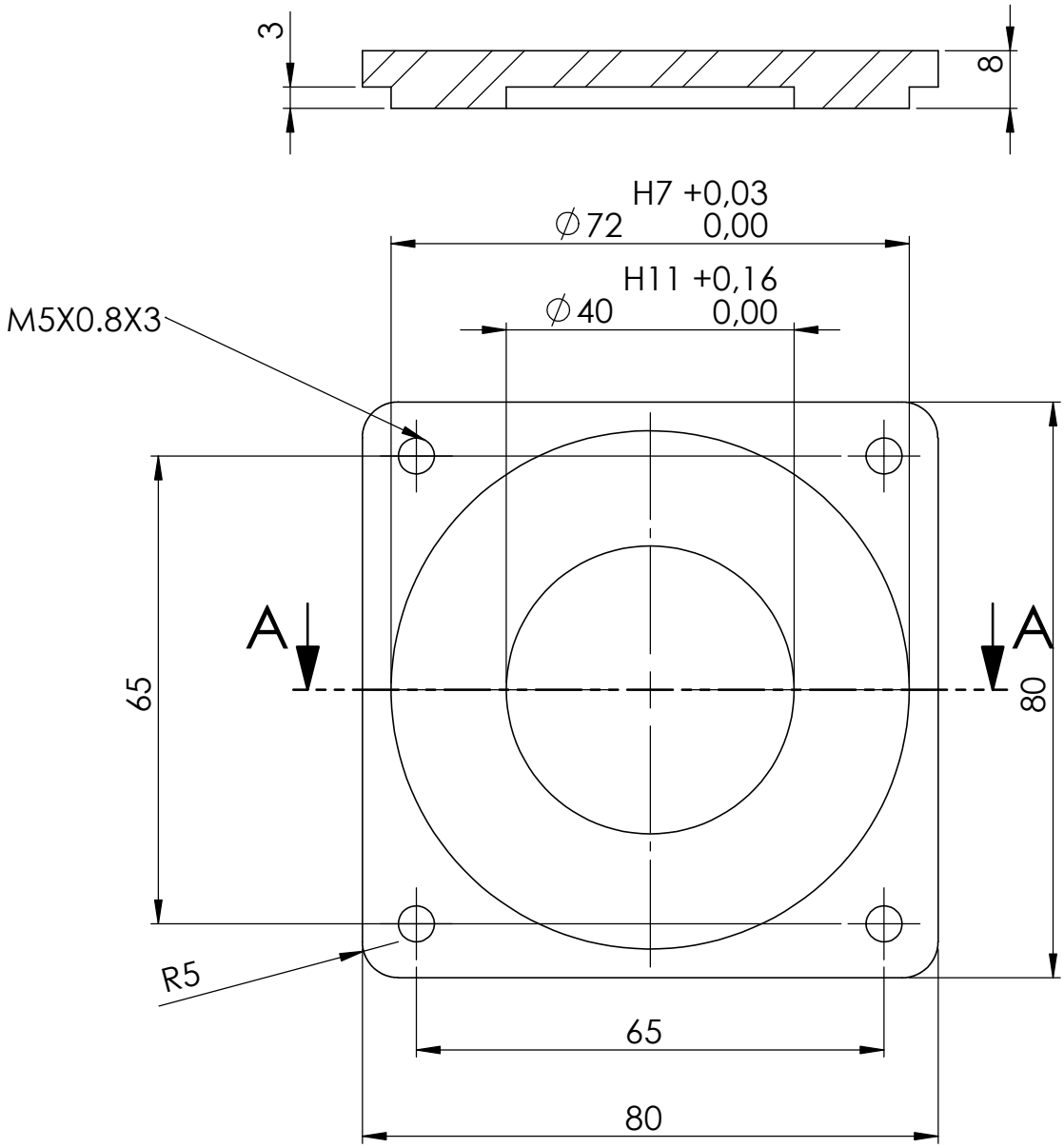
TITULO
ENTRADA SINFIN TRASPORTE

	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL
1:5

PLANO30

SECCIÓN A-A



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

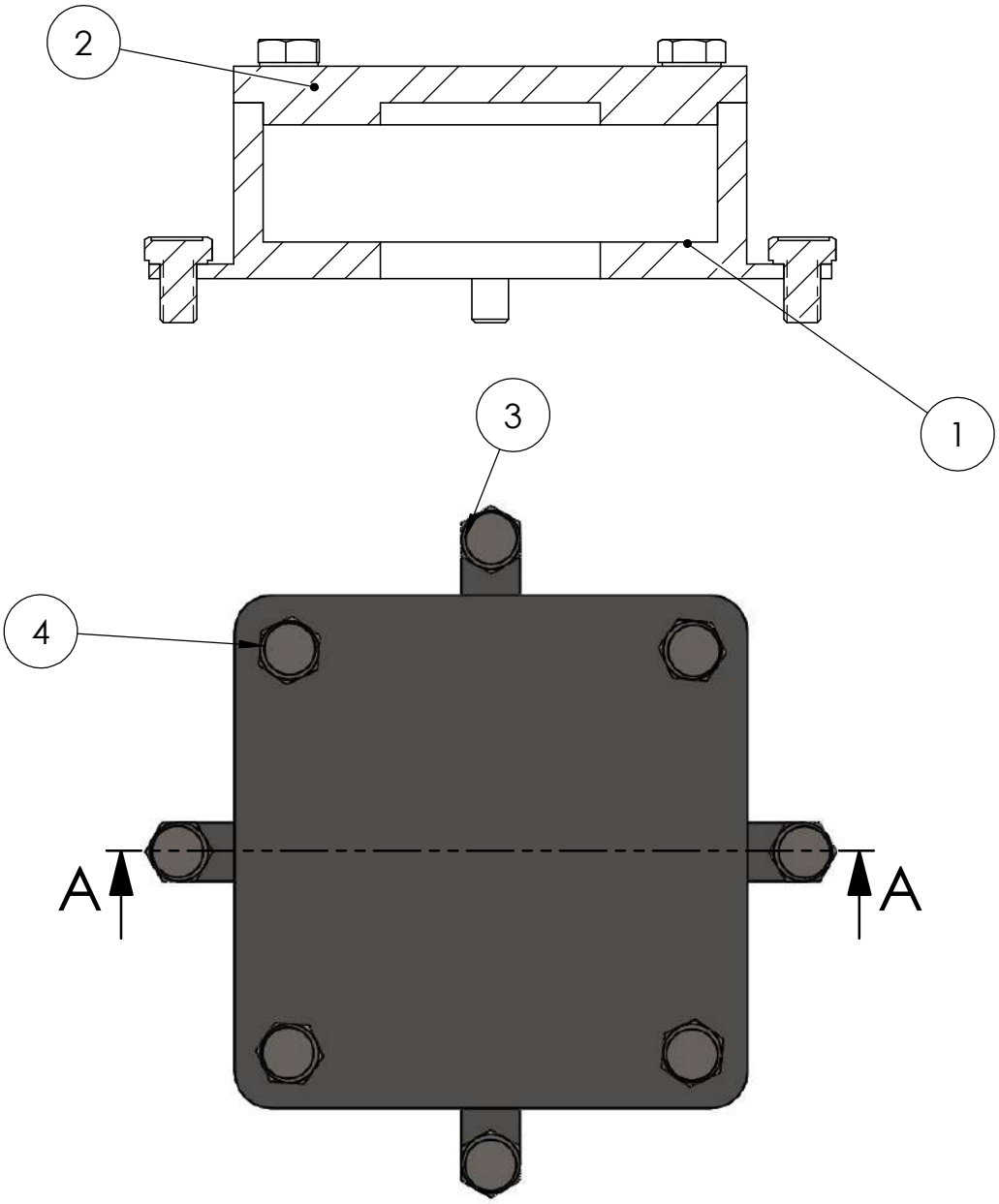
TAPA MECANIZADA	AISI 304	0.3 KG
DENOMINACION	MATERIAL	PESO

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO
TAPA DE RODAMIENTO DE SINFIN DE TRASPORTE

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL	PLANO 31
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:1	
APROBO			LEGAJO:R-4268/4		

SECCIÓN A-A



N.º	DESCRIPCIÓN	PLANO	CANTIDAD
4	TORNILLO INOX M5 x 0.8 x 14	-	4
3	TORNILLO INOX M5 x 0.8 x 8	-	4
2	TAPA RODAMIENTO	37	1
1	PORTA RODAMIENTO ENGUAJE	36	1

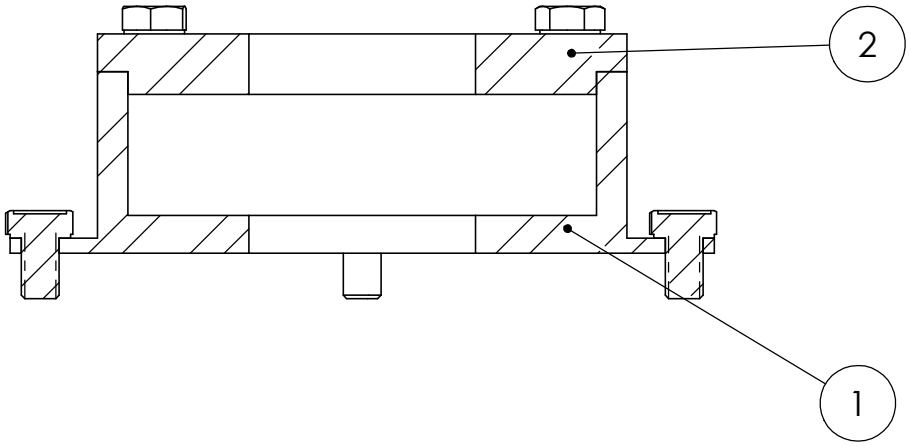
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

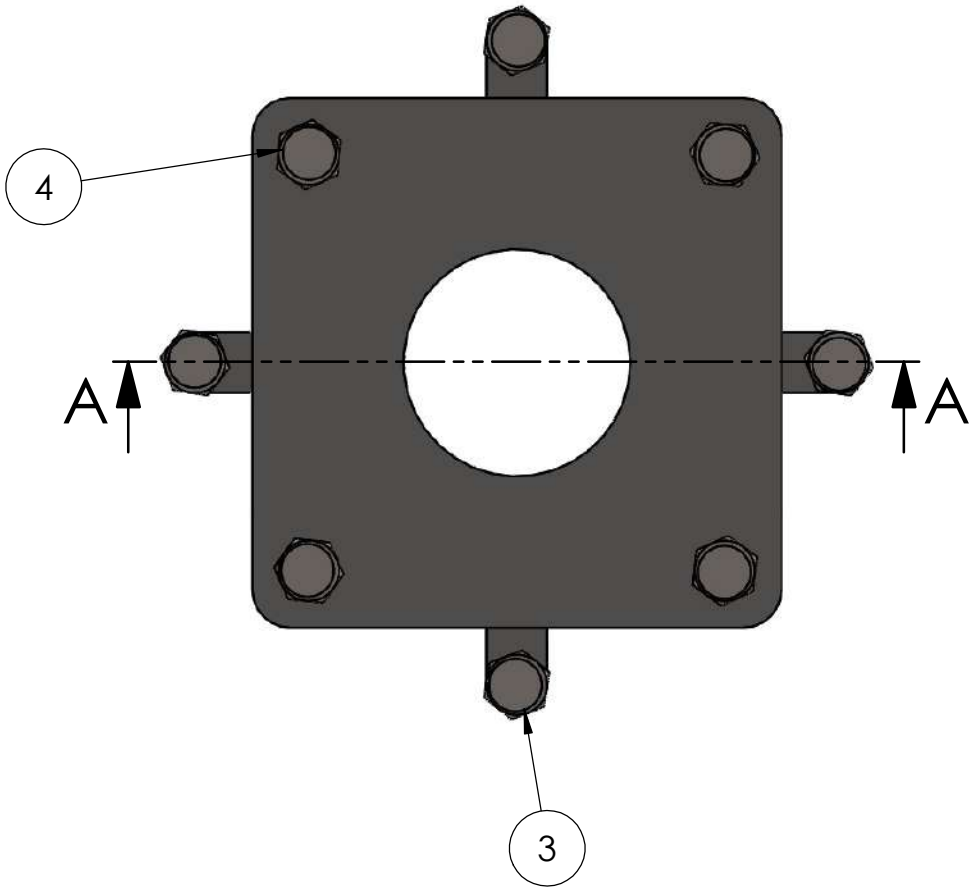
TITULO
ENSAMBLAJE PORTA
RODAMIENTO EJE DE ENJUAGUE

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:1
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

PLANO 32

SECCIÓN A-A





4	TORNILLO INOX M5 x 0.8 x 14	-	4
3	TORNILLO INOX M5 x0.8 x 8	-	4
2	TAPA RODAMIENTO LADO MOTOR	38	1
1	PORTA RODAMIENTO ENGUAJE	36	1
N.º	DESCRIPCIÒN	PLANO	CANTIDAD

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA

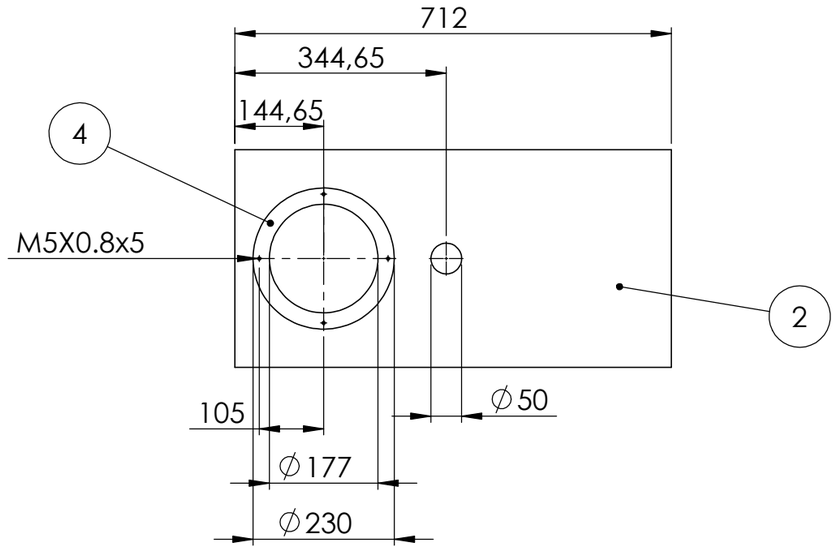
ROSARIO

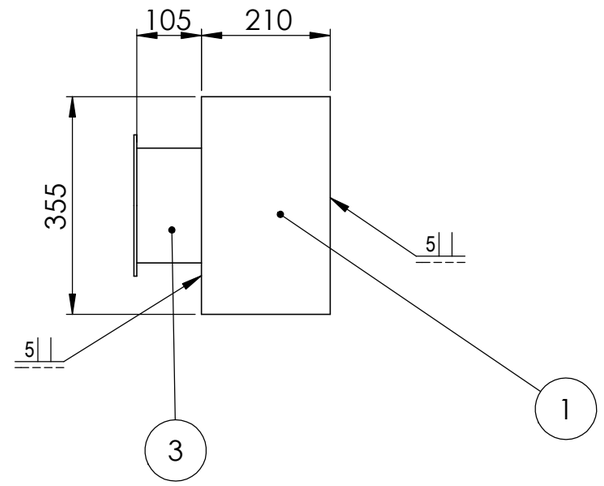
TITULO

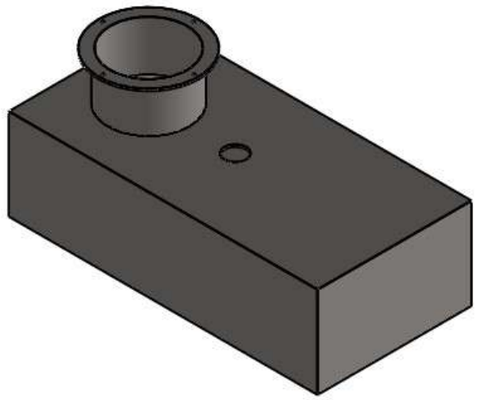
ENSAMBLAJE PORTA RODAMIENTO
EJE DE ENJUAGUE
LADO MOTOR

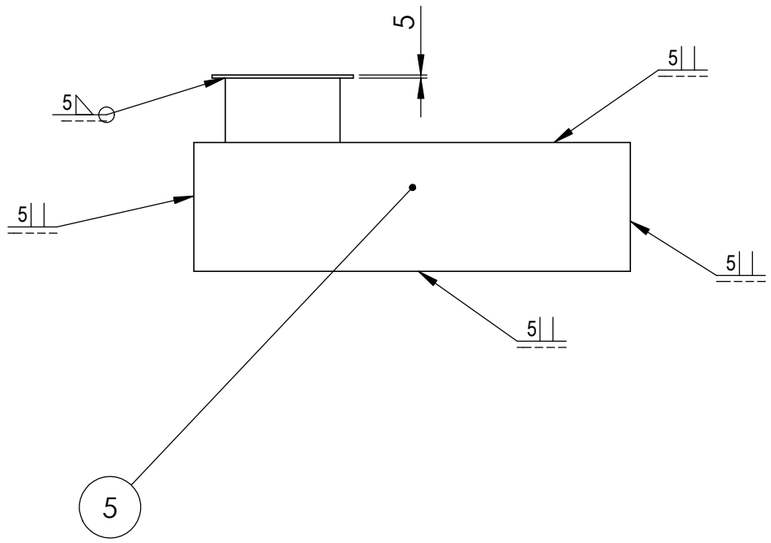
	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:1
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

PLANO 33









Nº	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT
5	PLACA 712X210	AISI 304	2
4	ARO DIA 230 INT 177 X 5mm	AISI 304	1
3	CILINDRO DIA.INT 177X105mm	AISI 304	1
2	PLACA 712X355X5	AISI 304	2
1	PLACA 210X355X5	AISI 304	2

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

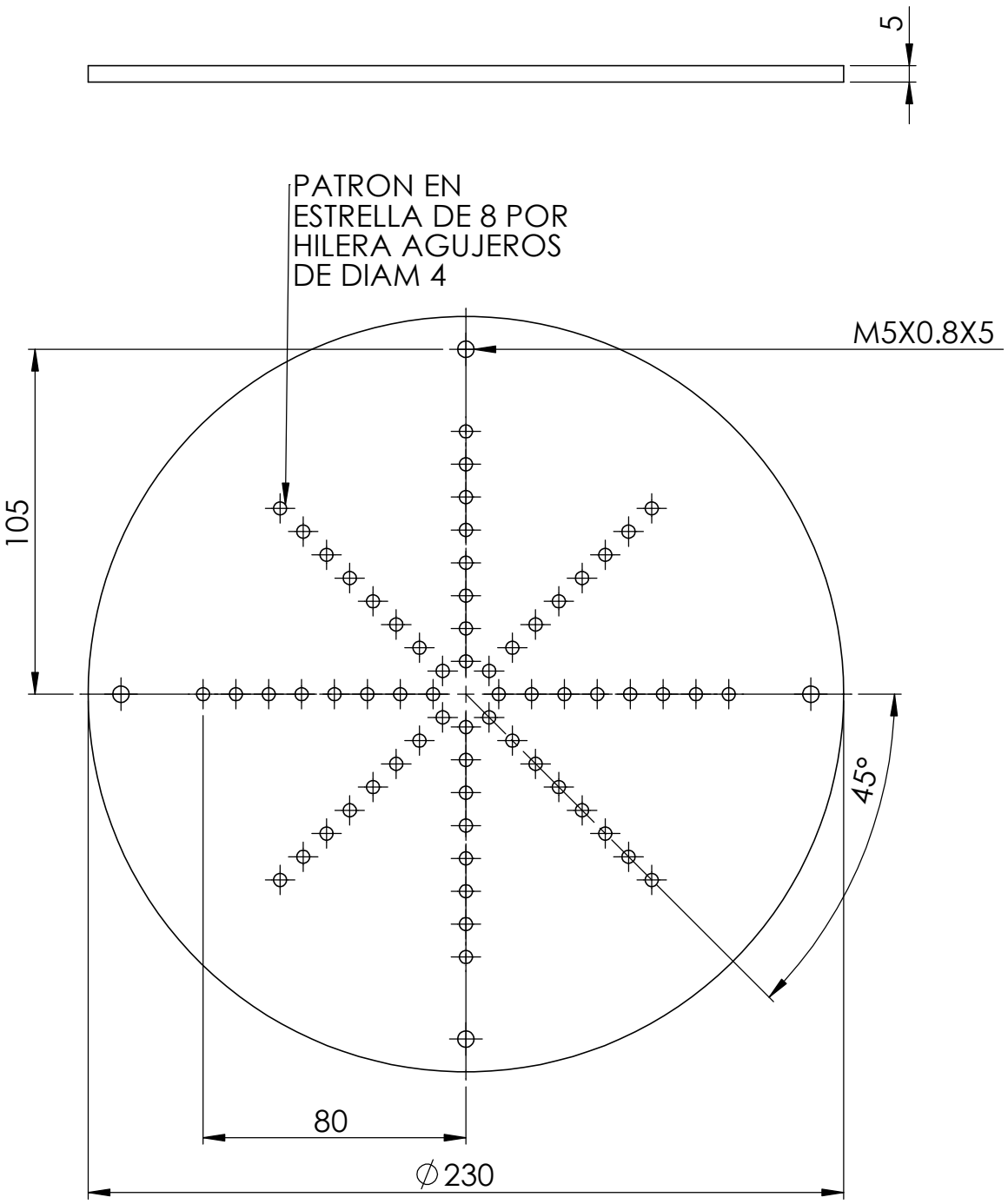
TITULO
DEPOSITO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL
1:10

PLANO 34

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

CIRCULO DIAM 230x5mm	AISI 304	1.6 KG
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO

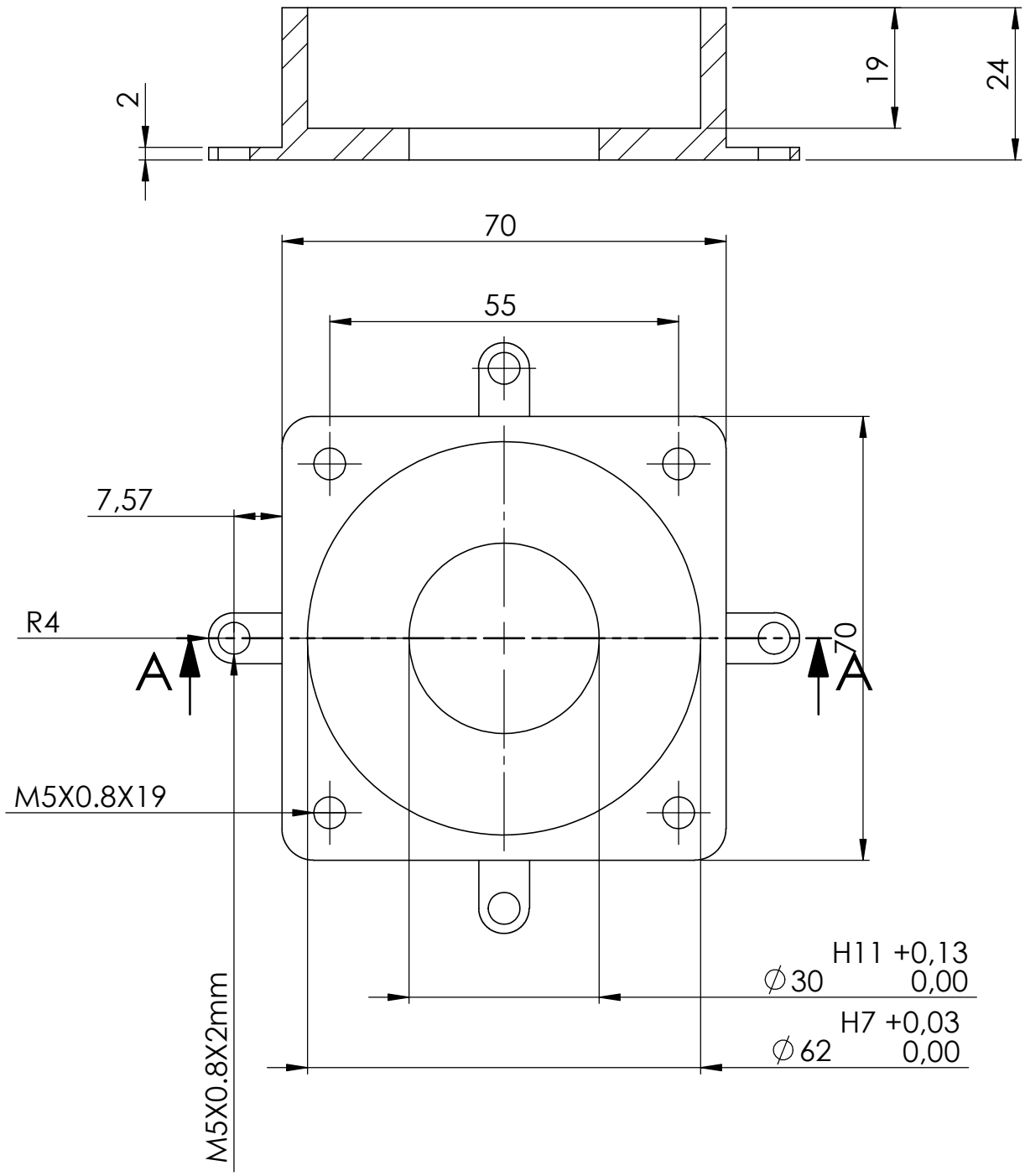
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO
CRIBA DE DEPOSITO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:2
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

PLANO 35

SECCIÓN A-A



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

PLACA MECAN. e:24mm	AISI 304	4.3 KG
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO

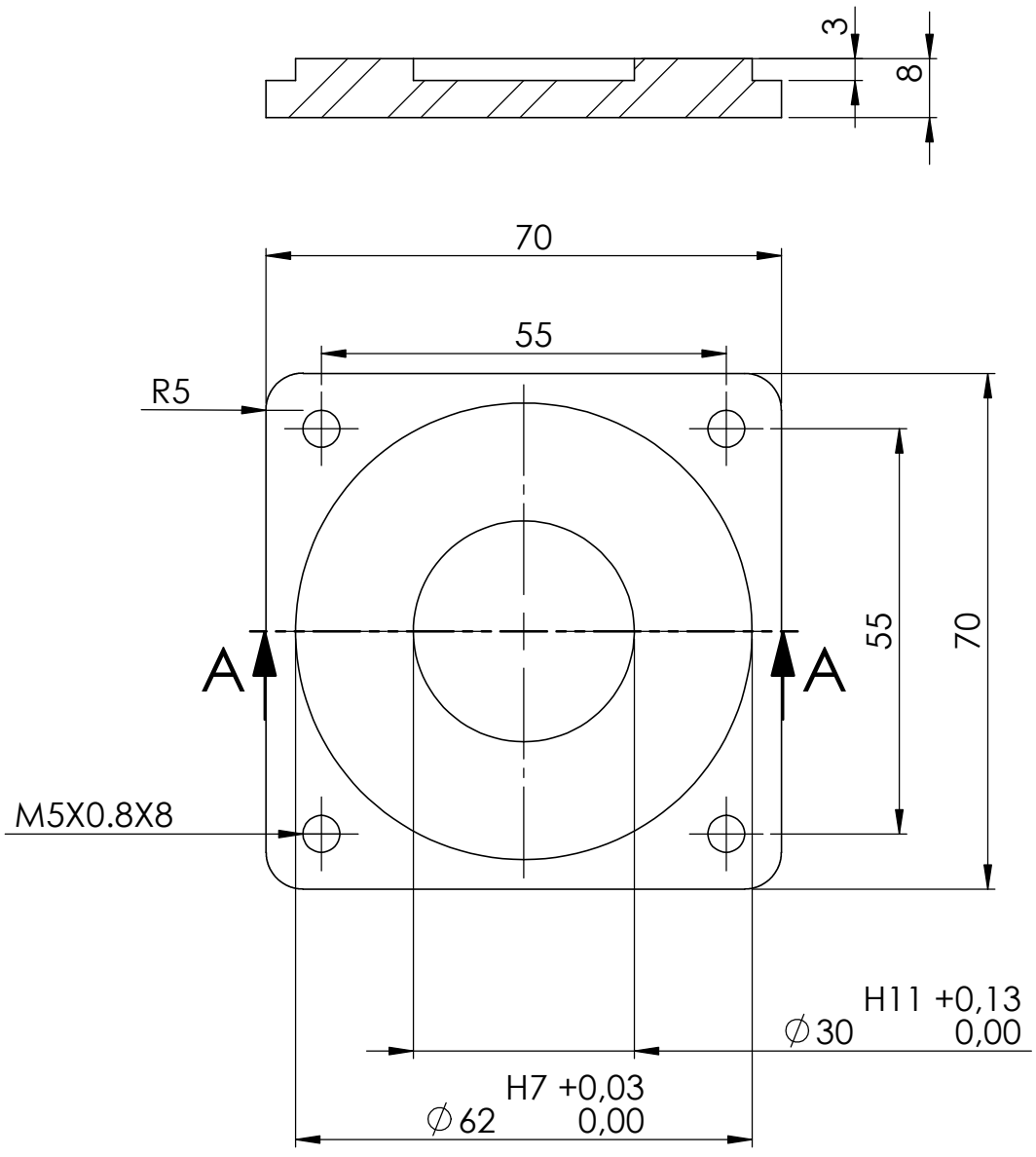
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO
PORTA RODAMIENTO ENJUAGUE

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL	PLANO 36
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:1	
APROBO			LEGAJO:R-4268/4		

SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 1



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

PLACA MECAN. e:8mm	AISI 304	0.2 KG
DENOMINACION	MATERIAL	PESO

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA

ROSARIO

TITULO

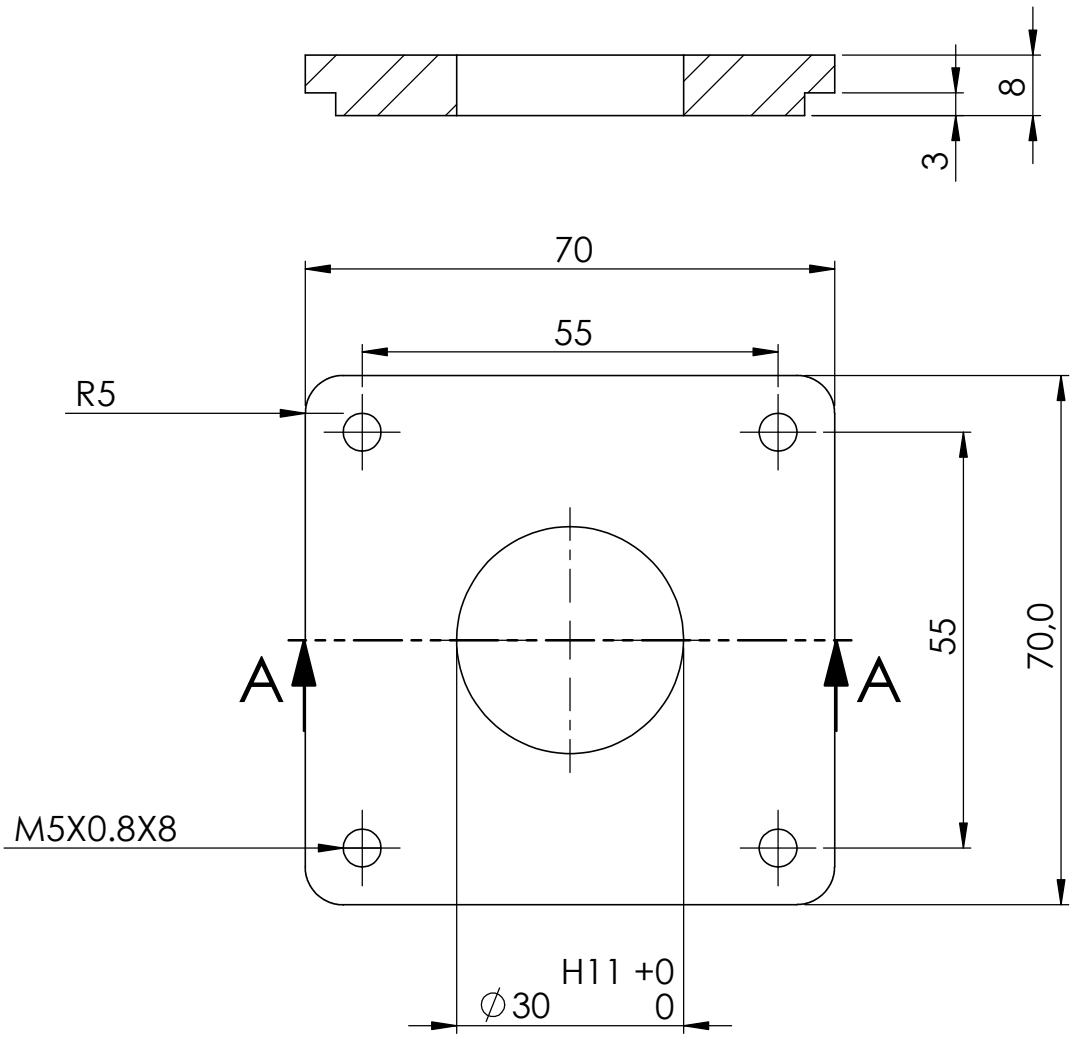
TAPA PORTARODAMIENTO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:1
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

PLANO 37

SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 1



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

PLACA MECAN. e:8mm	AISI 304	0.2 KG
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA

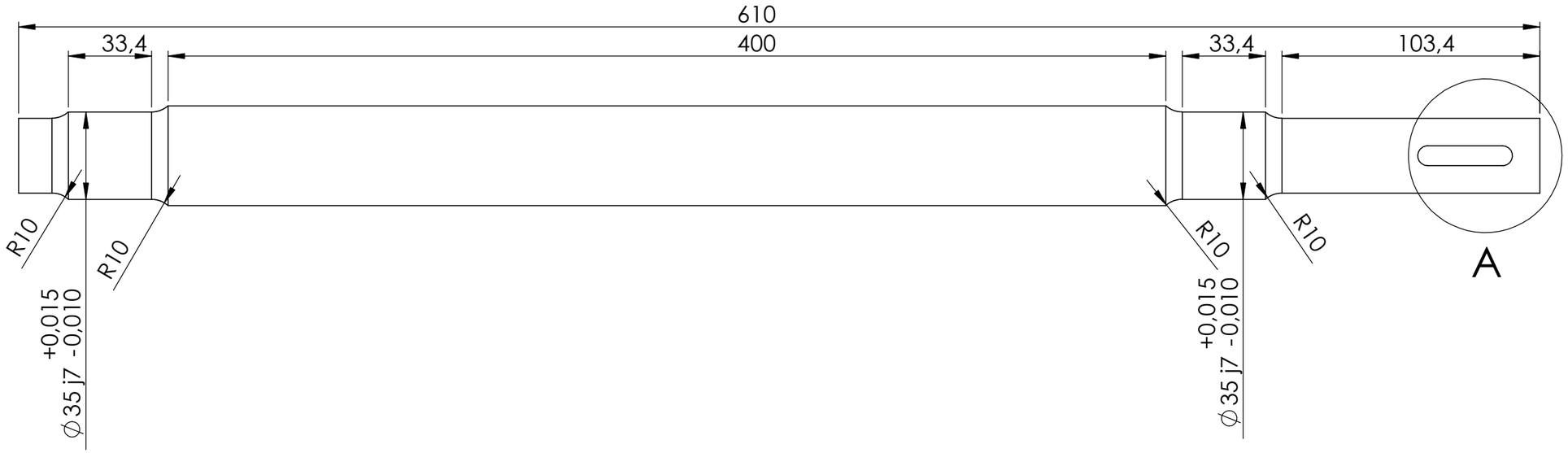
ROSARIO

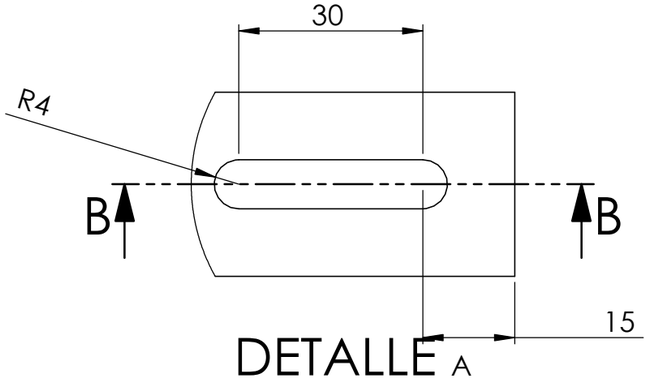
TITULO

TAPA LADO MOTOR

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:1
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

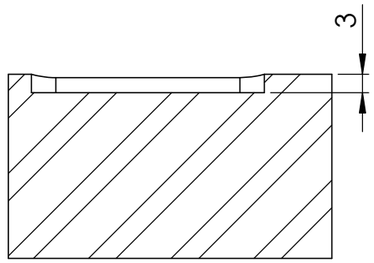
PLANO 38





DETALLE A

ESCALA 1 : 1

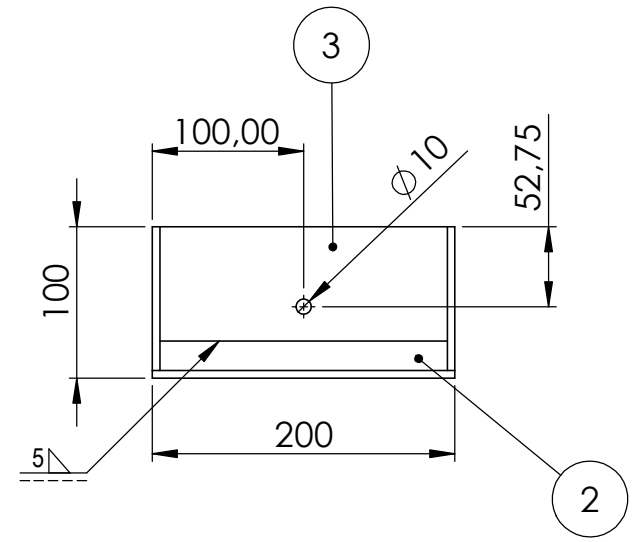


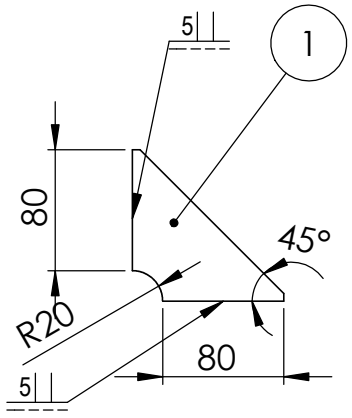
SECCIÓN B-B

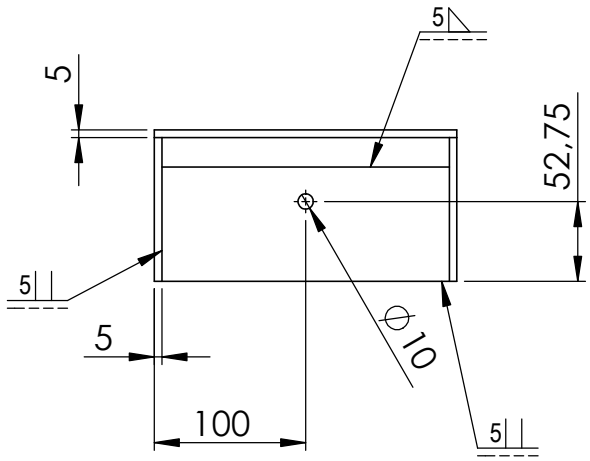
ESCALA 1 : 1

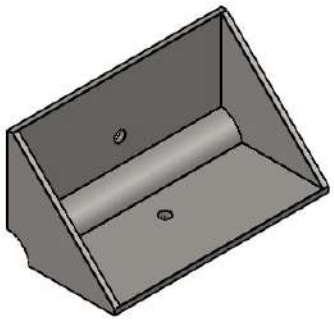
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

EJE DIAMETRO 40				AISI 304	5.38 KG
DESCRIPCIÓN				MATERIAL	PESO
PROYECTO FINAL ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO				TITULO EJE DE PILETA ENJUAGUE	
	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL	PLANO 39
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:2	
APROBO			LEGAJO: R-4268/4		









TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

3	PLACA 200X100 e:5 mm	AISI 304	2
2	TUBO DE DIAM 40 mm	AISI 304	1
1	PLACA 80X80 e:5mm	AISI 304	2
Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA

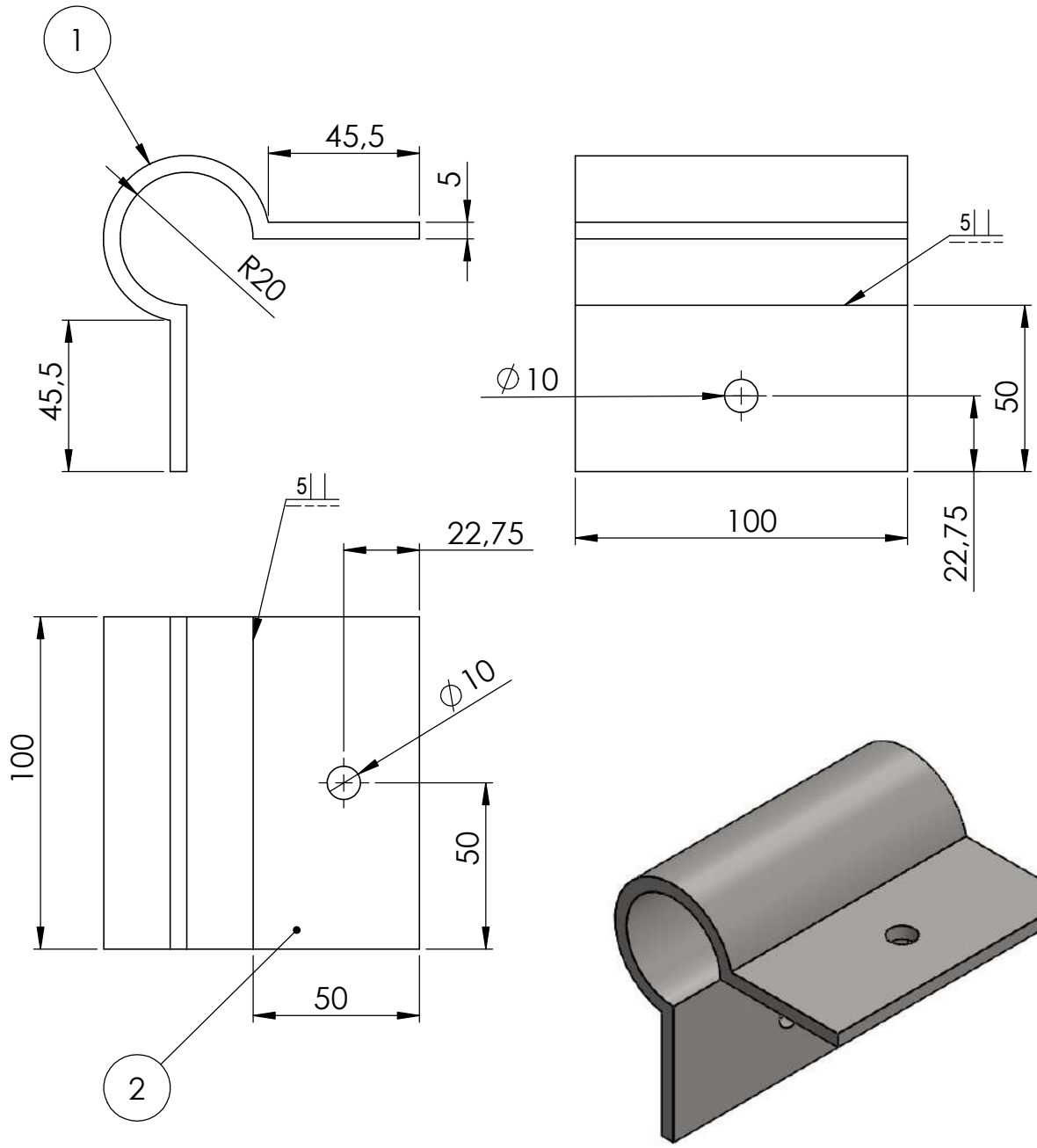
ROSARIO

TITULO

PALETA DE ENJUAGUE

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:5
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

PLANO 40



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

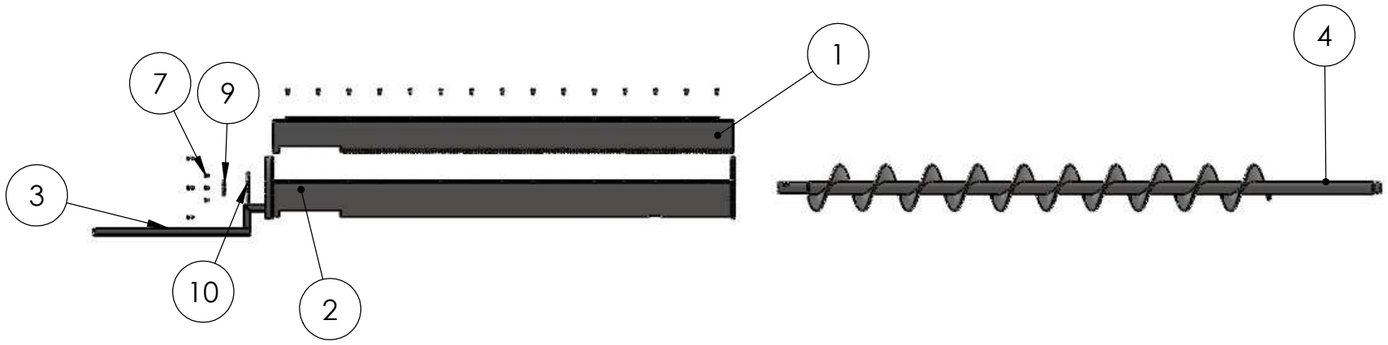
Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
2	TUBO DIAMETRO 40	AISI 304	1
1	PLACA 50X100e: 5mm	AISI 304	2

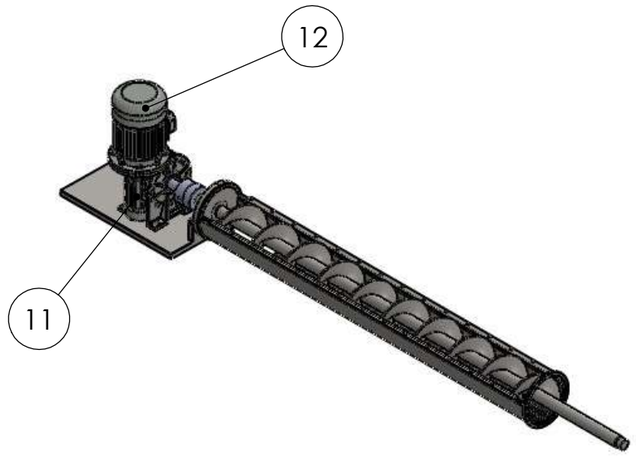
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

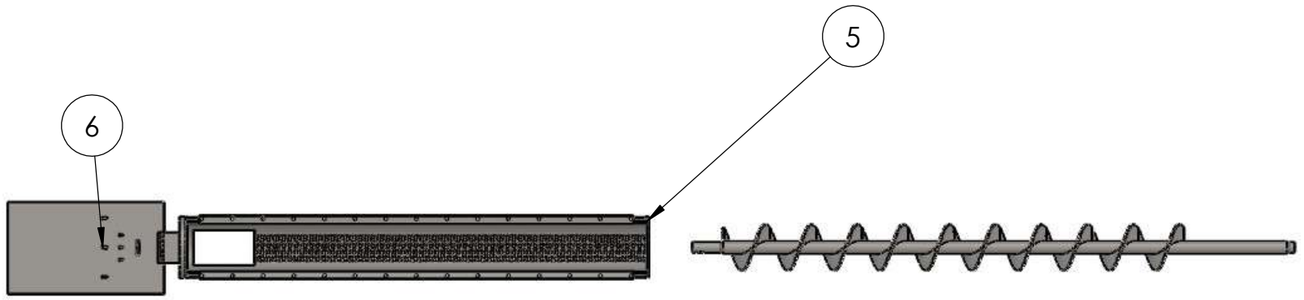
TITULO
SUJETA PALETAS

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:2
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

PLANO 41







Nº	DESCRIPCIÓN	PLANO	CANT
12	MOTOR ELÉCTRICO 0,37 kW (0,5 HP) 1450 rpm	-	1
11	REDUCTOR i:40	-	1
10	TAPA TRASPORTE	47	1
9	RODAMIENTO SKF 6207-2RS1	-	1
8	TORNILLO INOX M5X0.8x 25	-	4
7	TORNILLO INOX M5 x0.8 x 8	-	4
6	TORNILLO INOX M5 x 0.8 x 14	-	4
5	TORNILLO INOX M5 x 0.8 x 10	-	30
4	SINFIN TRASPORTE	46	1
3	TAPA DE TRASPORTE PORTA RODAMIENTO	45	1
2	SEMITUBO DE TRASPORTE SINFIN	44	1
1	SEMITUBO DE TRASPORTE CON MALLA	43	1

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA

ROSARIO

TITULO

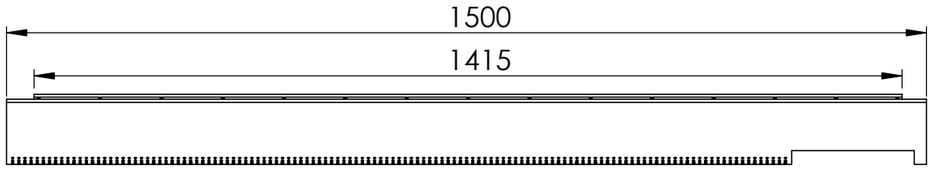
SUBENSAMBLAJE TRASPORTE

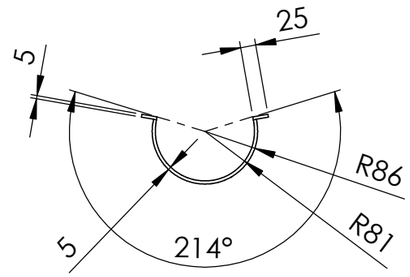
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL

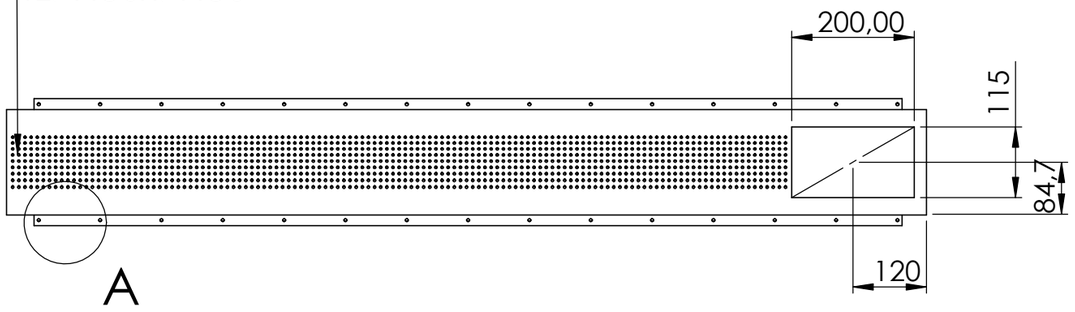
1:20

PLANO 42

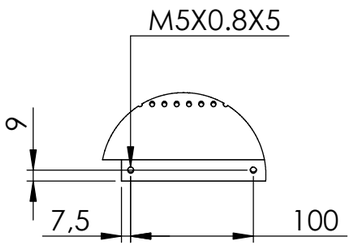




MATRIZ DE AGUJEROS
DE DIAM 5 CENTRADO ,
127 AGUX9 AGU







DETALLE A

ESCALA 1 : 5

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT
2	PLACA 25 e: 5mm	AISI 304	2
1	TUBO DE DIAM ext 172mm e:5 mm	AISI 304	1

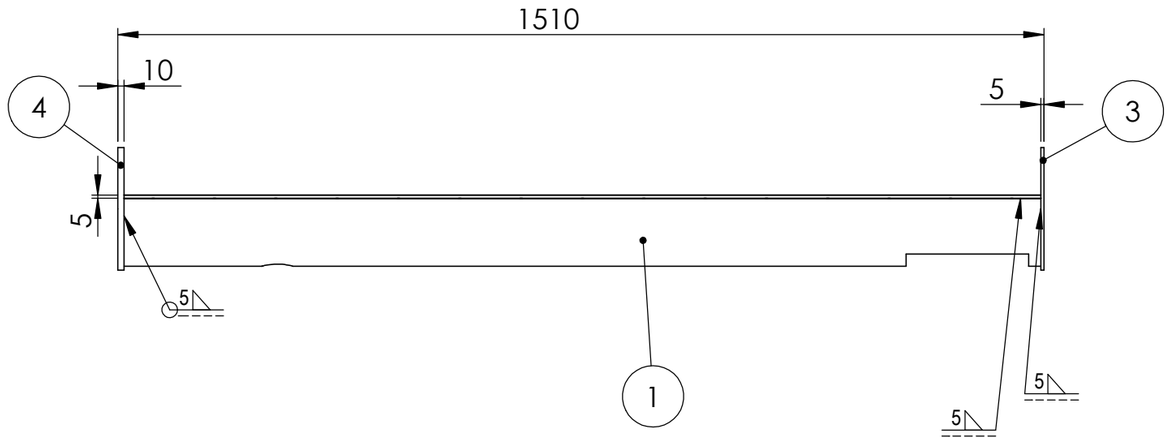
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

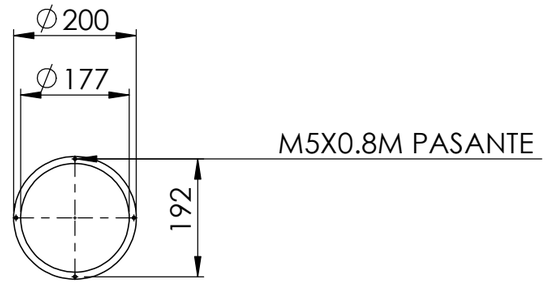
TITULO
SEMITUBO DE TRASPORTE CON MALLA

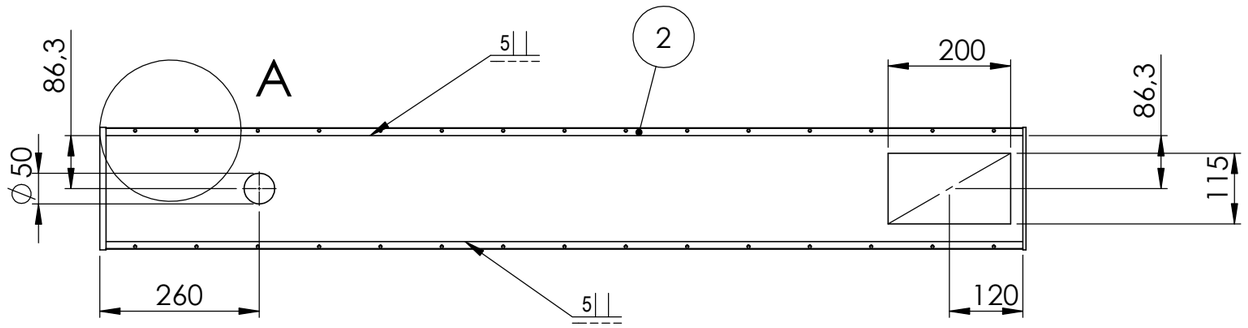
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL
1:10

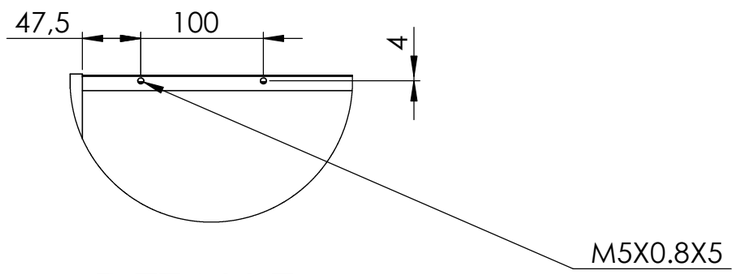
PLANO 43











DETALLE A

ESCALA 1 : 5

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT
4	ARO DE DIAEM ext 200 int 177 e. 10mm	AISI 304	1
3	ARO DE DIAEM ext 200 int 177 e. 5mm	AISI 304	1
2	PLACA 25 e: 5mm	AISI 304	2
1	TUBO DE DIAM int 177mm e:5 mm	AISI 304	1

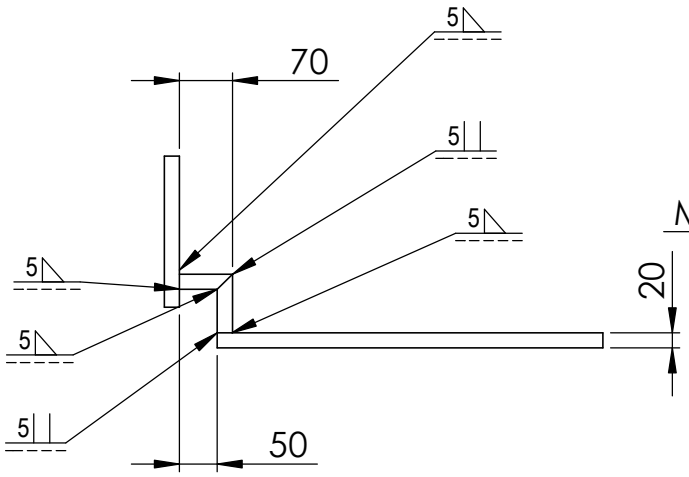
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

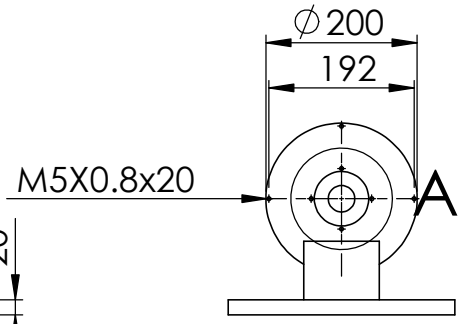
TITULO
SEMITUBO DE TRASPORTE SINFIN

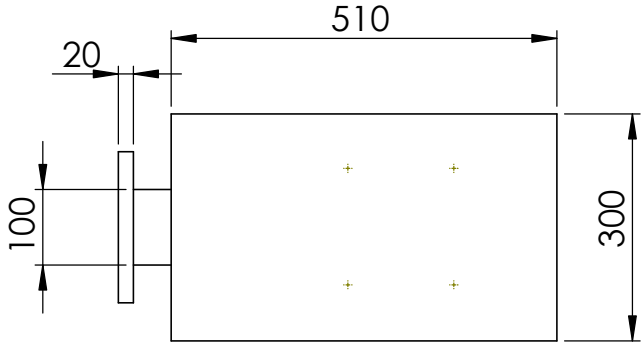
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

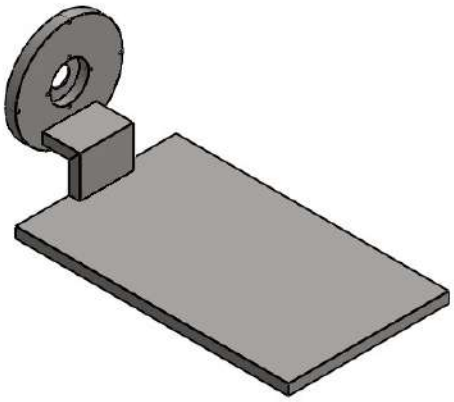
ESCALA GENERAL
1:10

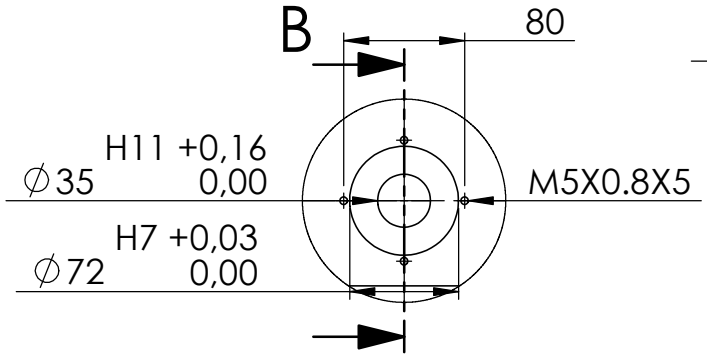
PLANO 44

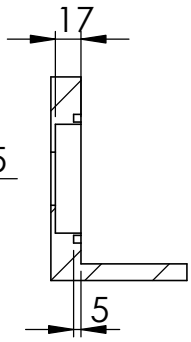












DETALLE A

ESCALA 1 : 5

SECCIÓN B-B

ESCALA 1 : 5

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCIÒN	MATERIAL	CANT
3	PLACA 300X5100	AISI 304	1
2	PLACA 70X100 e 20MM	AISI 304	2
1	PLACA CIRCULAR DE DIA 200 e 20MM	AISI 304	2

PROYECTO FINAL

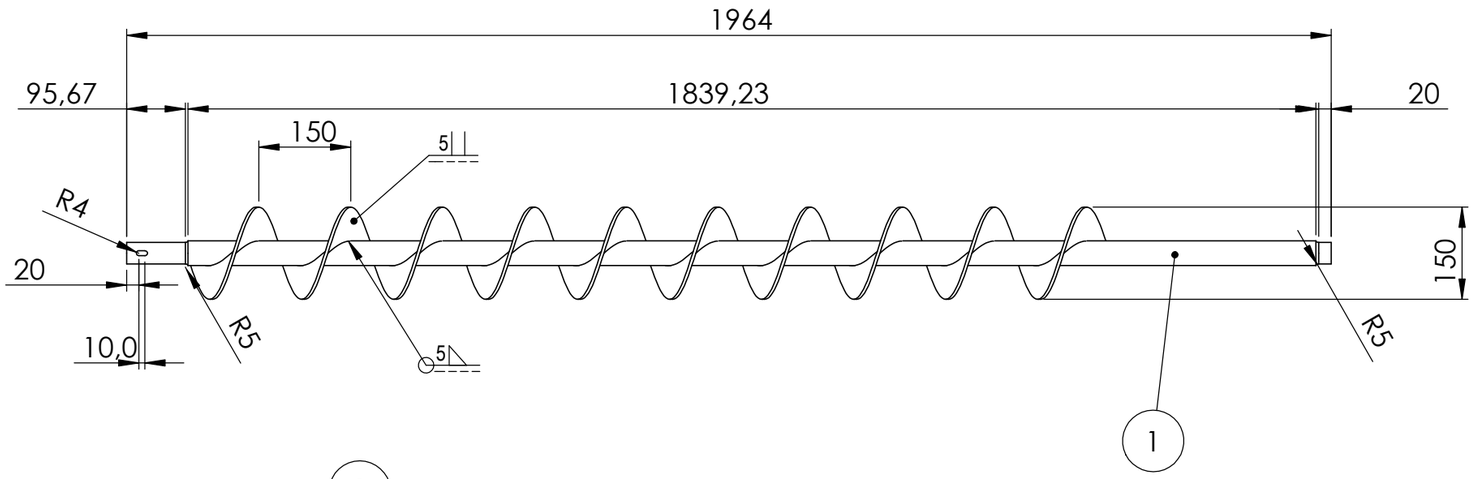
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

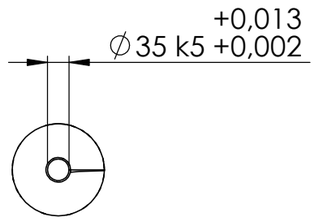
TITULO

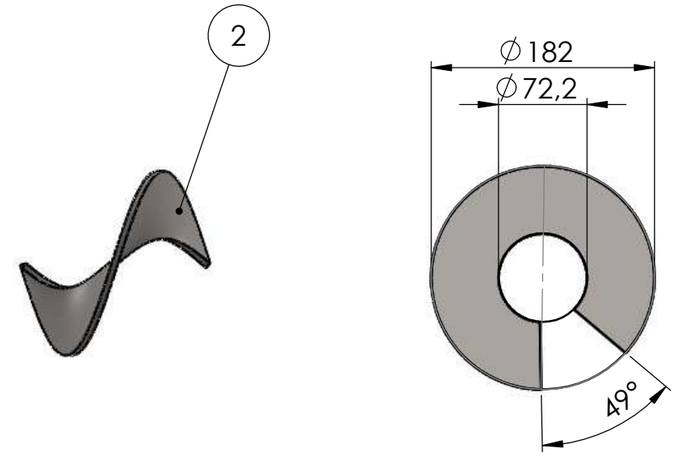
TAPA DE TRASPORTE PORTA RODAMIENTO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:10
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

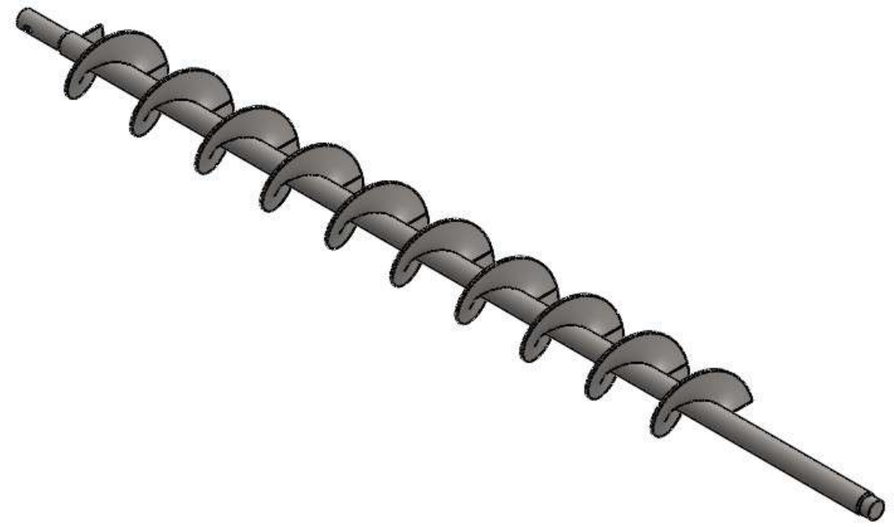
PLANO 45







SECCIÓN DE SINFIN DESPLEGADA
ESCALA 1:5



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
2	SECCION DE SINFIN TRASPORTE	AISIS 304	10
1	EJE DE SINFIN	AISIS 304	1

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO
SINFIN TRASPORTE

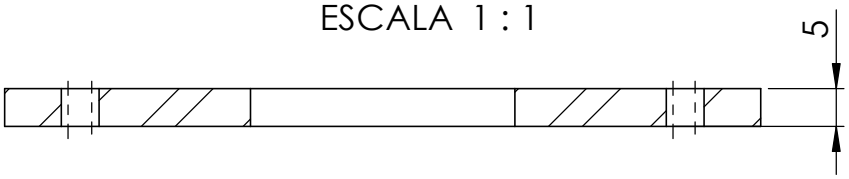
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

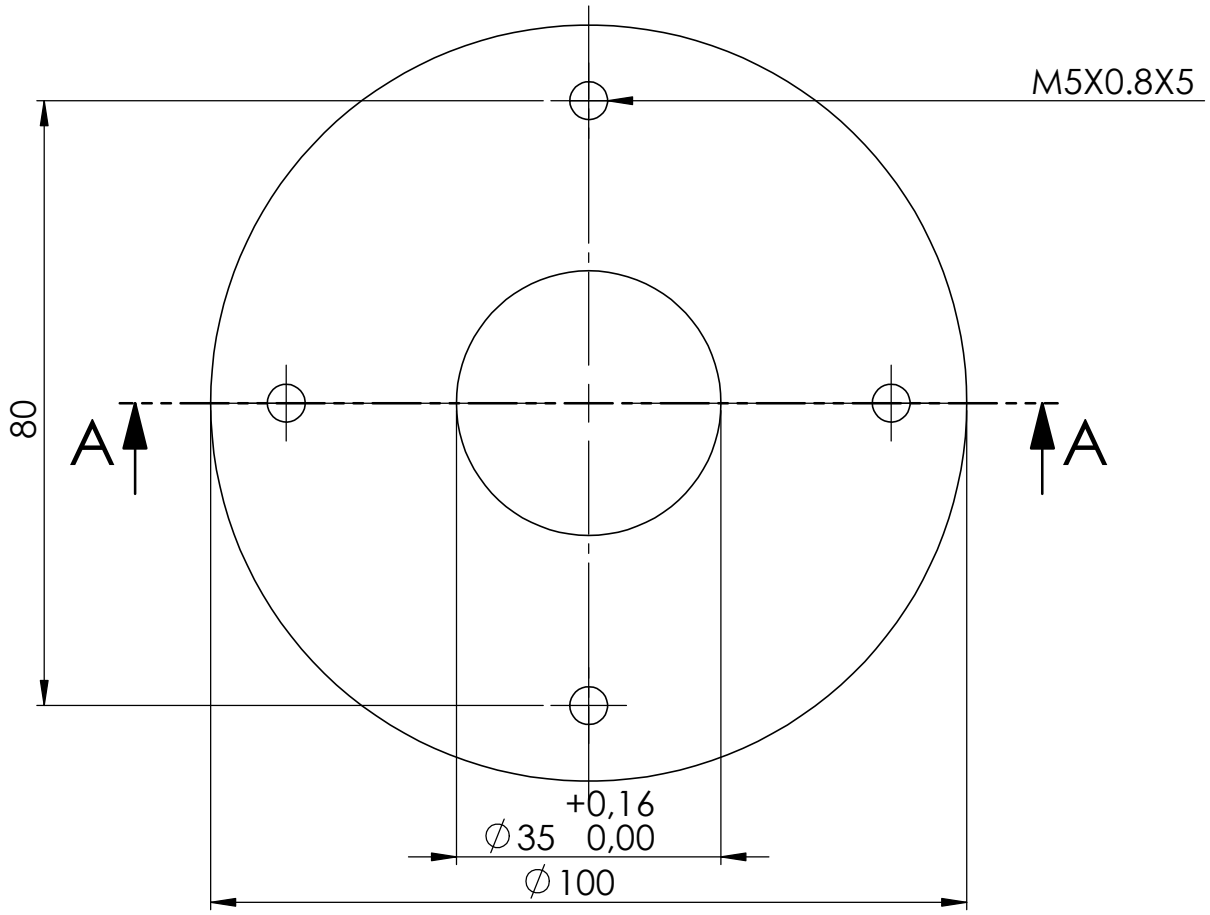
ESCALA GENERAL
1:10

PLANO46

SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 1





TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

TAPA CILINCDRICA DIAEMTRO 100	AISI 304	0.27 KG
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA

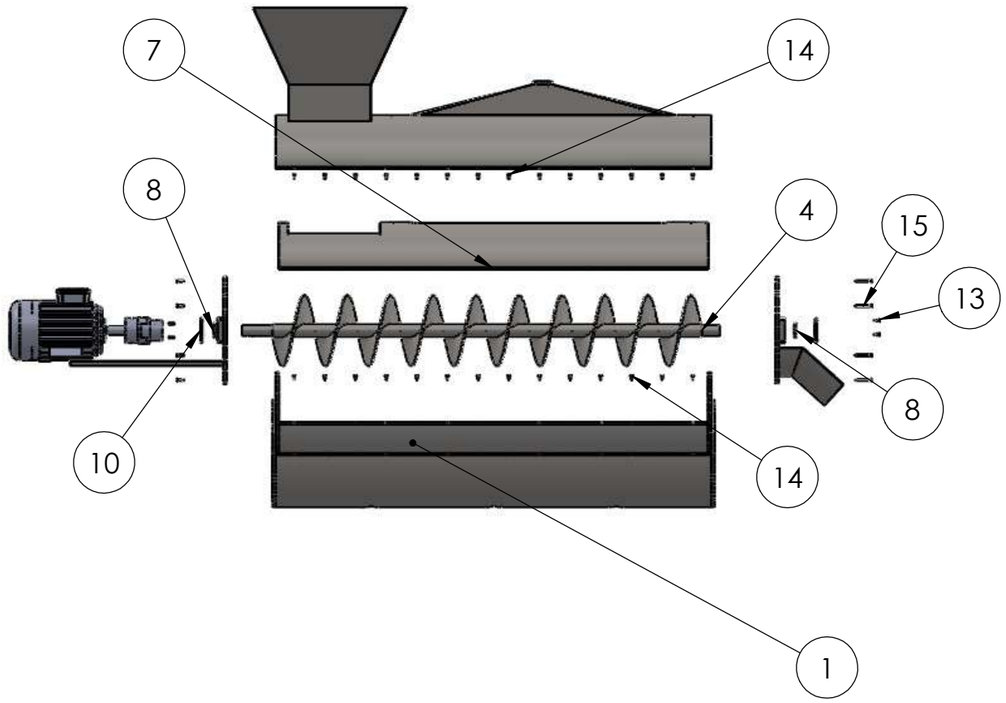
ROSARIO

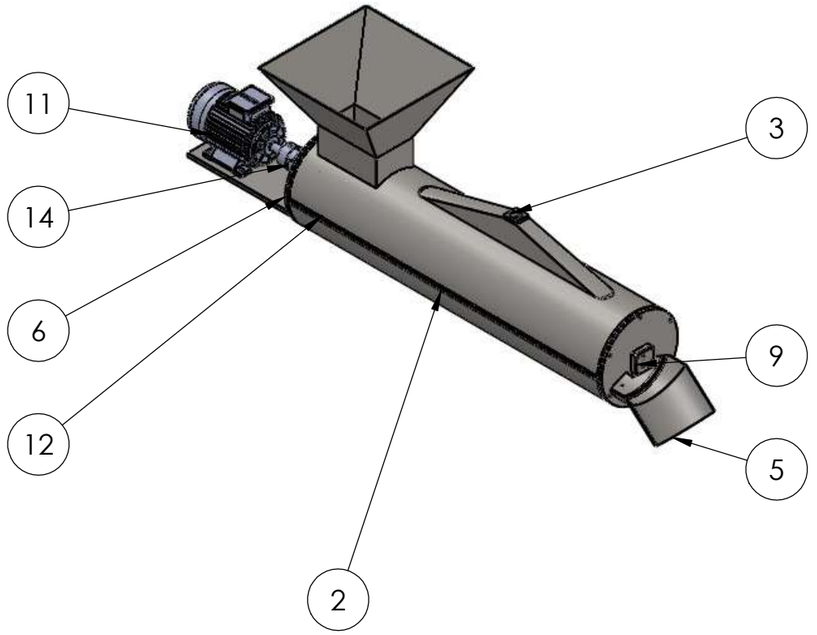
TITULO

TAPA TRANSPORTE

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:1
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

PLANO 47





Nº	DESCRIPCIÓN	PLANO	CANT
15	TORNILLOACERO INOX M5 x 0.8x 50	-	7
14	TORNILLO ACERO INOX M5 x 0.8 x 10	-	56
13	TORNILLO ACERO INOX M5 x 0.8 x 14	-	8
12	TORNILLO ACERO INOX M5 x 0.8x 20	-	6
11	MOTOR ELÉCTRICO 5,5 KW (7,5 HP), 1450 RPM	-	1
10	TAPA PORTARODAMIENTO SINFIN LADO MOTOR-SECADO	57	1
9	TAPA PORTARODAMIENTO SINFIN LADO MOTOR - LAVADO-SECADO	56	1
8	RODAMIENTO SKF 6207-2RS1	-	2
7	CRIBA SUPERIOR DEL SINFIN	55	1
6	EXTREMO PORTA MOTOR	54	1
5	SALIDA DE MATERIAL POR SINFIN	53	1
4	EJE DE LAVADO POR FRICCIÓN	52	1
3	LAVADO POR FRICCION CILINDRO BASE SUPERIOR	51	1
2	LAVADO POR FRICCION CILINDRO BASE INFERIOR	50	1
1	CRIBA INFERIOR SINFIN LAVADO	49	1

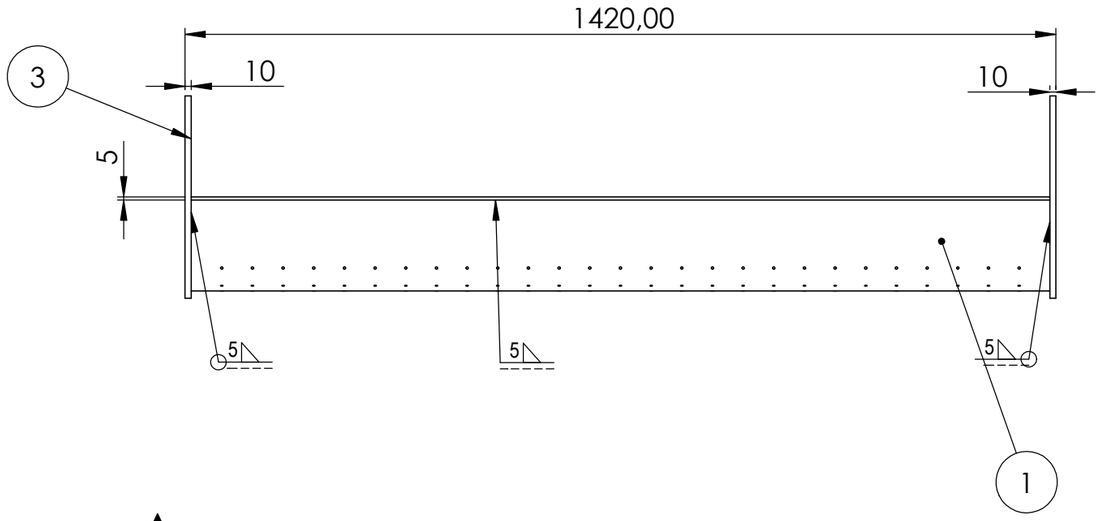
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

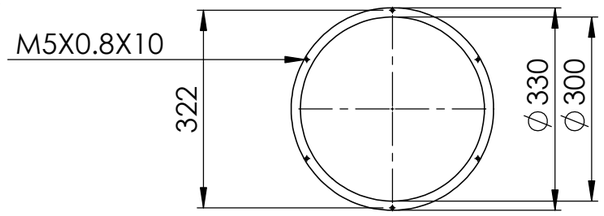
TITULO
SUBENSAMBLAJE LAVADO

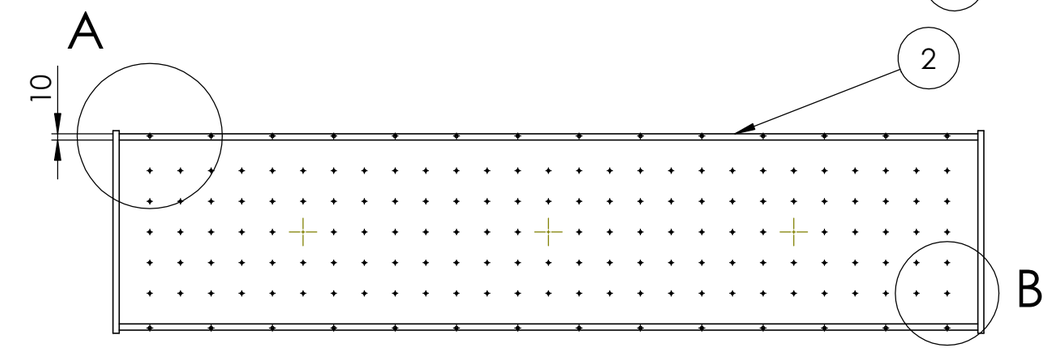
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

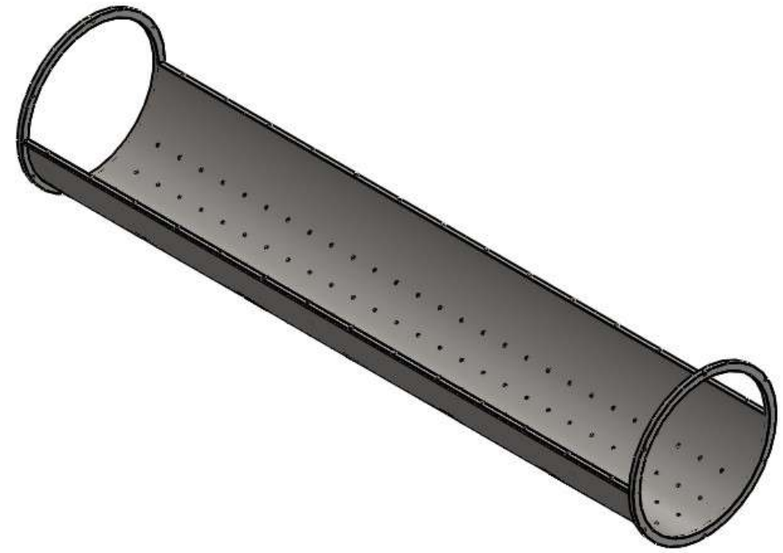
ESCALA GENERAL
1:20

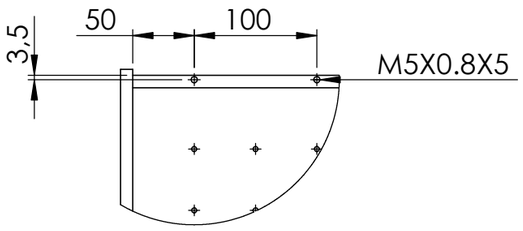
PLANO 48





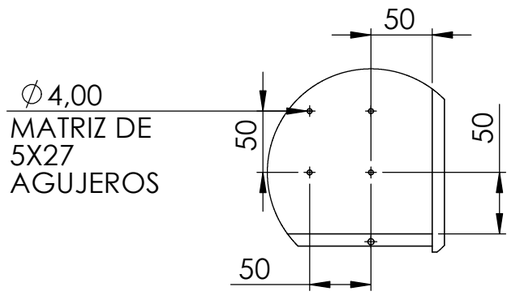






DETALLE A

ESCALA 1 : 5



DETALLE B

ESCALA 1 : 5

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nª	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT
3	ARO DIAM ext 330 Diam 300e 10	AISI 304	2
2	PLACA 10X5	AISI 304	2
1	TUBO DE DIAM ext 306mm e:6 mm	AISI 304	1

PROYECTO FINAL

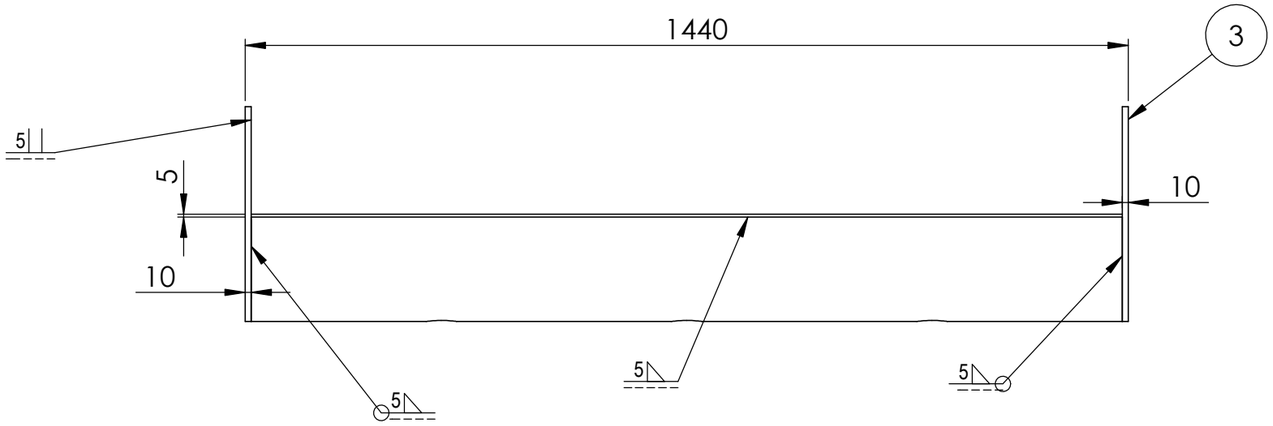
ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO

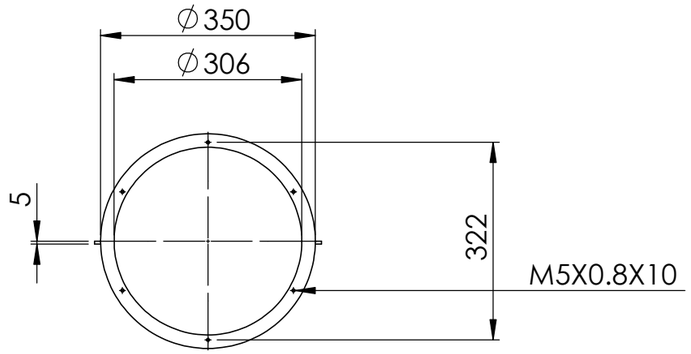
TITULO: CRIBA INFERIOR SINFIN LAVADO

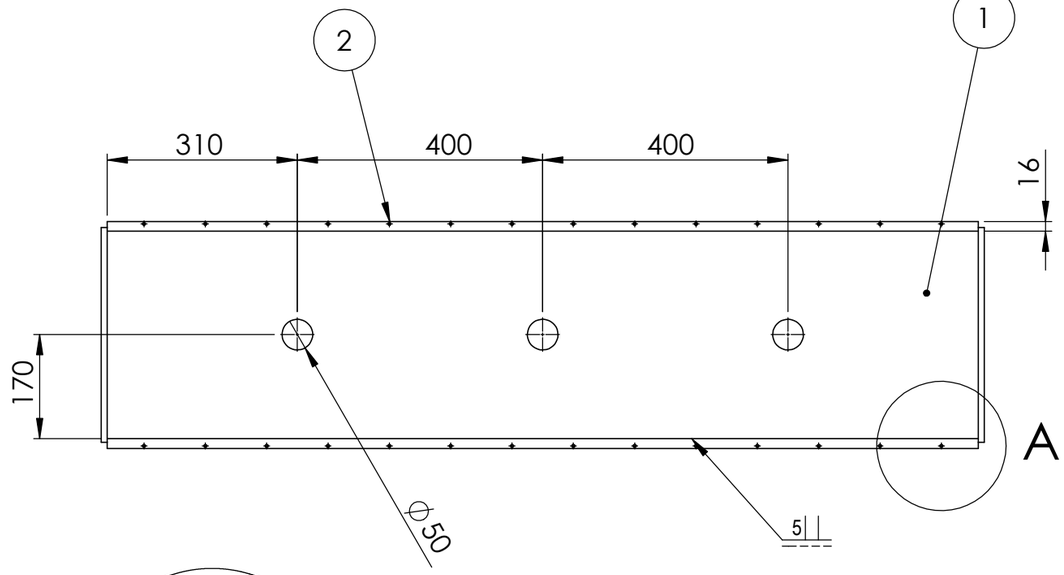
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

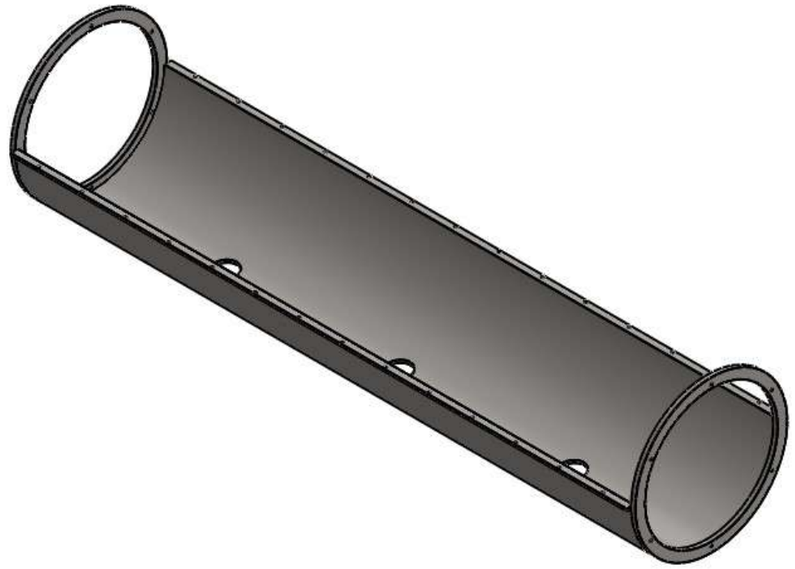
ESCALA GENERAL 1:10

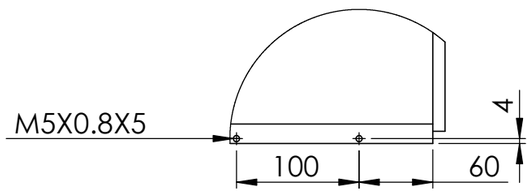
PLANO 49











DETALLE A

ESCALA 1 : 5

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
3	ARO DE DIIAMext 350 int306	AISI 304	2
2	PLACA 16X5	AISI 304	2
1	TUBO DIAMETRO INT 306 e 6	AISI 304	1

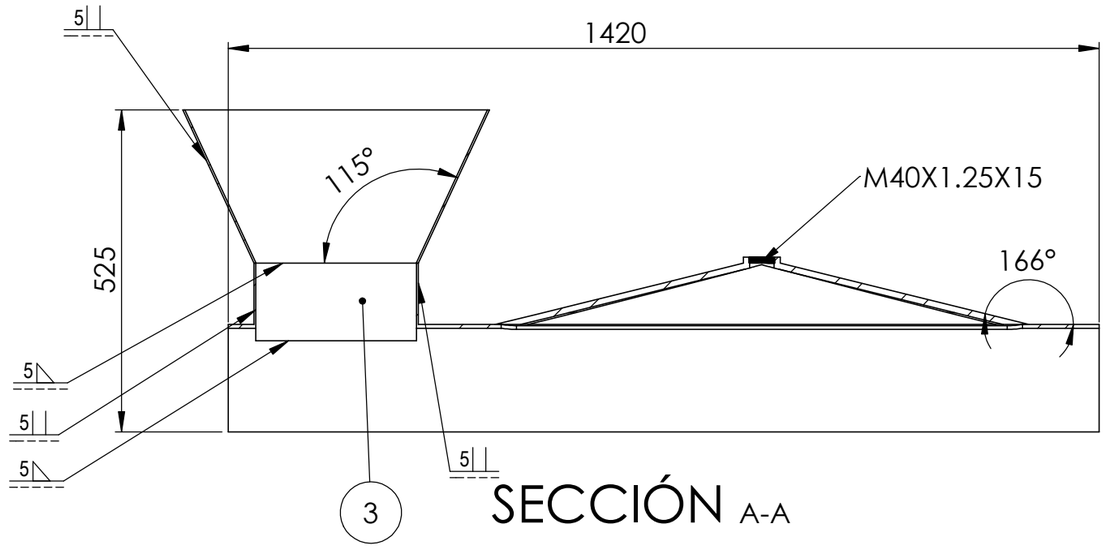
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO
LAVADO POR FRICCION CILINDRO
BASE INFERIOR

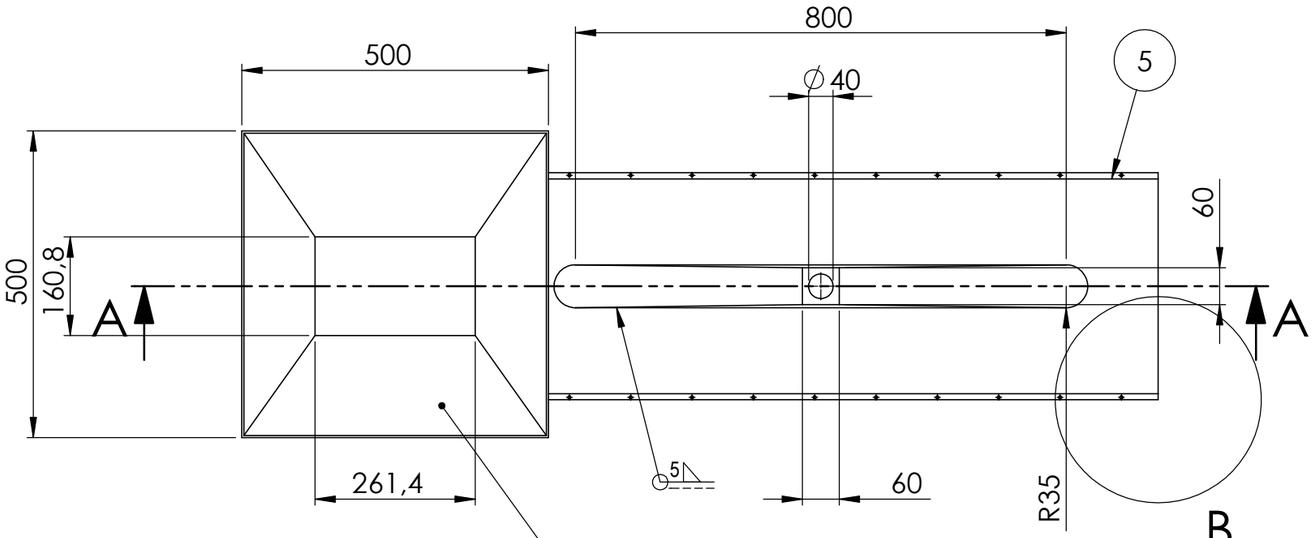
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL
1:10

PLANO 50



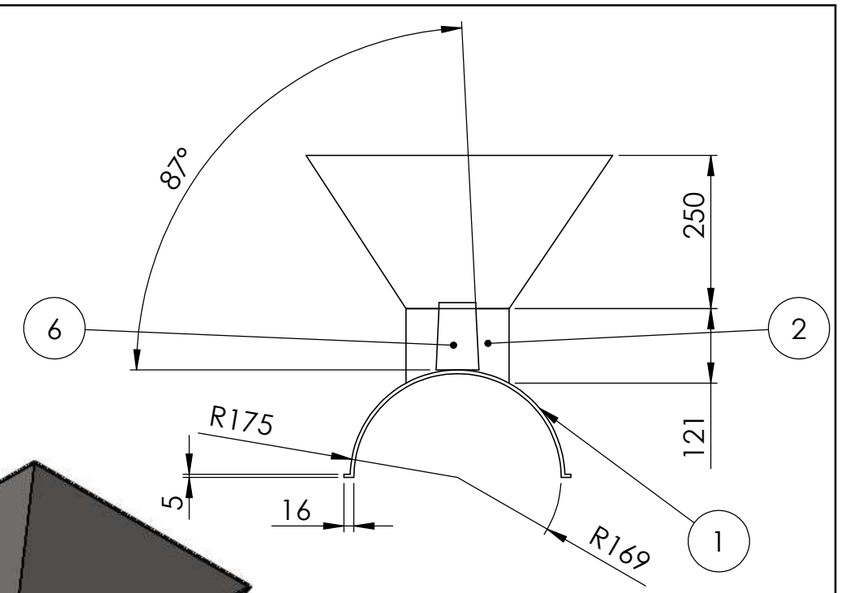
SECCIÓN A-A

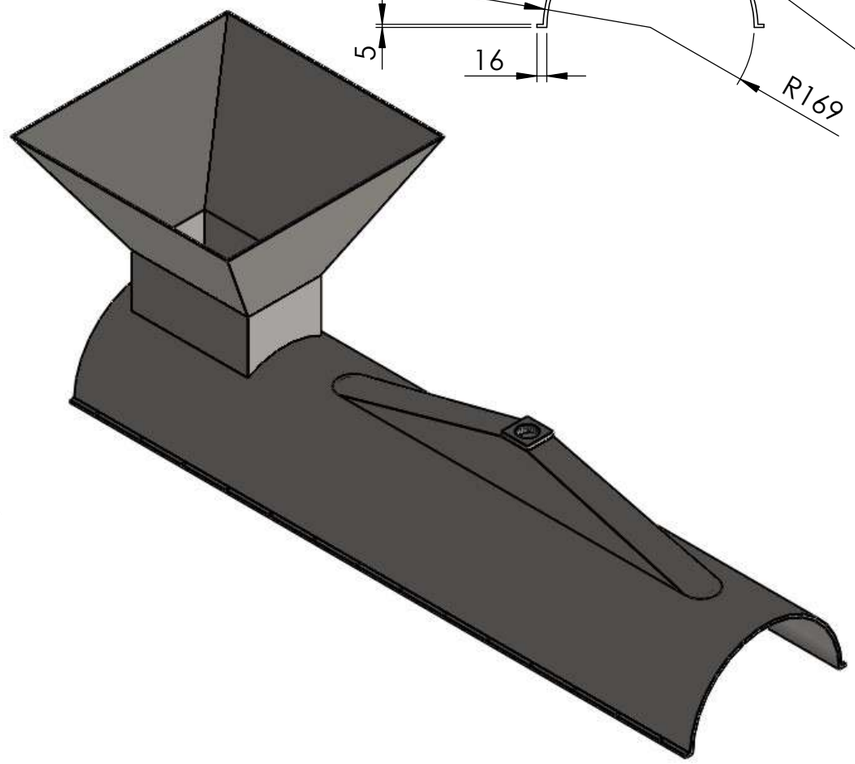


DETALLE B

ESCALA 1 : 5

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m





6	TOLVA DE INGRESO	AISIS 304	1
5	PLACA 16X5	AISIS 304	2
4	PLACA 250X500 e 3	AISIS 304	4
3	PLACA DE 261X121 e 3	AISIS 304	2
2	PLACA DE 161X121e3	AISIS 304	2
1	TUBO DE DIAMETRO 350 e:6	AISIS 304	1
Nª	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA

ROSARIO

TITULO

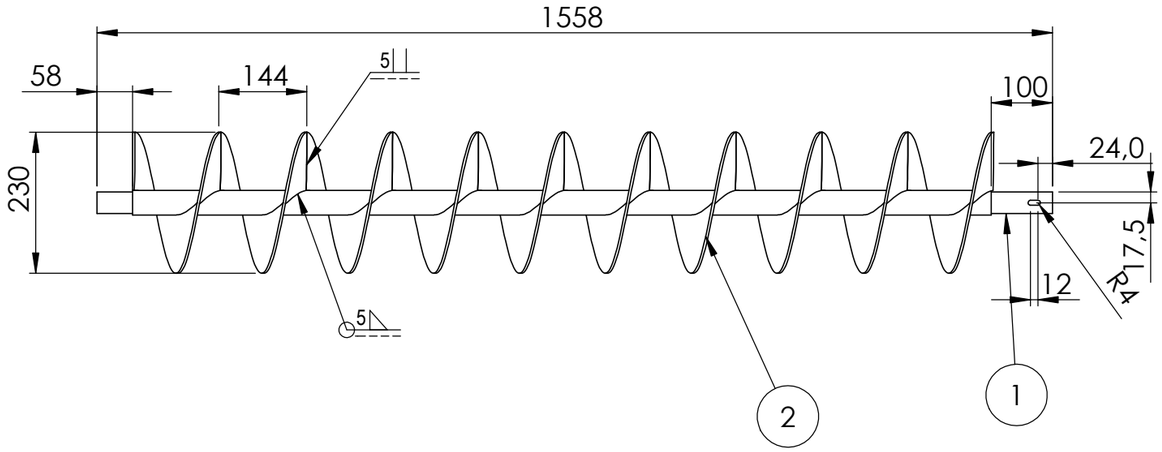
LAVADO POR FRICCIÓN CILINDRO

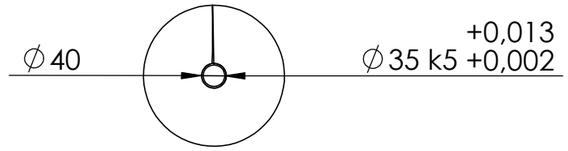
BASE SUPERIOR

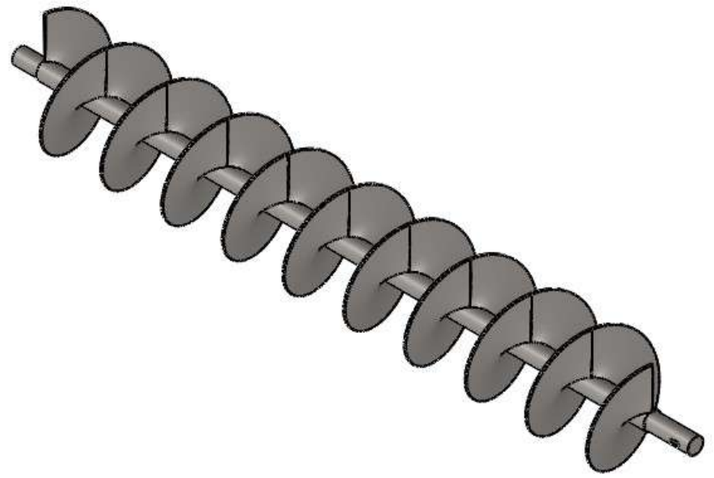
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

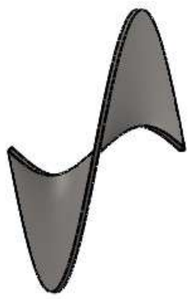
ESCALA GENERAL 1:10

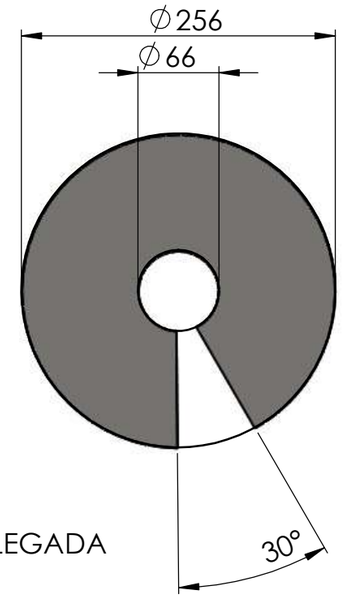
PLANO 51











SECCIÓN DE SINFIN DESPLEGADA
ESCALA 1:5

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
2	PALETA DE SINFIN LAVADO DE FRICCIÓN	AISI 304	10
1	EJE DE LAVADO POR FRICCIÓN	AISI 304	1

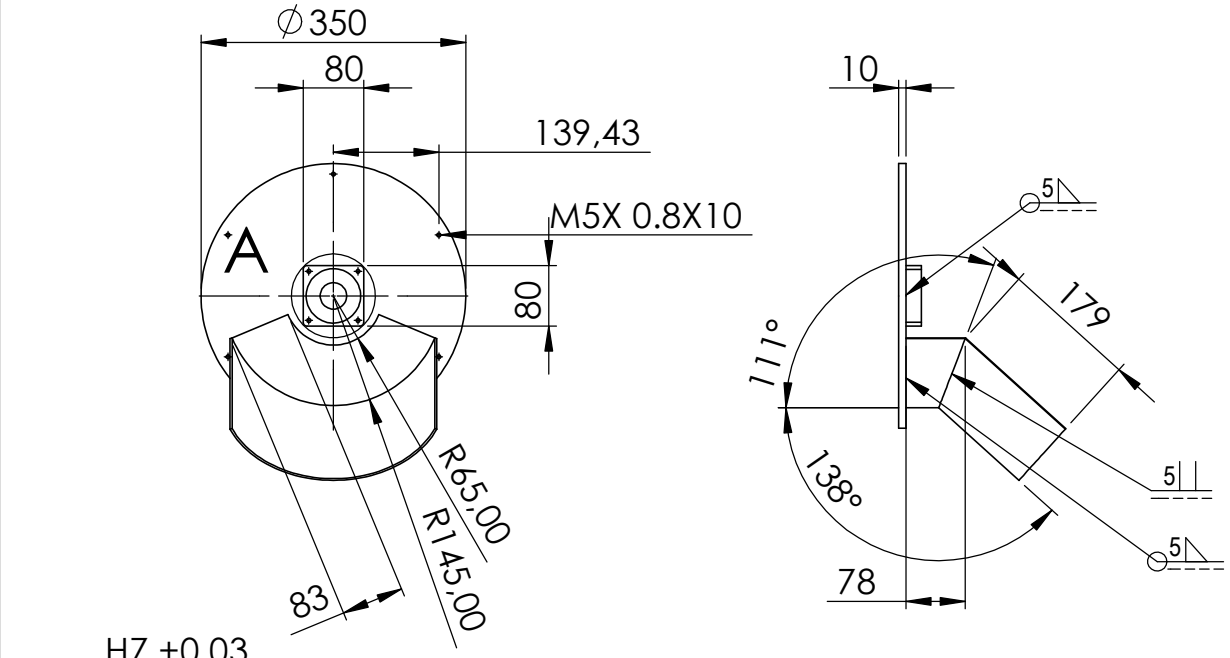
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

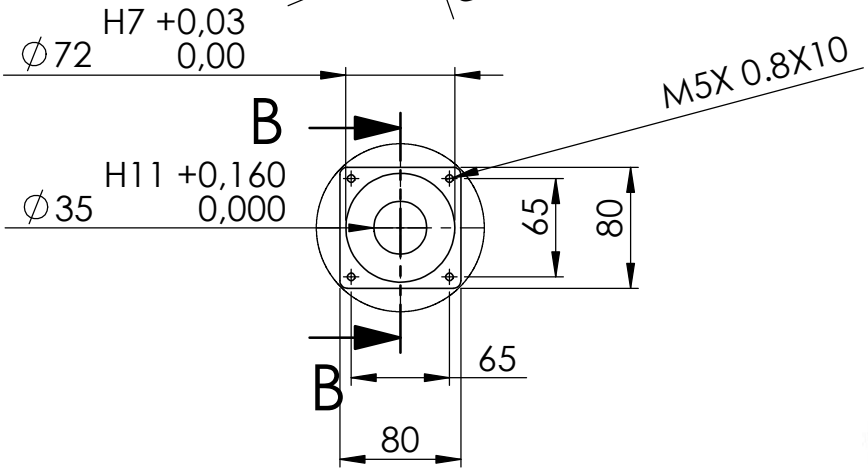
TITULO
EJE DE LAVADO POR FRICCIÓN

	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

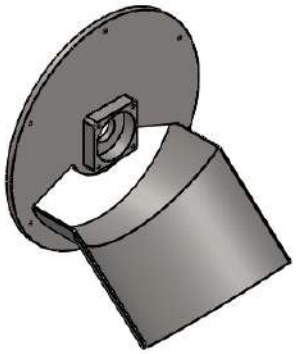
ESCALA GENERAL
1:10

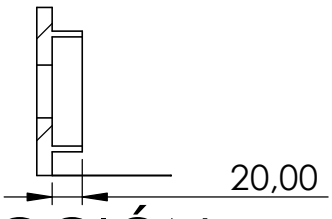
PLANO 52





DETALLE A





SECCIÓN B-B

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

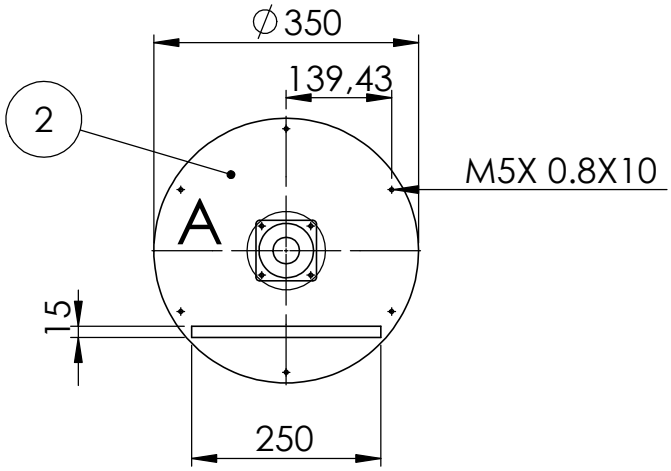
Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
3	PLACA PORTARODAMIENTO	AISIS 304	1
2	PLACA CIRCULAR DE DIAM 350 e: 10	AISIS 304	1
1	TUBO DE DIAM ext 290	AISIS 304	1

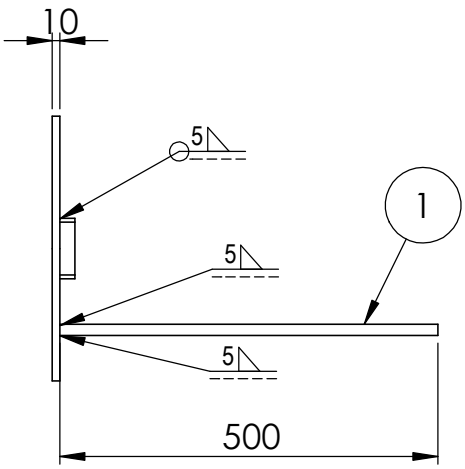
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

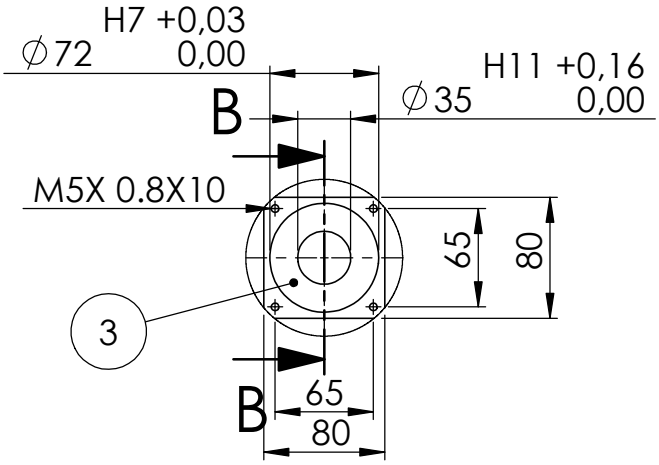
TITULO
SALIDA DE MATERIAL POR SINFIN

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:10
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

PLANO 53

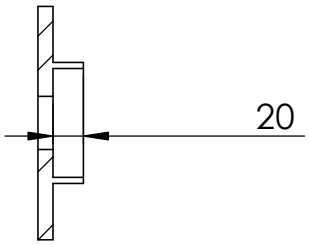






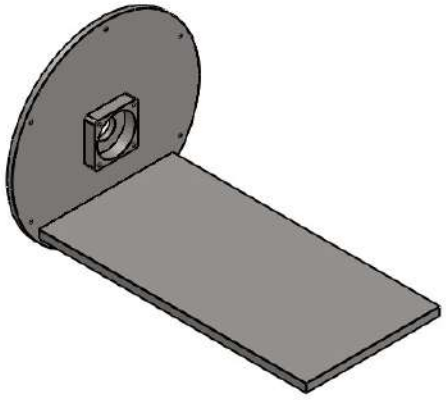
DETALLE A

ESCALA 1 : 5



SECCIÓN B-B

ESCALA 1 : 5



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
3	PLACA MECANIZADA e20	AISIS 304	1
2	PLACA CIRCULAR DIAM 350	AISIS 304	1
1	PLACA 500X250X15	AISI 304	1

PROYECTO FINAL

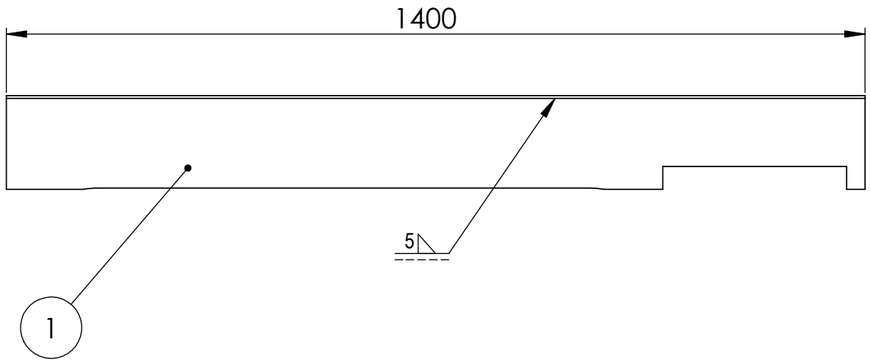
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

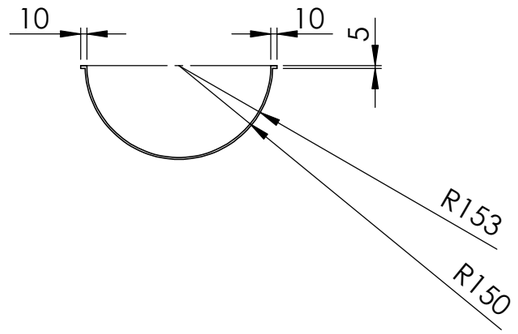
TITULO

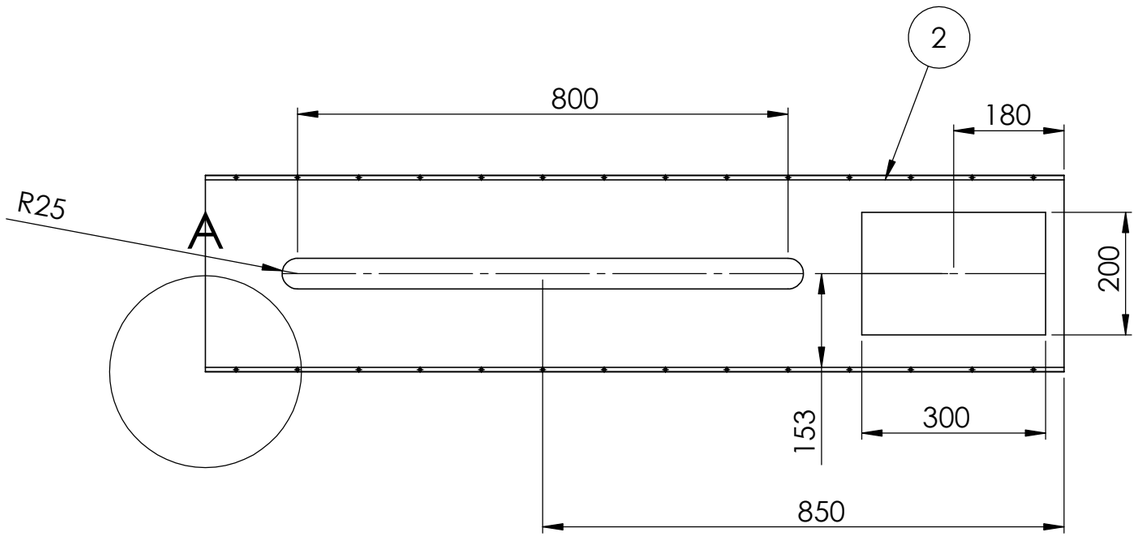
EXTREMO PORTA MOTOR

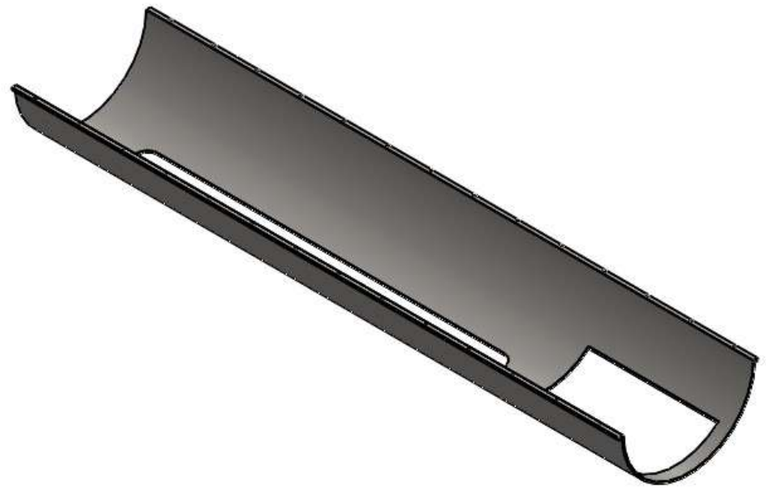
	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:10
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

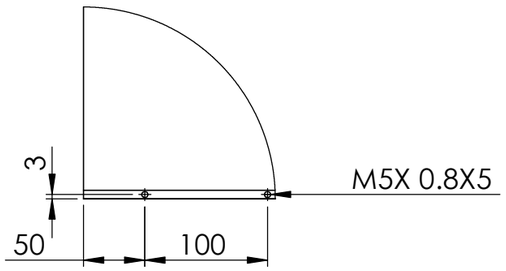
PLANO 54











DETALLE A

ESCALA 1 : 5

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
2	PLACA DE 10X5	AISI 304	2
1	TUBO DE DIAMETRO EXTERIOR 306 e5mm	AISIS 304	1

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO: CRIBA SUPERIOR SINFIN

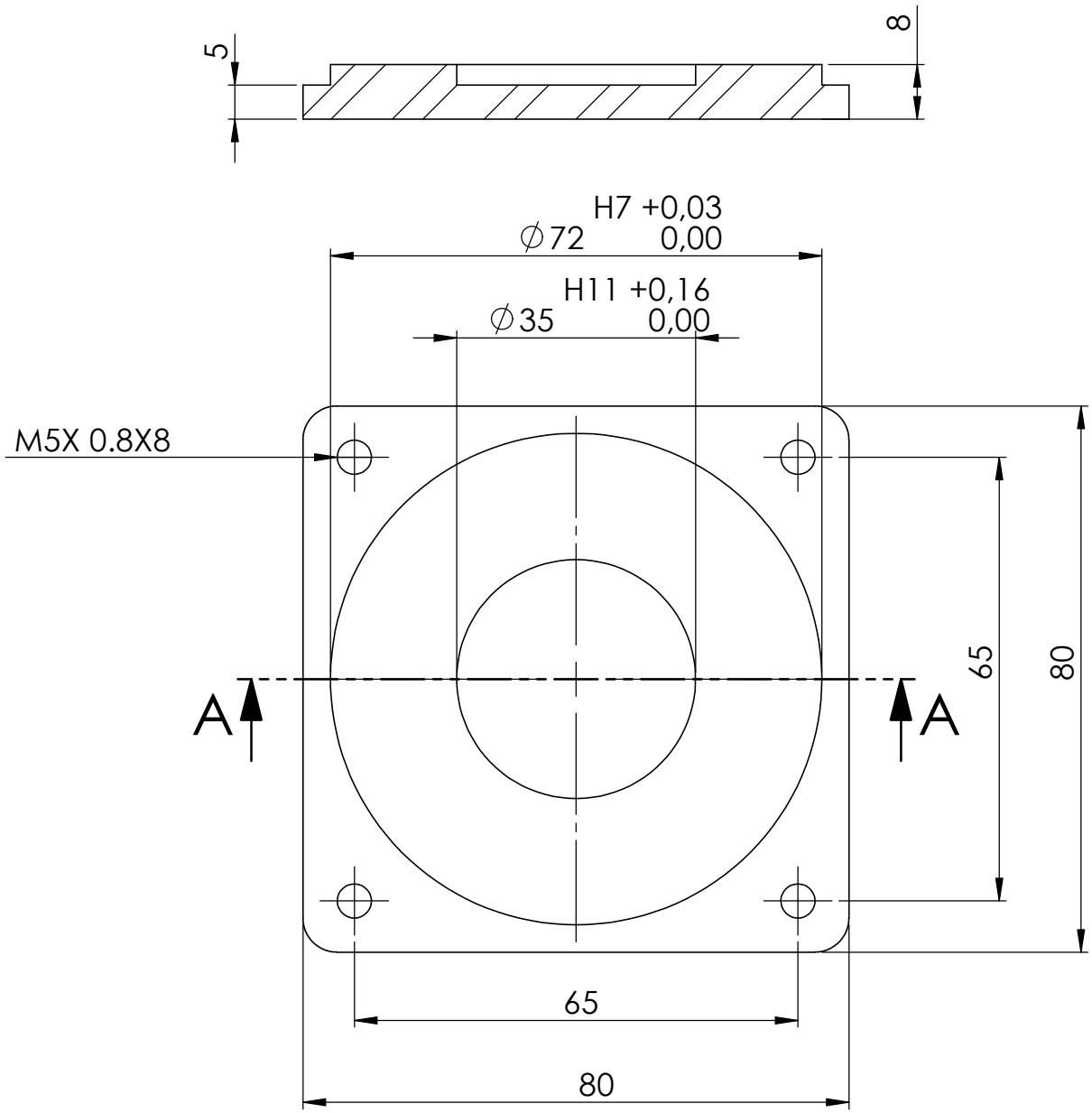
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL 1:10

PLANO 55

SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 1



TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

TAPA MECANIZADA DE PORTARODAMIENTO	AISIS 304	0.3 KG
DESCRIPÓN	MATERIAL	PESO

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

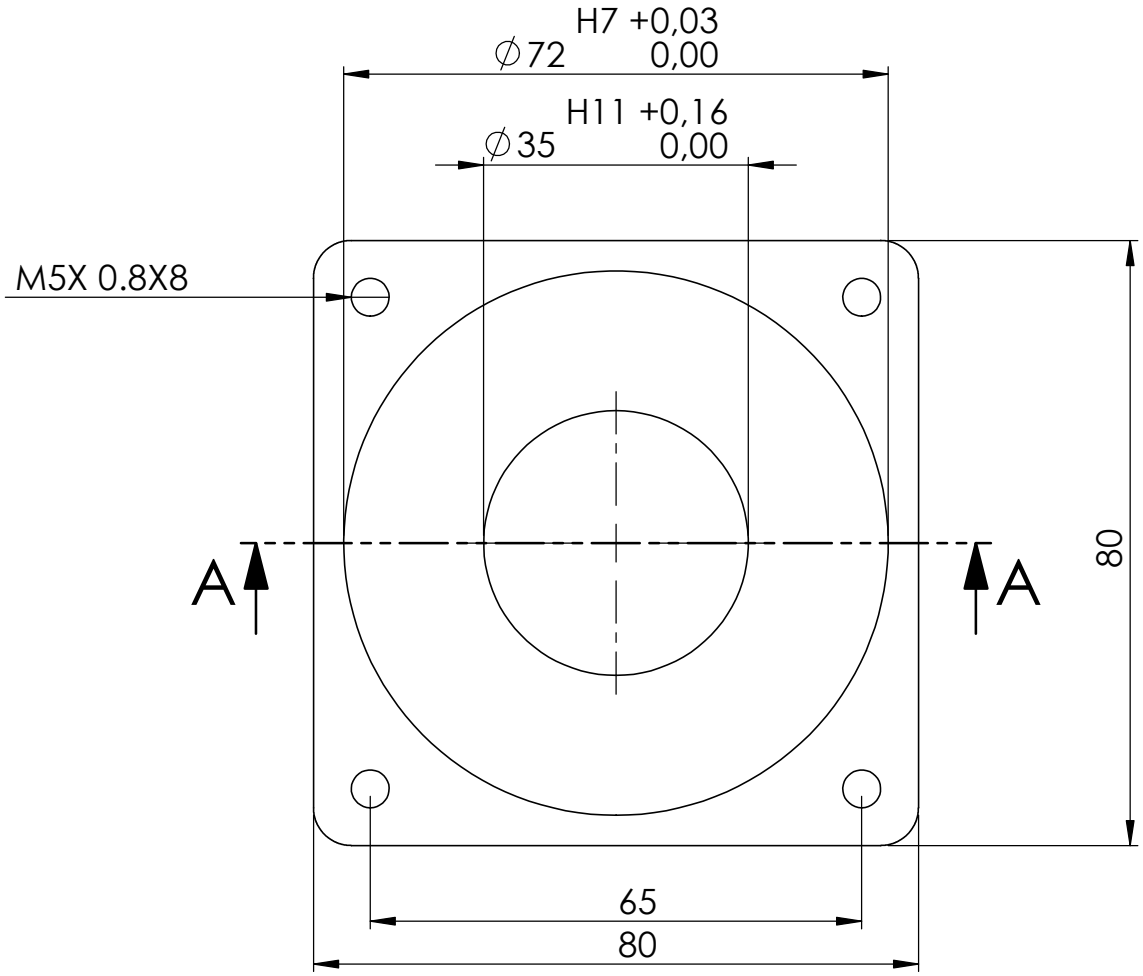
TITULO
TAPA PORTARODAMIENTO
LAVADO -SECADO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL	PLANO 56
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:1	
APROBO			LEGAJO:R-4268/4		

SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 1





TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

TAPA MECANIZADA DE PORTARODAMIENTO LADO MOTOR	AISIS 304	0.3 KG
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO

PROYECTO FINAL

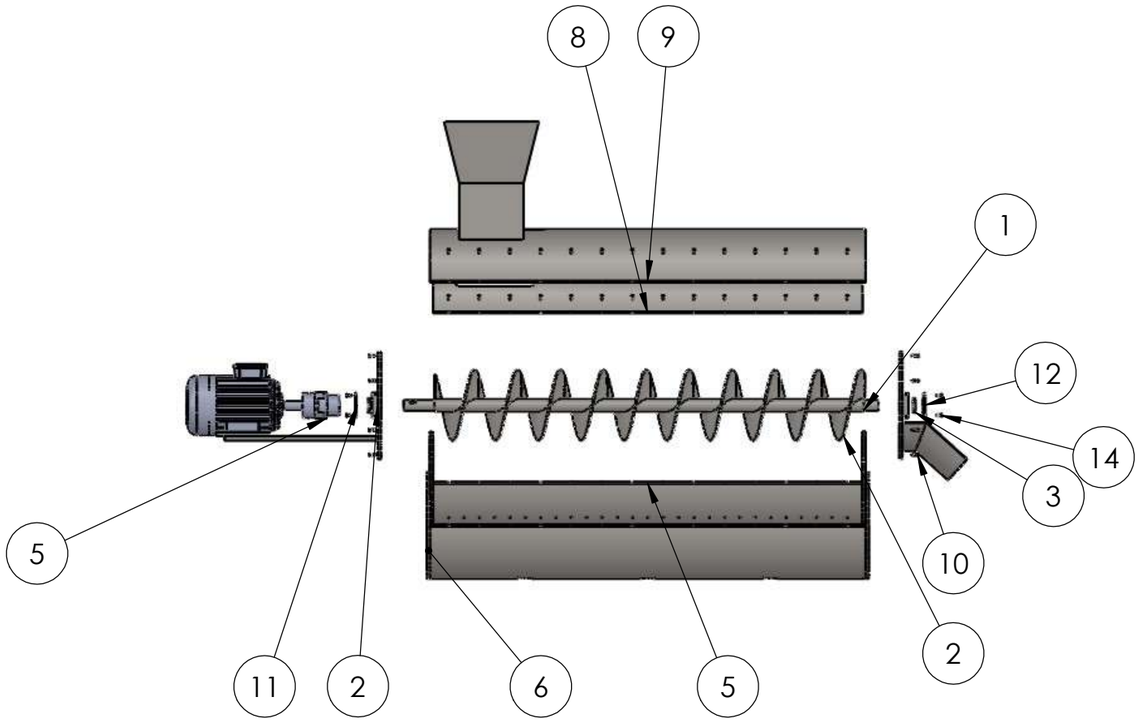
ESCUELA INGENIERIA MECANICA

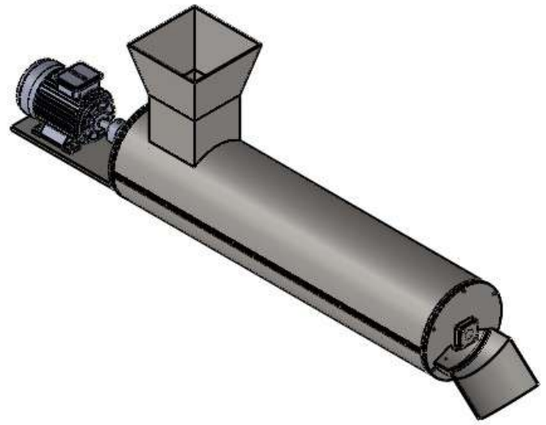
ROSARIO

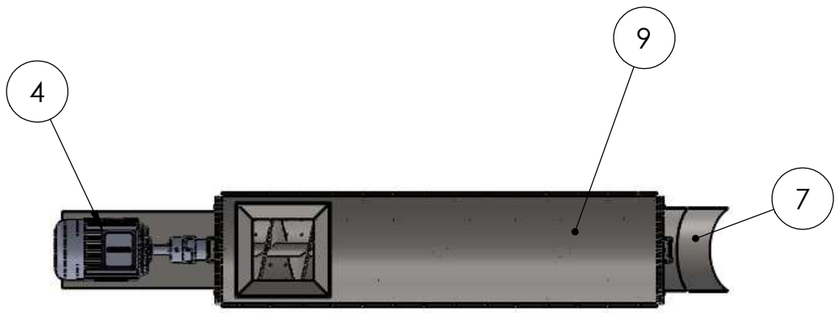
TITULO

TAPA PORTARODAMIENTO SINFIN LADO MOTOR -LAVADO-SECADO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL	PLANO 57
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:1	
APROBO			LEGAJO:R-4268/4		







Nº	DESCRIPCIÓN	PLANO	CANT
14	TORNILLO ACERO INOX M5 x 0.8 x 14	-	8
13	TORNILLO ACERO INOX M5 x 0.8 x 10	-	56
12	TAPA PORTARODAMIENTO SINFIN LADO MOTOR - LAVADO-SECADO	57	1
11	TAPA PORTARODAMIENTO LAVADO-SECADO	56	1
10	TORNILLO ACERO INOX M5 x 0.8 x 20 --20WN	-	12
9	ENTRADA MATERIAL SECADORA	63	1
8	SEMITUBO SUPERIOR SINFIN SECADO	62	1
7	TAPA DE SALIDA MATERIAL	53	1
6	SECADO CILINDRO BASE INFERIOR	61	1
5	CRIBA INFERIOR SINFIN SECADO	60	1
4	MOTOR ELÉCTRICO 5,5 KW (7,5 HP), 1450 RPM	-	1
3	RODAMIENTO SKF 6207-2RS1	-	2
2	EXTREMO PORTA MOTOR	54	1
1	SINFIN SECADO	59	1

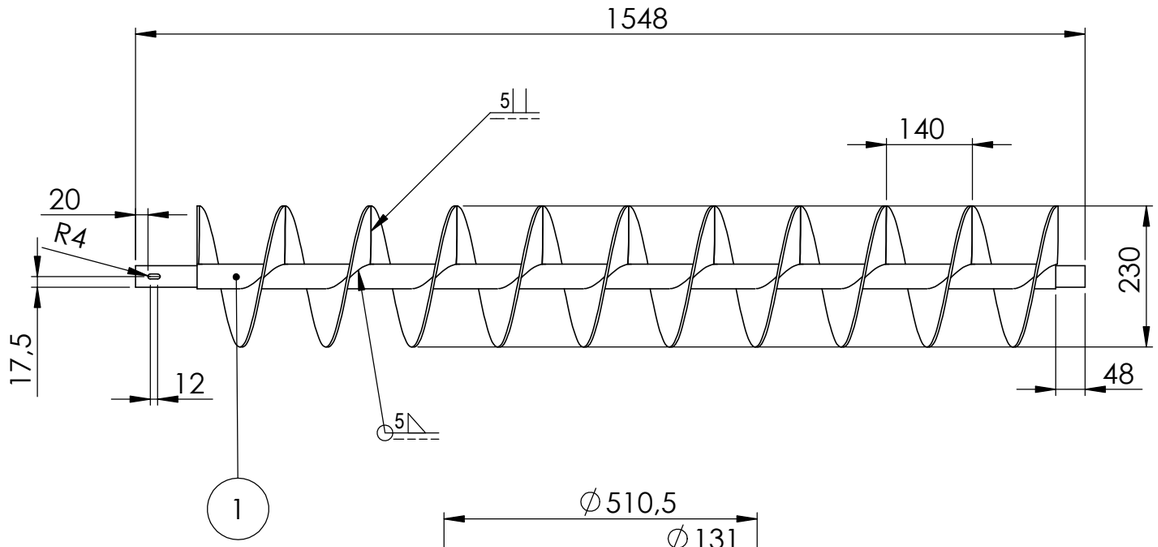
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

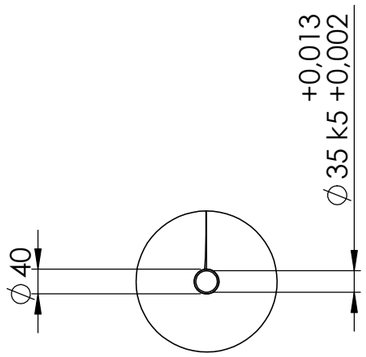
TITULO
SUBENSAMBLAJE SECADO

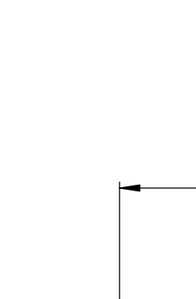
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

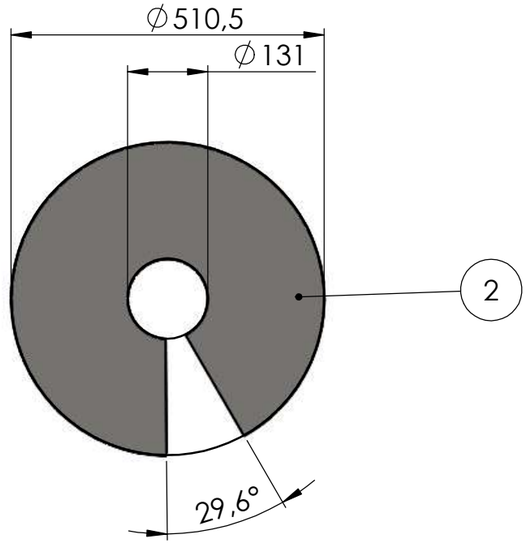
ESCALA GENERAL
1:20

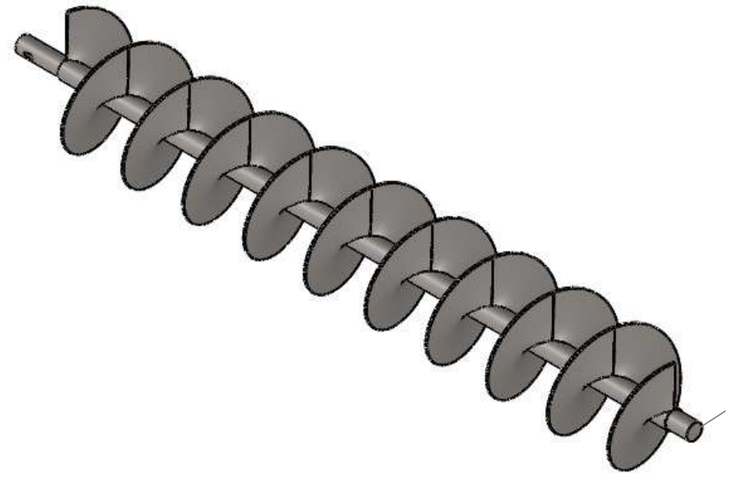
PLANO 58











SECCIÓN DE SINFIN DESPLEGADA
ESCALA 1:5

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

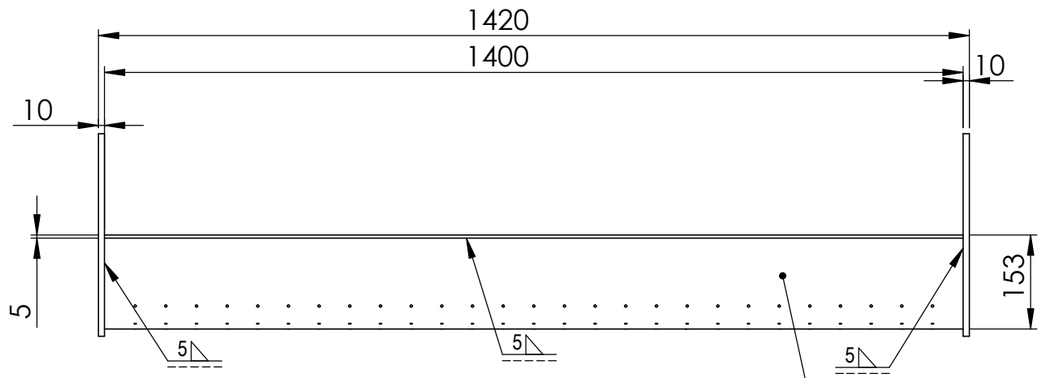
2	SECCIÓN DE SINFIN SECADO	AISIS 304	10
1	EJE DE SINFIN SECADO DIAM 40	AISIS 304	1
Nª	DESCRIPCIÒN	MATERIAL	CANT

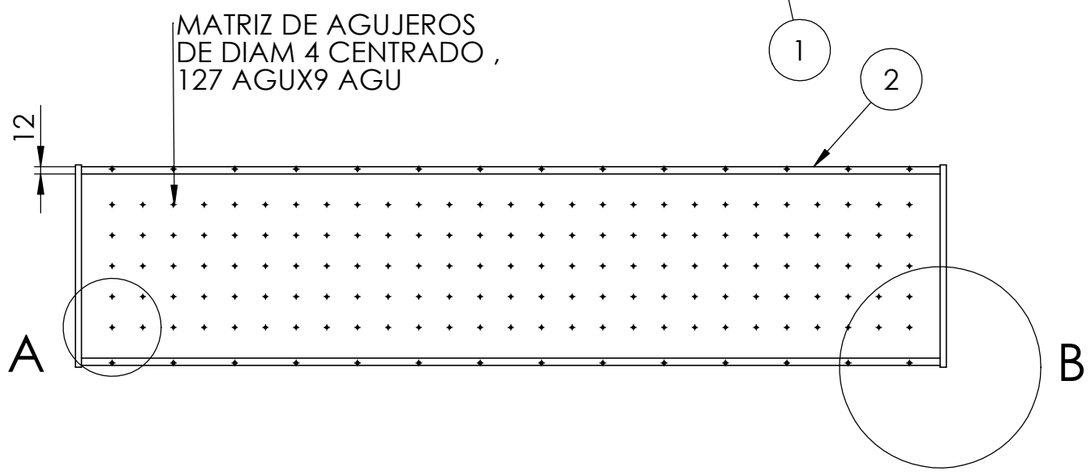
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

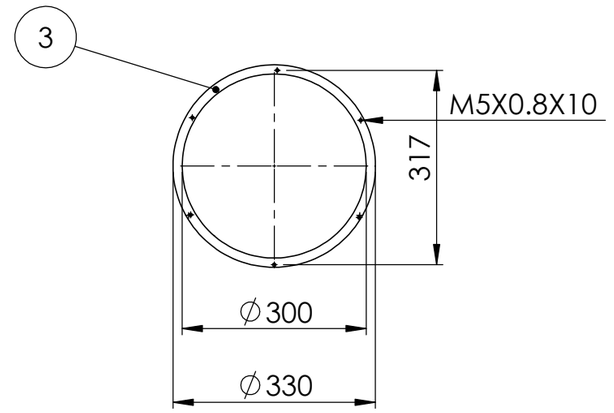
TITULO
SINFIN SECADO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:10
APROBO			LEGAJO: R-4268/4	

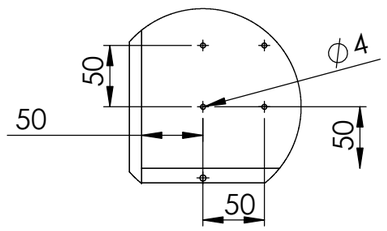
PLANO 59





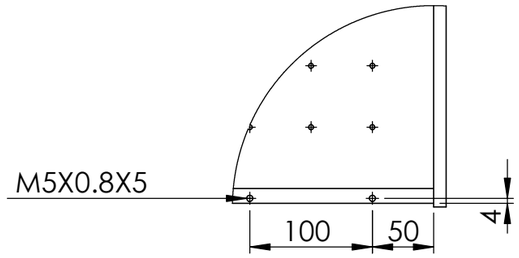






DETALLE A

ESCALA 1 : 5



DETALLE B

ESCALA 1 : 5

Nº	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT
3	ARO DE DIAM ext 330 DIAM int 300	AISIS 304	2
2	PLAC DE 12X5	AISIS 304	2
1	CILINDRO DE DIAMETROint 300 e 3	AISIS 304	1

PROYECTO FINAL

ESCUELA INGENIERIA MECANICA

ROSARIO

TITULO

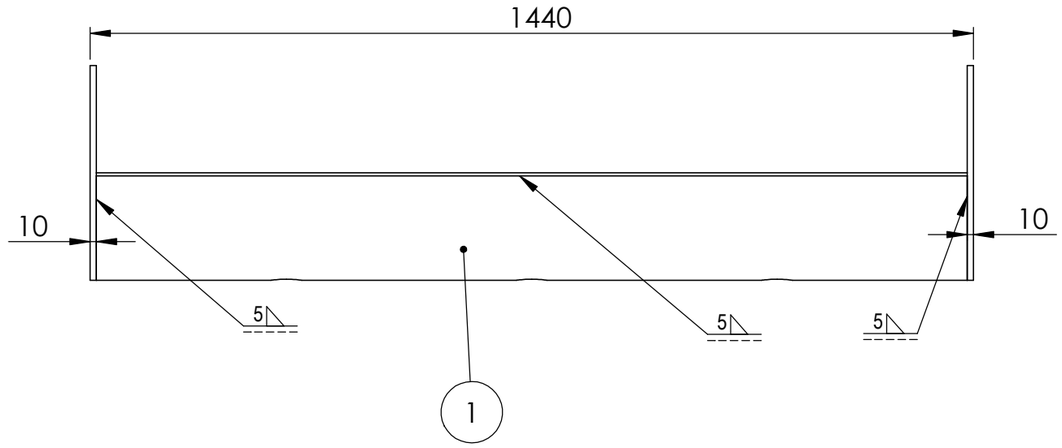
CRIBA INFERIOR SINFIN SECADO

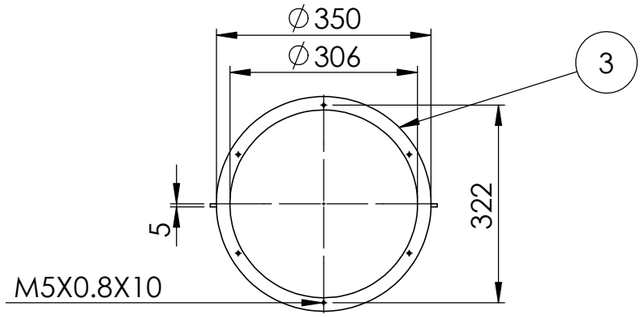
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

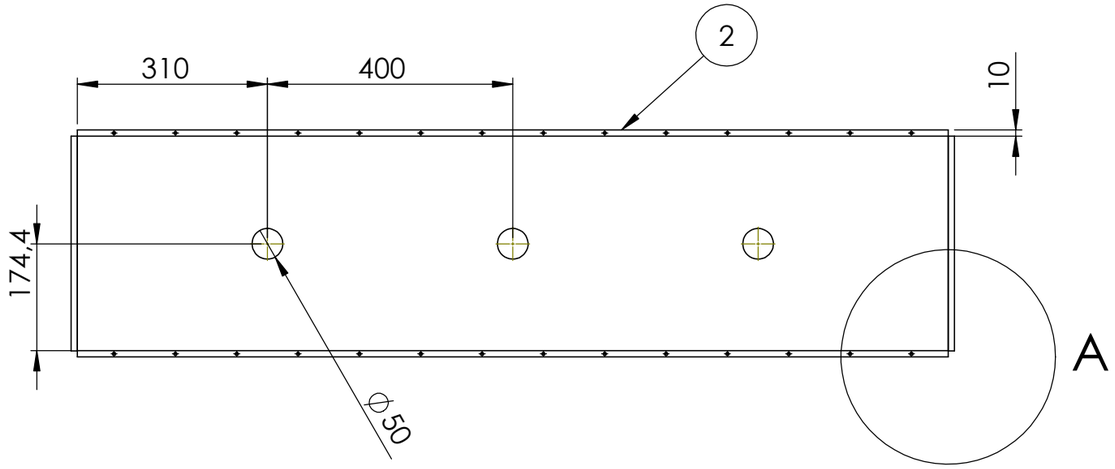
ESCALA GENERAL 1:10

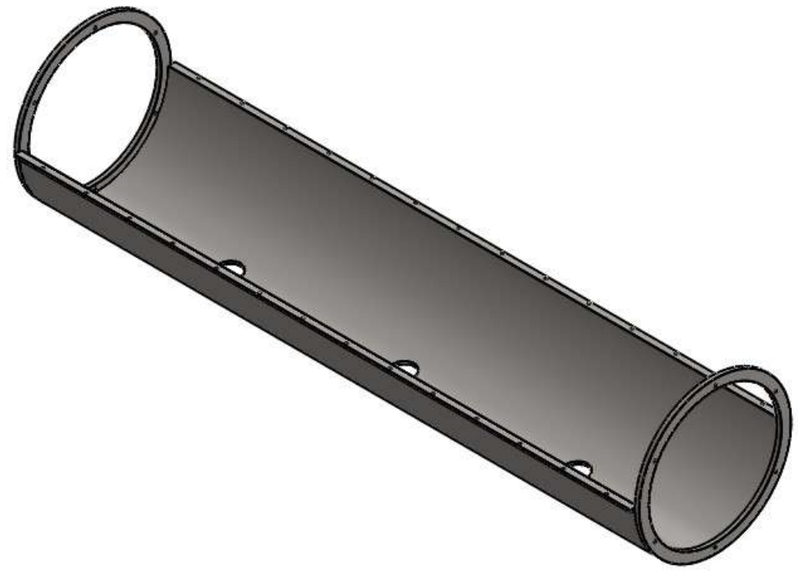
PLANO 60

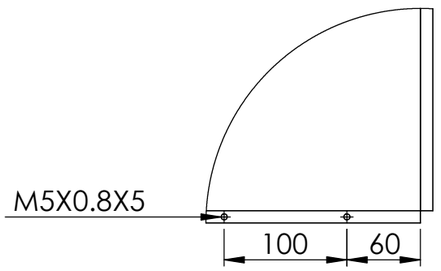
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m











DETALLE A

ESCALA 1 : 5

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
3	ARO DE DIAM ext 350 int 306	AISI 304	2
2	PLACA DE 10X5	AISI 304	2
1	CILINDRO DE DIAM ext 306 e 3	AISI 304	1

PROYECTO FINAL

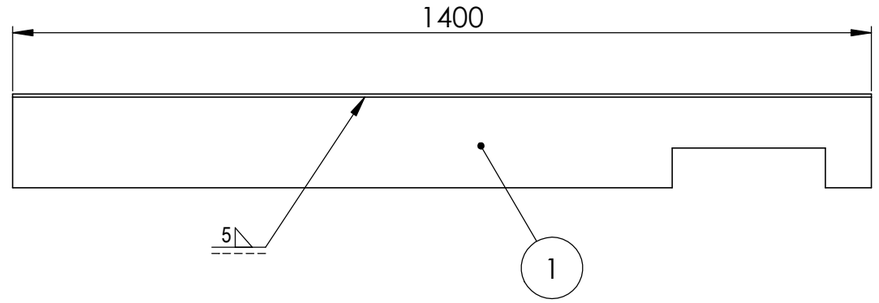
ESCUELA INGENIERIA MECANICA ROSARIO

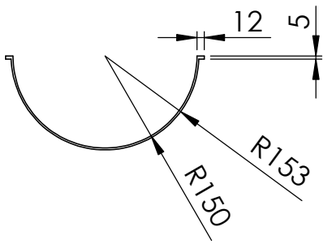
TITULO: SECADO CILINDRO BASE INFERIOR

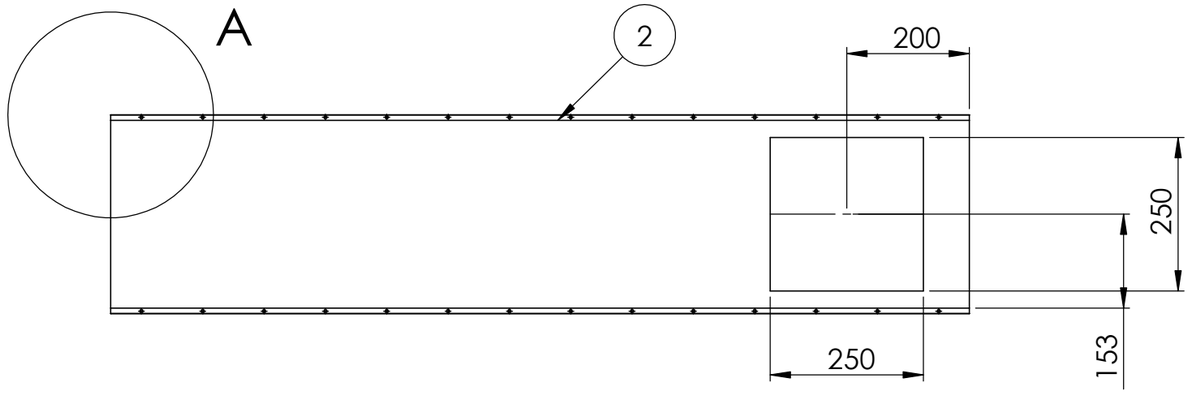
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

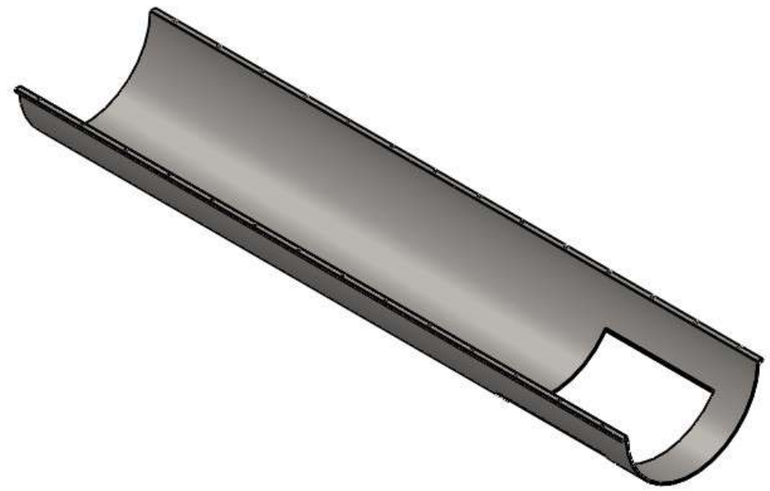
ESCALA GENERAL 1:10

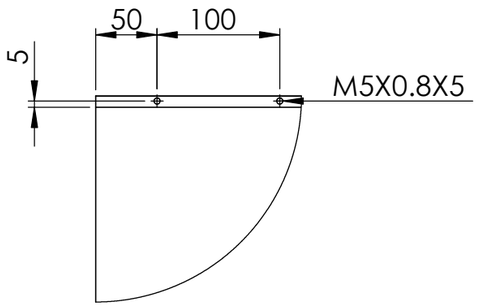
PLANO 61











DETALLE A

ESCALA 1 : 5

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

Nº	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT
2	PLACA DE 12X5	AISIS 304	2
1	CILINDRO DE DIAMETRO ext 306 e 3	AISIS 304	1

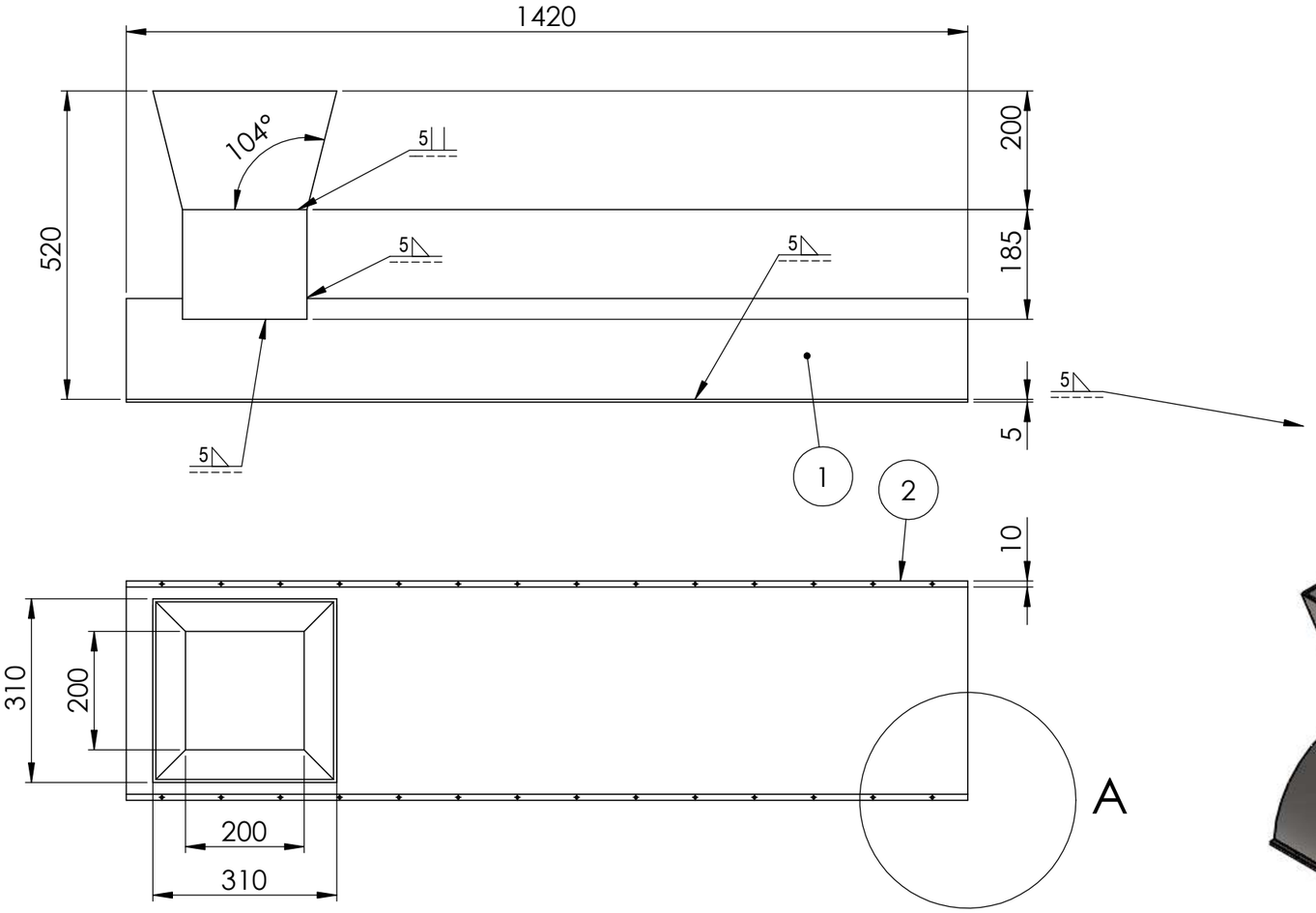
PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

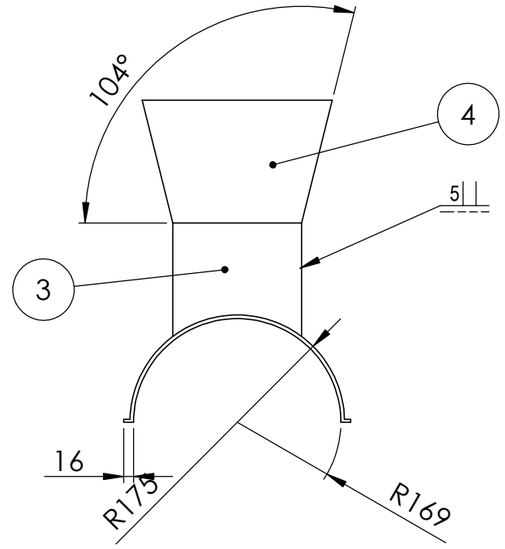
TITULO: SEMITUBO SUPERIOR SINFIN SECADO

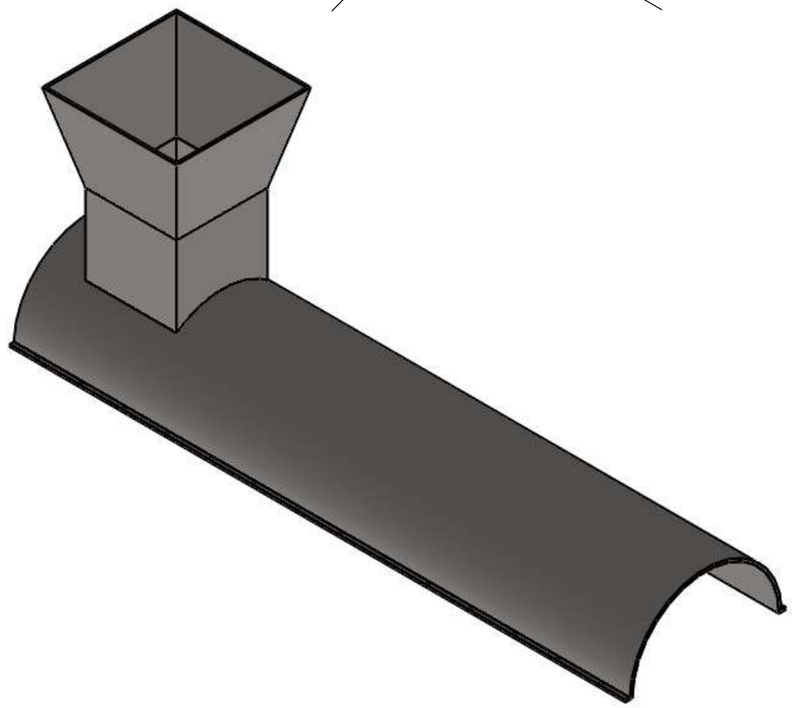
	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

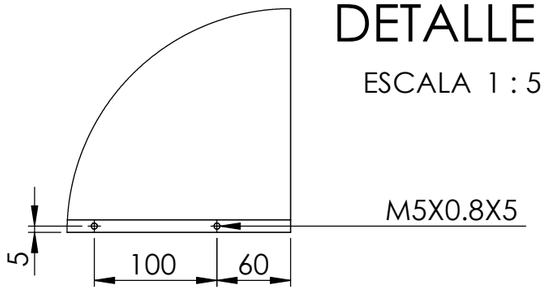
ESCALA GENERAL 1:10

PLANO 62









Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
4	PLACA DE 310X200	AISIS 304	4
3	PLACA DE 200X185	AISIS 304	4
2	PLACA DE 16X5	AISIS 304	2
1	CILINDRO DE DIAM ext 350 e 3	AISIS 304	1

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

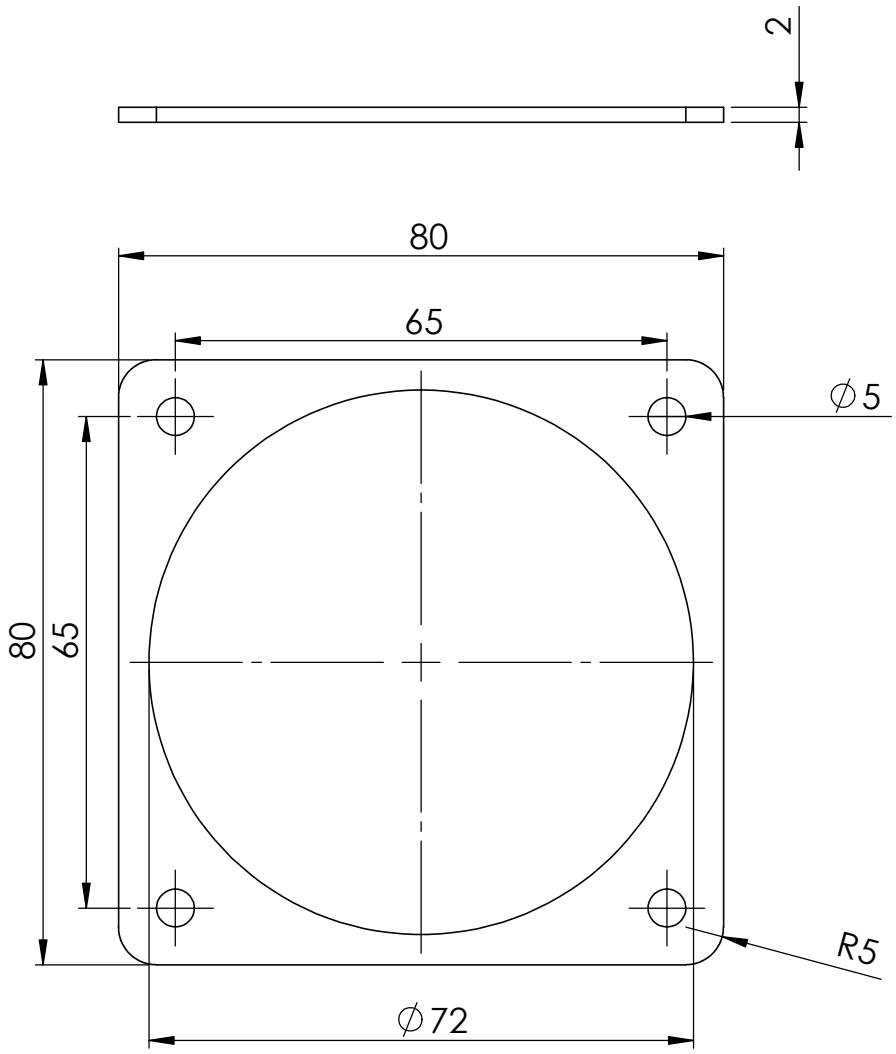
TITULO
ENTRADA MATERIAL SECADORA

	FECHA	FIRMA	NOMBRE
DIBUJO	28/07/2026		RUIZ FACUNDO
APROBO			LEGAJO: R-4268/4

ESCALA GENERAL 1:10

PLANO 63

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m



JUNTA UTILIZADA EN PORTARODAMIENTOS :
-TRASPORTE LADO PILETA DE ENJUAGUE
-SECADORA
-LAVADORA

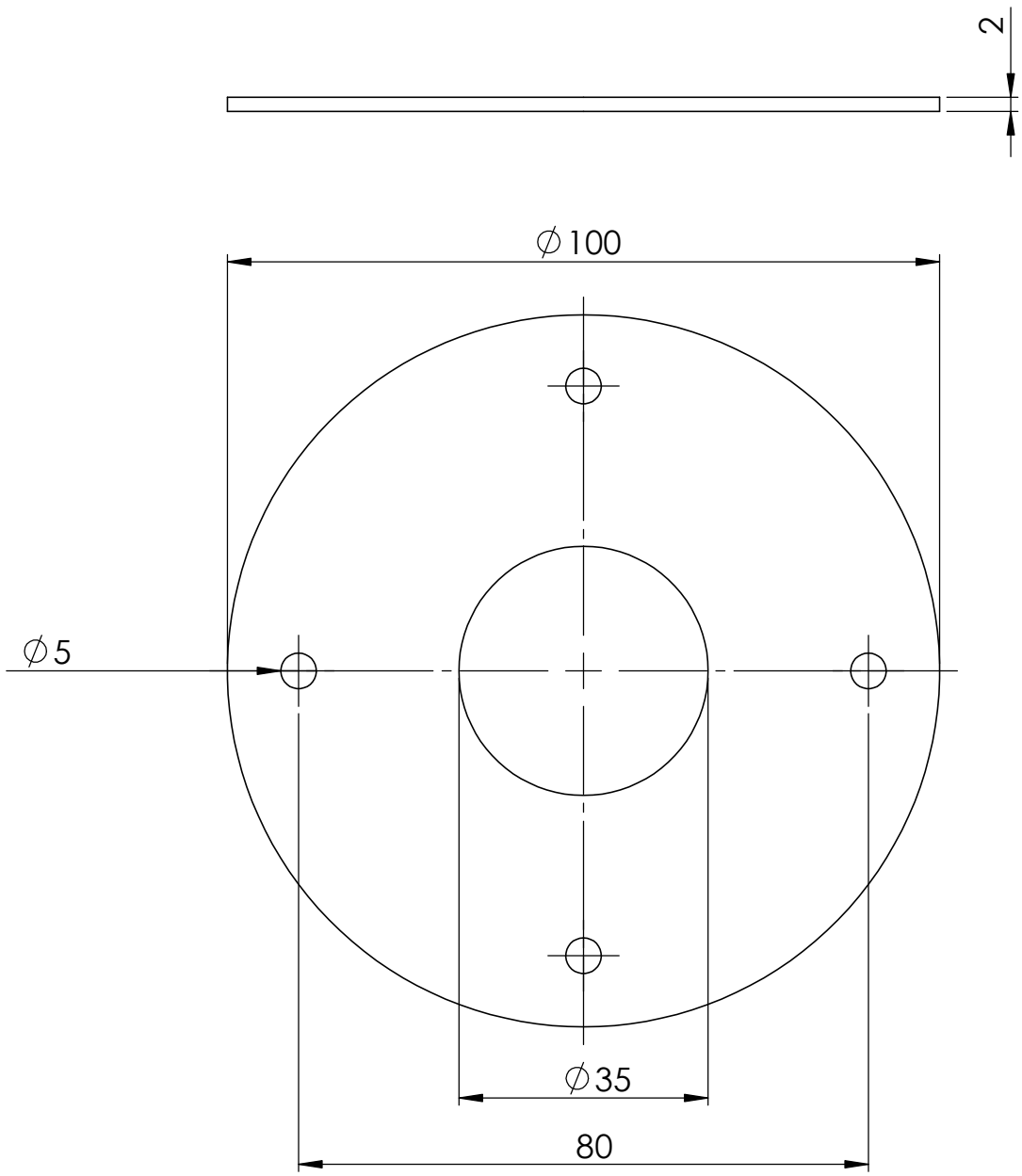
TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

JUNTA ANTIDERRAME	GOMA NBR	5
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO
JUNTA PORTARODAMIENTO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL	JUNTA 1/5
DIBUJO			RUIZ FACUNDO		
APROBO			LEGAJO:R-4268/4		



JUNTA UTILIZADA EN PORTARODAMIENTOS :
-TRASPORTE LADO MOTOR

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

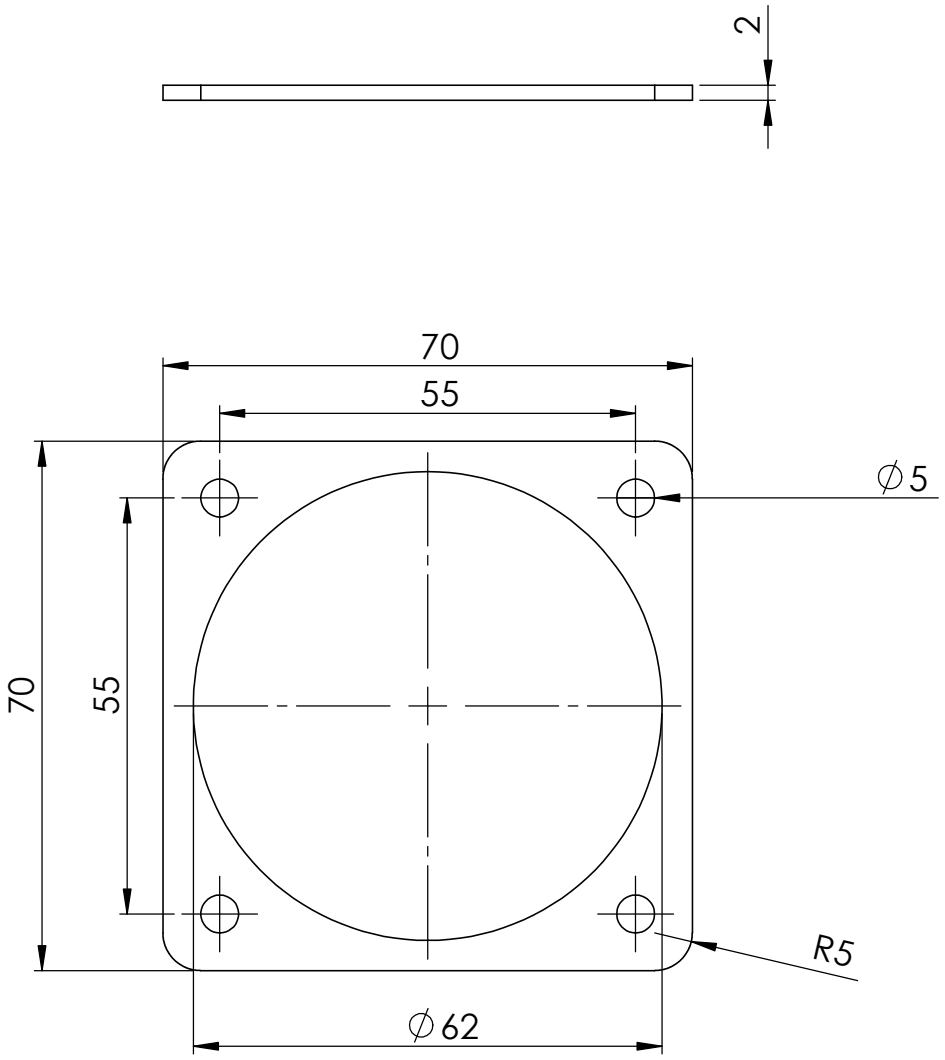
JUNTA ANTIDERRAME	GOMA NBR	1
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO
JUNTA PORTARODAMIENTO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:1
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

JUNTA 2/5



JUNTA UTILIZADA EN PORTARODAMIENTOS :
-PILETA DE ENJUAGUE

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

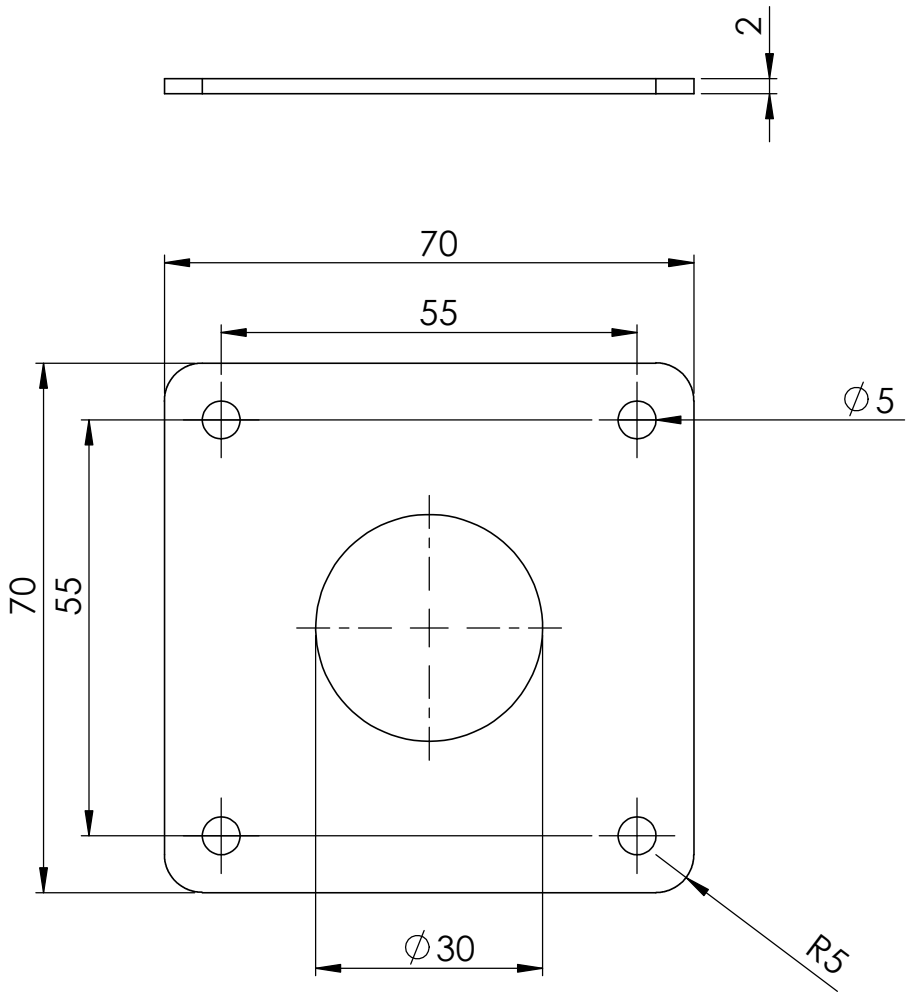
JUNTA ANTIDERRAME	GOMA NBR	2
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO
JUNTA PORTARODAMIENTO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:1
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

JUNTA 3/5



JUNTA UTILIZADA EN PORTARODAMIENTOS :
-PILETA DE ENJUAGUE

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

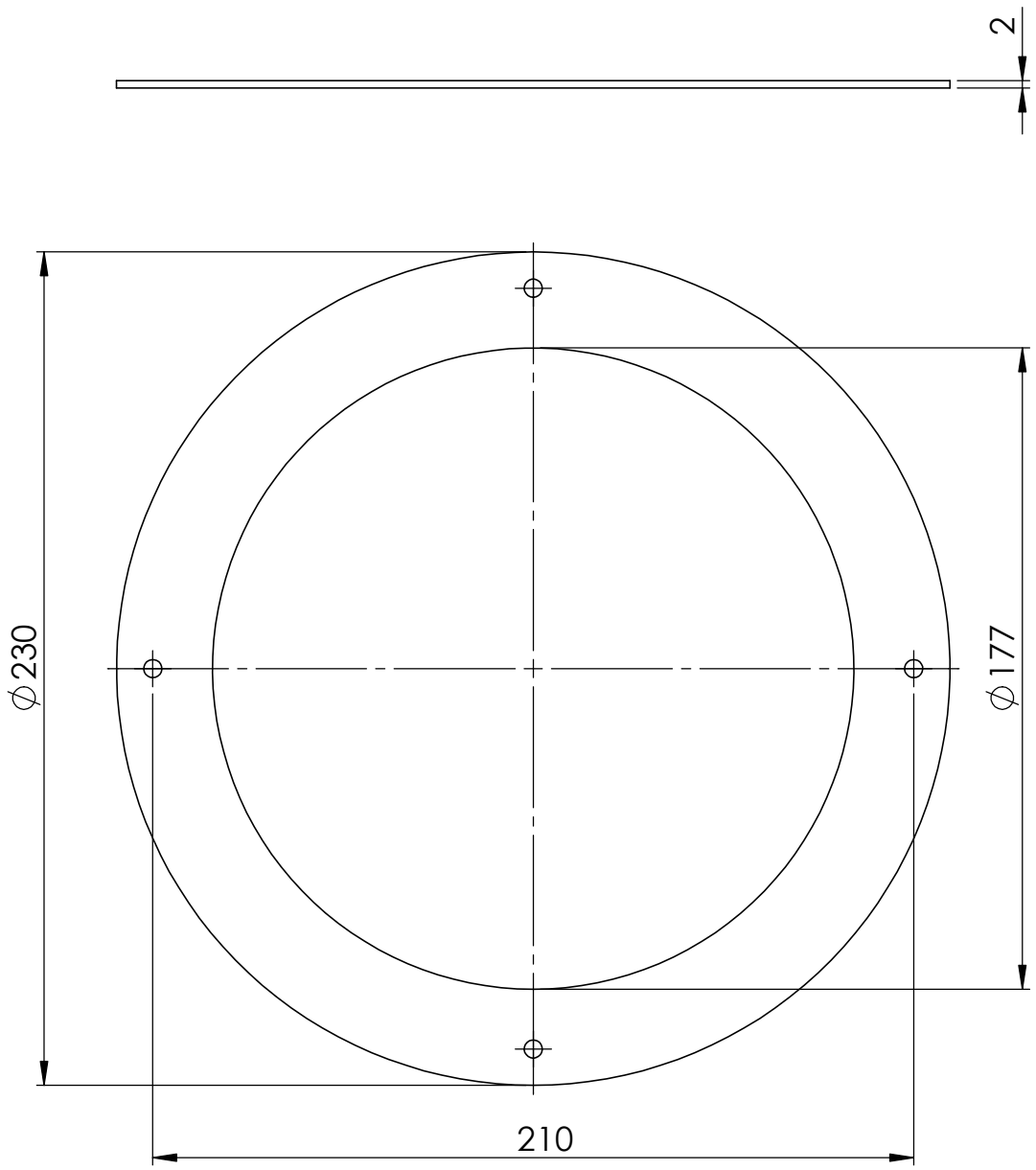
JUNTA ANTIDERRAME	GOMA NBR	2
DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO
JUNTA PORTARODAMIENTO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:1
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

JUNTA 4/5



JUNTA UTILIZADA EN PORTARODAMIENTOS :
-UNION ENTRE PILETA DE ENJUAGUE Y DEPOSITO

TOLERANCIAS GENERALES SEGÚN : ISO 2768-m

DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT
JUNTA ANTIDERRAME	GOMA NBR	2

PROYECTO FINAL
ESCUELA INGENIERIA MECANICA
ROSARIO

TITULO
JUNTA PORTARODAMIENTO

	FECHA	FIRMA	NOMBRE	ESCALA GENERAL
DIBUJO	28/07/26		RUIZ FACUNDO	1:1
APROBO			LEGAJO:R-4268/4	

JUNTA 5/5