



ESTACIÓN MÓVIL DE RECARGA Y SUMINISTRO PARA DRONES AGRÍCOLAS

BONARDI, Luca y PASTORE, Lautaro Luis

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Rosario, Argentina
11 de junio de 2025

ESTACIÓN MÓVIL DE RECARGA Y SUMINISTRO PARA DRONES AGRÍCOLAS

BONARDI Luca y PASTORE, Lautaro Luis

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

Directores:

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

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Rosario, Argentina
11 de junio de 2025

Resumen

En el presente informe se expone la optimización del proceso de recarga y suministro de drones agrícolas entre ciclos de trabajo. Actualmente este proceso se realiza de forma manual y estacionaria lo que desencadena en un significativo desaprovechamiento del tiempo entre los sucesivos ciclos, además de que el operario sufre múltiples esfuerzos debido a la carga y descarga de las baterías como del producto pulverizante. El principal objetivo es diseñar un sistema transportable donde todas las tareas puedan ser desarrolladas en el menor tiempo posible y bajo una exigencia mínima mejorando las condiciones laborales.

Se analizaron variables fundamentales, tales como dimensiones, peso, tiempo de trabajo y longitud de tierras a pulverizar. Mediante la evaluación de varias propuestas, se desarrolló un acoplado sobre el cual se dispone un manipulador neumático para la extracción y colocación de las baterías como para la elevación de bolsas de agroquímico granulado, una pista de aterrizaje móvil para el dron y un tanque el cual abastece el producto a pulverizar por el dron.

Mediante este desarrollo, se logró reducir los tiempos entre 2 ciclos de vuelo del dron, permitiendo elevar la cantidad de ciclos en una jornada laboral.

Asimismo, este desarrollo tiene el potencial de motivar a todo tipo de productores agropecuarios argentinos a invertir en nuevas tecnologías como lo son los drones agrícolas debido a su versatilidad, simplicidad e innovación.

Palabras clave: Optimización Batería, Manipulador, Agroquímico, Dron, Transportable

Abstract

This report addresses the optimization of the recharging and supply process for agricultural drones between work cycles. Currently, this process is carried out manually and in a stationary manner, which results in a significant waste of time between successive cycles. Additionally, the operator undergoes considerable physical strain due to the handling of batteries and the spraying product. The main goal is to design a portable system where all tasks can be performed in the shortest possible time and with minimal physical demand, thereby improving working conditions.

Key variables were analyzed, including dimensions, weight, working time, and the length of the land to be sprayed. Following the evaluation of various design alternatives, a trailer-based support unit was developed. This system integrates a pneumatic manipulator for the removal and placement of batteries as well as for lifting bags of granular agrochemicals, a mobile landing platform for the drone, and a tank that supplies the drone with the spraying product.

This development led to a reduction in the time between two drone flight cycles, allowing for an increased number of cycles during a working day.

Furthermore, this solution has the potential to encourage all types of Argentine agricultural producers to invest in new technologies such as agricultural drones, due to their versatility, simplicity, and innovative capabilities.

Keywords: Optimization, Battery, Manipulator, Agrochemical, Drone, Transportable

Índice

Resumen	I
Abstract	II
Aclaraciones	V
Introducción	1
1. Problemática	4
1.1. El origen de la agricultura y la fertilización	4
1.2. La agricultura en la Argentina	7
1.3. Fertilizantes	8
1.4. Pulverizadoras	9
1.5. Drones agrícolas	11
1.6. Variables	13
1.7. Condiciones límites	14
1.8. Objetivos	16
2. Propósitos y Propuestas	17
2.1. Propósitos	17
2.2. Propuestas	18
2.2.1. Propuesta 1	18
2.2.2. Propuesta 2	19
2.3. Elección de propuesta	20
3. Estación móvil de de recarga y suministro para drones agrícolas	22
3.1. Pista de aterrizaje	23
3.2. Manipulador de cargas	25

3.3. Sistema reabastecedor de agroquímico	28
4. Desarrollo	31
4.1. Pista de aterrizaje	31
4.1.1. Estructura	31
4.1.2. Mesa de aterrizaje	33
4.1.3. Componentes	34
4.2. Manipulador de cargas	35
4.2.1. Estructura	35
4.2.2. Diseño del circuito neumático	42
4.2.3. Componentes	44
4.3. Sistema reabastecedor de agroquímico	45
4.3.1. Estructura	45
4.3.2. Sistema de agitación	47
4.3.3. Componentes	49
4.4. Vuelco	51
5. Conclusión	55
Recomendaciones	55
Referencias Bibliográficas	58
Anexos	59
A: Planimetría	59
B: Memoria de cálculo	59
Índice de figuras	60

Aclaraciones

A continuación, se especificarán ciertas consideraciones de relevancia para la comprensión del contenido y la metodología empleada:

- Software utilizado: Para el desarrollo y diseño de los componentes que integran este proyecto, se utilizó [SolidWorks](#) (Dassault Systèmes).
- Cálculos: Todos los cálculos detallados Y realizados para abordar este proyecto se encuentran en la [Memoria de cálculo](#). De todas maneras, también se podrán ver en el anexo B.
- Catálogos: Los catálogos pertenecientes a los componentes utilizados, se encuentran en [Catálogos de referencia](#). Los mismos no fueron adjuntados al presente informe debido a su extensión.
- Derecho de imagen: Las imágenes de marcas de productos y/o maquinarias utilizadas en este documento son meramente ilustrativas y se han empleado con el único propósito de ejemplificar conceptos o situaciones. Su inclusión no implica ningún respaldo, promoción o crítica hacia dichos productos o marcas, y se respeta plenamente la propiedad intelectual de los titulares de dichas marcas.
- Estructura del documento: El presente trabajo se desarrolla en 4 capítulos. Cada uno representa una de las etapas primordiales en el desarrollo de nuestro proyecto final para aspirar el título de Ingeniero Mecánico: La problemática a abordar, las soluciones propuestas, y el desarrollo de una de ellas.

Al final del documento, se encuentran los apartados de conclusión, recomendaciones, índice de figuras y los anexos correspondientes.

Introducción

La agricultura se encuentra dentro de los pilares fundamentales de la República Argentina, sobresaliendo en materia económica y en producción de materias primas. Los granos más destacados son 4: soja, maíz trigo y girasol, debido no solo a la superficie dedicada a su producción, sino también a los ingresos que se generan al exportarlos.

Con el pasar de los años, los registros indican que las superficies cultivadas crecieron rápidamente, alcanzando un récord de 36,6 millones de hectáreas durante la campaña 2019-2020. Este continuo aumento, produce una notable reducción de las superficies ocupadas por llanuras en las regiones más productivas, disminuyendo la cantidad de carbono generado por la materia orgánica, crucial para el mantenimiento de las propiedades de los suelos y, por lo tanto, para el rendimiento de las explotaciones. Por otro lado, la intensificación productiva y la consiguiente extracción de los nutrientes del suelo por los granos cultivados llevan también al empobrecimiento de este, excepto que sean repuestos, por ejemplo mediante la aplicación adecuada de **fertilizantes**. Sin embargo, los potenciales efectos ambientales negativos fueron mitigados debido al uso de nuevos conceptos agronómicos y tecnologías innovadoras, ya sea la siembra directa, la rotación de distintos cultivos en un mismo predio, las variedades transgénicas, la mayor aplicación de herbicidas y fertilizantes y la agricultura de precisión.

Dentro de este contexto, las **pulverizadoras** se convirtieron en una maquinaria de vital importancia para la producción agrícola. Las mismas se encargan de esparcir el fitosanitario o fertilizante sobre el suelo con el fin de mejorar las condiciones de crecimiento del cultivo. Sin embargo, poseen algunas desventajas:

- Solo resultan beneficiosas en grandes extensiones de campo debido a su alto costo.
- Deben circular sobre el suelo cultivado provocando compactación del mismo y daños en el cultivo.

- No pueden ser utilizadas en zonas donde las superficies no son perfectamente llanas.
- Se requiere que el operario se encuentre sobre la máquina para realizar la tarea.

Dadas las desventajas mencionadas, la aparición de los **drones agrícolas** marcó un antes y un después en la agricultura. Estos dispositivos, permiten una aplicación más eficiente de agroquímicos, además de evitar el riesgo de exposición de trabajadores y productores rurales a este tipo de productos. El mismo permite introducir los productos químicos en las cantidades adecuadas, en el momento preciso cumpliendo así con el desafío que enfrentan los productores: aplicar agroquímicos por fumigación de manera efectiva combatiendo el viento, la temperatura y/o la humedad.

El dron fumigador está provisto de un sistema de boquillas pulverizadoras conectadas a una motobomba de alta presión. El sistema expulsa el producto por estas boquillas con mayor o menor fuerza, según las necesidades. Además, está equipado con un GPS para programar la ruta o puede ser guiado por un piloto remoto en vuelo manual. Por otra parte, está conectado a un dispositivo que permite al operador monitorear el funcionamiento en tiempo real.

Sin embargo, su duración de vuelo es muy escasa, y requiere de un reabastecimiento constante tanto energético como de producto a esparcir.

El origen de este estudio nace en la observación de los tiempos muertos entre ciclos de vuelo, así como en los repetitivos esfuerzos a realizar por el operario a cargo de reabastecer el mismo. Para llenar el tanque, se tarda de 5 a 10 minutos, donde la persona debe verter el fluido almacenado en bidones manualmente. Luego, la extracción de la batería y sustitución por una nueva, toma alrededor de 20 30 segundos. Esto solamente pasa si la tarea es desarrollada por 2 personas en simultaneo. Para el caso en el cual solo una persona esta a cargo, debe primero cargar el agroquímico y luego cambiar la batería, o viceversa, aumentando significativamente el tiempo entre ciclos de vuelo.

Esto conlleva a una disminución de la eficiencia del dron, debido a que por

cada hora de aplicación de producto se consume de 25 a 30 minutos en tareas de reabastecimiento.

El objetivo principal de este estudio consiste en el diseño y desarrollo de una estación móvil para la recarga y suministro de drones agrícolas, buscando optimizar el desarrollo de la misma, enfatizando en los tiempos de trabajo como en el cuidado de las personas a cargo.

El estudio está desarrollado para los drones de mayor capacidad disponibles actualmente en el mercado (el modelo AGRAS T50 de DJI es el utilizado como referencia para el proyecto), pudiéndose implementar en drones de gamas inferiores. Como principal limitación, se tiene al espacio disponible a utilizar en relación a la normativa de vialidad del país, peso máximo a trasladar.

1. Problemática

1.1. El origen de la agricultura y la fertilización

La agricultura tuvo sus primeras apariciones durante el **Neolítico (hace 12000 años)**, momento en el cual revolucionó la historia y transformó el modo de vida y la supervivencia humana por completo. La práctica de cultivar la tierra, como base de la producción propia de los alimentos, permitió a la humanidad introducir cambios tan trascendentales como el sedentarismo y la formación de poblaciones que han marcado por completo el desarrollo de la historia.

En los primeros poblados los humanos comenzaron a cuidar a los animales y cultivar las plantas sin necesitar salir en busca de ellas, lo que junto a la utilización de herramientas y provocó una completa revolución que marcó el fin de una época basada en la recolección y la caza, dando comienzo a la agricultura y la ganadería como modo de vida.

Existen algunas hipótesis sobre la causa del origen de la agricultura. La primer hipótesis se basa en la respuesta a una **crisis alimentaria** causada por el crecimiento demográfico, en un momento y condiciones determinadas. Una segunda hipótesis resalta sobre la adaptación de los humanos al **cambio climático**, donde se limitó los recursos de las sociedades cazadoras, pescadoras y recolectoras. La última hipótesis se basa en un aspecto **cultural**, donde las poblaciones alcanzaron un dominio sobre la naturaleza y el desarrollo tecnológico y social, permitiéndoles este cambio. [1]

En la figura 1, se observan los primeros lugares donde se originó la agricultura:

- **Fertile Crescent** (hoy en día abarca la zona de Irán, Irak, Siria, Palestina, Israel, Egipto, Líbano y Turquía).
- **Middle Yellow River Valley & Yangtze River Valley** (Norte y sur de china).

- **New Guinea.**
- **Mesoamerica** (México y Centroamérica)



Figura 1: Mapa con los puntos de origen de la agricultura. [1]

Luego, unos 3000 o 4000 años mas tarde, se extendió a gran parte de **África**, sur y algunas partes del este de **Asia**, y la gran mayoría de los países de **Lati-noamérica**. Los cultivos en aquella época eran diversos, y su lugar de origen no radicaba solo en uno, sino que se domesticaba en múltiples lugares en paralelo. Algunos de los cultivos que se domesticaron son los que hoy en día se cultivan en la gran mayoría de la Argentina.

Domesticación de los cultivos		
Planta domesticada	Cuánto tiempo atrás	Dónde
Cebada	Al menos 10 mil años	Creciente Fértil, China, India, Etiopía
Maíz	8 mil a 11 mil años	Principalmente México, pero también Bolivia, Guatemala
Trigo	Más de 10 mil años	Creciente Fértil, Etiopía
Papa (patata)	7 mil a 10 mil años	Andes Centrales: Bolivia, Perú, Sur de Ecuador, norte de Chile y Argentina. Chiloé es centro de diversidad

Figura 2: Lugar de domesticación y período de cultivos comunes de Argentina. [1]

Durante esta época de domesticación, se continuaba con la práctica de la caza, y se comenzó a implementar la domesticación de los animales.

Debido a que no se tenía extensas tierras, esta práctica se realizaba en un mismo lugar, cultivando en lugares donde se hallaba **estiércol**. Gracias a ello, los humanos comenzaron a notar que aquellas plantas cultivadas donde se ha-

llaba **estiércol** presentaban un desarrollo y crecimiento superior a las plantas que se cultivaban en otros sitios. Se ha registrado que, en tiempos posteriores, los babilonios, los egipcios, los romanos y los primeros alemanes utilizaron minerales o estiércol para aumentar el rendimiento de sus plantaciones. [2]

La fertilización proporciona a las plantas todo tipo de nutrientes que necesitan para crecer fuertes y saludables, incluyendo los elementos más importantes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Es por eso que los agricultores de todo el mundo, en países ricos y pobres, ponen abono en sus cultivos. Sin embargo, no es intuitivamente obvio que la difusión de estiércol alrededor de las plantas fuera bueno para ellas, y los arqueólogos no habían encontrado pruebas de tal práctica antes de unos 3.000 años atrás. Los agricultores del **Cercano Oriente** cultivaban plantas y criaban animales, pero no había señales de que utilizaran estiércol animal para tareas diferentes que no fuera como combustible para el fuego.

Así, un equipo dirigido por **Amy Bogaard** una arqueobotánica de la Universidad de Oxford, en el Reino Unido, decidió buscar evidencias en Europa, donde la agricultura comenzó a propagarse desde el Cercano Oriente hace unos 8.500 años. El estiércol tiene una proporción más alta de lo normal del raro isótopo de nitrógeno-15, el cual es más pesado que el isótopo más común N-14. Los investigadores se aprovecharon de una investigación agrícola reciente que muestra que las plantas tratadas con estiércol también tienen más nitrógeno-15. En consecuencia: midieron el nitrógeno-15 contenido en restos vegetales de cereales como el trigo y la cebada, y de legumbres como guisantes y lentejas, procedentes de 13 enclaves donde se comenzó a practicar la agricultura. Los enclaves databan entre 7.900 y 4.400 años atrás y oscilaron entre Grecia y Bulgaria en el sureste y Reino Unido y Dinamarca en el noroeste. Tal como el equipo informa en [Proceedings of the National Academy of Sciences](#), los niveles de nitrógeno-15 en 124 muestras de cultivos, que suman más de 2.500 granos de cereales o semillas de legumbres, eran altos y consistentes con el uso de estiércol en la mayoría de los 13 enclaves analizados. Sin embargo, la fuente predominante de fertilizante para los siguientes miles de años fue el estiércol.[3]

1.2. La agricultura en la Argentina

A día de hoy, la Argentina se posiciona como uno de los mayores exportadores agrícolas a nivel mundial. Los principales cultivos del país son la soja, el trigo, el maíz y el girasol. Como se observa en la figura 3, desde 1991, el crecimiento tanto en toneladas de producción como de área sembrada es significativo, siguiendo en un constante aumento día tras día.

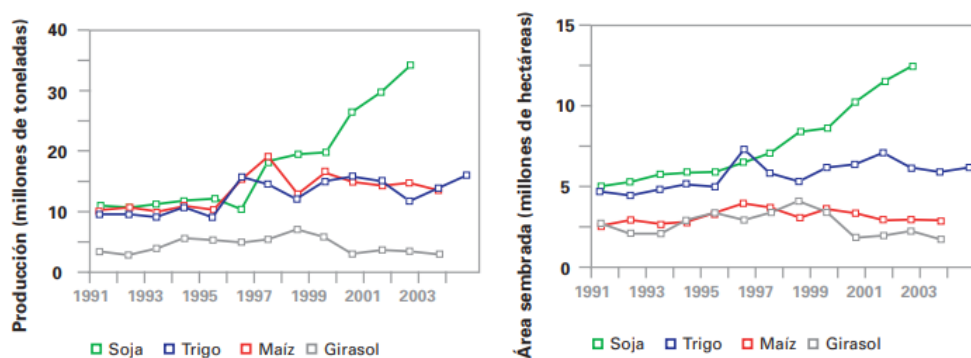


Figura 3: Crecimiento de la producción y del área sembrada.[4]

Este continuo crecimiento de la producción agrícola, empobrecen el suelo cultivado, debido a que los granos absorben los nutrientes para desarrollarse adecuadamente, debilitándolo y reduciendo su eficacia y eficiencia. Debido a esto, el uso de fertilizantes se volvió una práctica muy común al cultivar. A su vez es común el uso de los fertilizantes cuando el aporte nutricional del suelo a las plantas no es lo suficiente para permitir un óptimo crecimiento de las mismas, condición denominada deficiencia nutricional.

Otro producto muy utilizado en la agricultura son los fitosanitarios-herbicidas, fungicidas, curasemillas, insecticidas y otros, siendo de gran utilidad en la agricultura extensiva cuando se busca disminuir los daños causados a los cultivos por insectos y enfermedades, así como la competencia de las malezas. Gracias al uso de pesticidas y fertilizantes, se logró en la Argentina un mayor rendimiento por hectárea, permitiendo así elevar la producción. Tal como se expone en la figura 4, el uso de fertilizantes y fitosanitarios tuvo un aumento significativo a lo largo de los años, debido a que su frecuencia de uso cada vez era superior, para mantener las tierras optimas para la siembra. [5] [4]

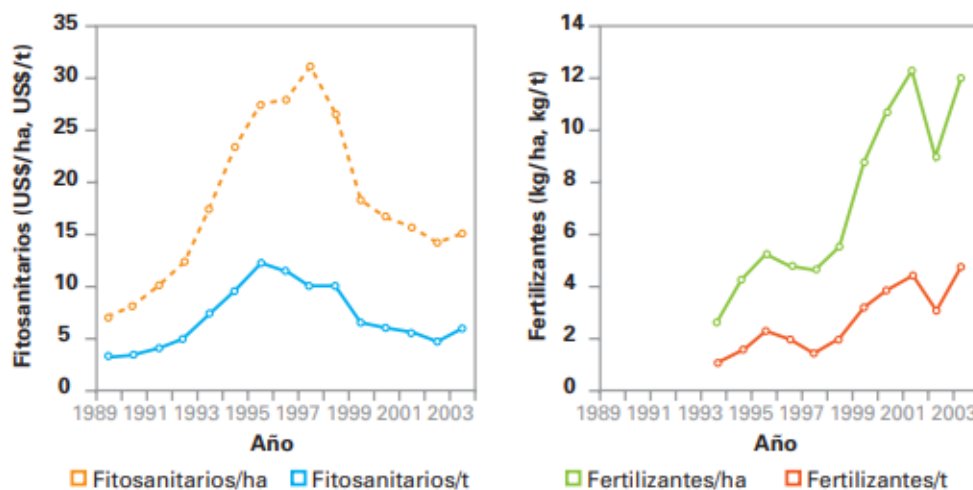


Figura 4: Evolución del mercado de fitosanitarios y fertilizantes. [4]

1.3. Fertilizantes

Como fue mencionado previamente, el crecimiento exponencial de las áreas cultivadas, así como de la eficiencia de las tierras, se vio fuertemente acompañada del aumento en el uso de fertilizantes inorgánicos. Los mismos tienen como objetivo principal aportarle nutrientes a los cultivos, para obtener un crecimiento óptimo. Su uso sigue siendo de gran importancia en los sistemas de producción, sobre todo en los sistemas intensivos donde los rendimientos que se alcanzan son muy altos. Generalmente, el suelo posee un alto contenido de nutrientes, pero no siempre es suficiente para solventar los altos rendimientos. Es por eso, que el no uso de los fertilizantes, generaría bajos rendimientos debido a la extracción de nutrientes por los cultivos con el transcurso de varios ciclos de producción.

Inicialmente los fertilizantes prestaron atención a resolver deficiencias de macronutrientes en los suelos, es decir, la incorporación de fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos. Sin embargo, hoy en día son muy diversos en los aportes de nutrientes, pudiendo aportar un solo elemento, dos, tres o incluso una cantidad mayor.

La eficiencia agronómica de un fertilizante, es vista desde dos puntos:

- Su eficiencia sobre el rendimiento de un cultivo determinado, es decir,

que tanto puede incrementar el rendimiento por kg de nutriente aplicado dentro de un mismo sistema de cultivo, siendo parámetro de la fuente del nutriente.

- Su eficiencia de recuperación la cual indica la cantidad de aprovechamiento (en porcentaje) del nutriente por la planta, de la dosis inicial aplicada en forma de fertilizante. Esta eficiencia es muy variable según cultivos, suelos, riego, entre otros. Sin embargo muchos autores consideran como un promedio aproximado del 50 % para N, 30 % para P y 60 % para K.

La adecuada selección de los fertilizantes, junto con el momento oportuno y el método correcto de aplicación, contribuye significativamente a maximizar la eficiencia agronómica y optimizar el retorno económico de la inversión en fertilización. [6][7]

1.4. Pulverizadoras

Para la aplicación de los fertilizantes sobre los cultivos, se debe hacer uso de una máquina conocida como **pulverizadora** (ver figura 5). La misma tiene por objetivo transformar una masa líquida en pequeñas gotas y proyectarlas a un blanco.



Figura 5: Pulverizadora autopropulsada.

Estas máquinas son las más utilizadas a día de hoy en la agricultura, dado que se puede esparcir el fertilizante en grandes superficies a un ritmo considerable. Pero, se considera muy deficiente debido a la dificultad que se presenta para que el producto llegue a destino, siendo la **deriva** una de las principales razones.

Se define como deriva a todo principio activo que no impacta directamente sobre el blanco objetivo del tratamiento. Esta puede clasificarse en dos tipos según su ubicación: exoderiva, cuando el principio activo cae fuera del área de tratamiento, y endoderiva, cuando cae dentro del área pero no sobre el blanco específico. A su vez, la deriva puede distinguirse por su mecanismo de ocurrencia: se denomina deriva física a la traslación de las gotas debido a la acción del viento, mientras que la deriva química corresponde a la evaporación antes de alcanzar el objetivo. En la deriva influyen algunos parámetros, los cuales los podemos clasificar en:

- **Parámetros climáticos:** temperatura, humedad relativa, viento, radiación.
- **Parámetros regulables:** altura de botalón, velocidad de trabajo, tamaño de gota, tipo de pastillas, presión, tensión superficial, etc.

Otro aspecto a considerar de las pulverizadoras es que las mismas son de uso terrestre, lo que implica que circulan sobre la superficie en la cual se cultiva. Esto es una desventaja para las mismas, dado que se corre el riesgo de que se aplaste parte del cultivo, generando pérdidas tanto en eficiencia de las tierras cultivadas como en pérdida monetaria. A su vez, al circular por la tierra las ruedas generan una compactación en la misma, lo que se traduce en una superficie de cultivo menos aireada. Esto es sumamente importante dado que las raíces deben tener espacio para poder crecer y expandirse. También, el estado del suelo juega un papel fundamental en el uso de las máquinas pulverizadoras, dado que ante condiciones húmedas o barrosas, se torna difícil.

Por último, para que la pulverizadora pueda realizar su labor, una persona debe estar en el interior de la máquina ya sea porque es quien maneja, o simplemente para controlar que todo vaya según lo previsto. Esto, implica algunos riesgos para la persona, dado que la máquina puede volcar, o atropellar, lo cual estaría comprometiendo el bienestar de quien esté en su interior. [8][9]

1.5. Drones agrícolas

Un dron agrícola (figura 8) es un vehículo aéreo no tripulado equipado de sistemas de pulverización. Funcionan mediante la integración de diversas tecnologías, como GPS, sensores y software avanzado. En las tareas de pulverización, los drones son usados para realizar aplicaciones precisas y controladas de pesticidas, herbicidas y fertilizantes. Estos dispositivos pueden programarse para seguir rutas específicas, ajustando la cantidad y la distribución de los productos según las necesidades del cultivo.



Figura 6: Dron agrícola.

El uso de los mismos trae consigo una serie de beneficios, los cuales van más allá de la sustitución de los métodos tradicionales:

- **Precisión:** Los drones pueden aplicar productos fitosanitarios con una precisión milimétrica, reduciendo el desperdicio y asegurando que cada planta reciba la cantidad exacta de producto necesario.
- **Eficiencia:** Permiten cubrir grandes áreas en menor tiempo y con menor esfuerzo, lo que aumenta la eficiencia operativa.
- **Acceso a áreas difíciles:** Los drones pueden acceder a terrenos complicados o inaccesibles para maquinaria tradicional, garantizando una cobertura completa del cultivo.
- **Reducción de costos:** Al optimizar la cantidad de insumos y mejorar la eficiencia, los drones pueden reducir significativamente los costos de producción.

Estos dispositivos aseguran una distribución apropiada del producto, reduciendo las zonas subaplicadas o sobreaplicadas. Debido a su exactitud y su-

pervisión, también disminuyen considerablemente la pérdida del producto, lo que incrementa tanto la seguridad como la efectividad. Además, constituyen un progreso significativo en lo que respecta a la seguridad en el trabajo, dado que reducen la exposición del trabajador a los compuestos químicos y posibilitan el funcionamiento en situaciones peligrosas o ineficientes para los empleados, como en áreas empinadas o bajo temperaturas altas. Finalmente, los drones potencian la eficiencia en las operaciones al disminuir significativamente el tiempo y los gastos vinculados a los usos convencionales, posibilitando tratamientos más veloces, lo que resulta en un ahorro de recursos y una mejor sostenibilidad del proceso agrícola.

Sin embargo, los drones tienen algunos aspectos desfavorables que se deben tener en cuenta. El primero hace referencia a la autonomía de vuelo y la cantidad de litros a esparcir por ciclo de vuelo. Un dron tiene una autonomía de unos 7 a 10 minutos de vuelo, logrando cubrir unas 2.5 ha por ciclo. Esto permite completar unas 21 hectáreas en 1 hora, valores muy lejanos a los de una pulverizadora tradicional. Por otro lado, son de gran utilidad para pequeñas aplicaciones, donde los terrenos son difíciles para los métodos tradicionales, dado que en grandes extensiones se torna poco eficiente. [10], [11]

Todo esto, conlleva a la presencia de una persona para el continuo intercambio de la batería del dron, así como la recarga del respectivo producto a pulverizar, convirtiéndose en una tarea no solo exigente (dado que se debe levantar la batería que pesa 12 kg) sino que también prolongada y demandante en términos de tiempo (la persona debe realizar intercambio de batería y recarga del producto de forma manual).

Es por eso, que se propone un sistema que permita ejecutar la tarea con mayor facilidad y rapidez, permitiendo así tanto la optimización de tiempos muertos entre ciclo y ciclo para aumentar la eficiencia de los drones, como desligar al operario de exigencias y riesgos para su salud. A su vez se propone el transporte de este mismo mediante el uso de un carretón.

1.6. Variables

- **Tiempo de parada:** Se ha fijado un tiempo de parada entre ciclo de 2 a 3 minutos. Este valor de tiempo se deduce de el tiempo que demora en recargar el tanque de agroquímico del dron. Como se observará durante el desarrollo se define un caudal de carga de agroquímico de $20l/min$ lo que resulta en un llenado total al cabo de 2 a 3 minutos. A su vez, durante este tiempo se define el intercambio de batería.
- **Cantidad de agroquímico a utilizar en una jornada laboral:** Se define una jornada laboral de 4 horas. Se definen el uso de aproximadamente $1000litros$ de agroquímicos a utilizar por jornada mediante el siguiente cálculo:

Por ciclo de trabajo el drone es capaz de realizar $2,5ha$ esparciendo un total de $40litros$ de agroquímico. Por hora de trabajo se realizan $16,67ha$ lo que se traduce en un esparcimiento de aproximadamente $266,67litros$ de agroquímico por hora. Finalmente por jornada laboral se utilizan $1067litros$ de agroquímico.
- **Dimensiones y pesos del dron:** Se utilizará a modo de modelo el dron DJI AGRO T50[11]

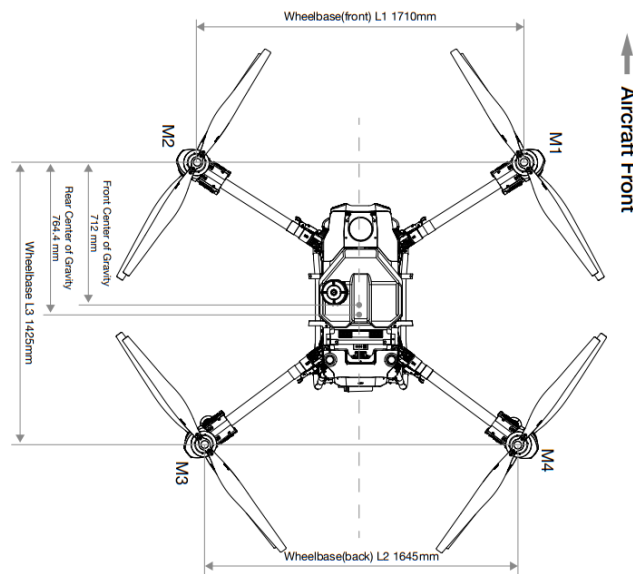


Figura 7: Medidas AGRAS T50.[11]

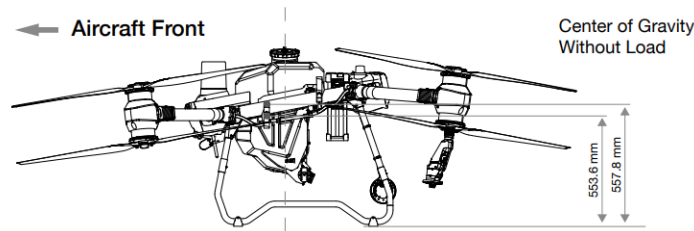


Figura 8: Medidas AGRAS T50. [11]

En función de estas medidas se definirá la zona de aterrizaje y el sistema en donde el dron descenderá.

- **Tipo de agroquímico:** Se consideró para los cálculos de agitación del agroquímico y de flujo del mismo el fertilizante Cloruro de Potasio estableciendo así la peor condición ya que posee una densidad de 1980 kg/m^3 . [12]
- **Pesos de dron, batería y bolsas de agroquímico:**
 - Peso de dron: Se consideró un peso de 103 kg siendo este el peso máximo de despegue permitido por DJI a nivel del mar.
 - Peso de baterías: 12 kg .
 - Peso de bolsas de agroquímico: Se consideró la peor condición en donde se utilicen bolsas de 50 kg .

1.7. Condiciones límites

■ Dimensiones

El carretón no podrá exceder los $2,6 \text{ m}$ de ancho y los $4,3 \text{ m}$ de alto (según decreto 32/2018 [13]). A su vez se limita el largo del carretón a un máximo de 5 m .

■ Mantenimiento

Dicho sistema se utilizará en zonas rurales con acceso limitado a servicios de mantenimiento como talleres, repuestos, entre otros. Se limita el diseño sistemas simples que no requieran de mantenimiento constante. Además se

deben asegurar condiciones seguras para la realización de mantenimiento en el caso de que la hubiese.

■ Higiene y Seguridad

Aunque en la *resolución 886/2015* se permite la manipulación de cargas de hasta 25 kg el manejo de baterías y agroquímico sigue implicando un esfuerzo físico considerable para el operario ya que en la *resolución 295/2003* se permite una manipulación de carga no mayores a 11 kg desde la altura de los nudillos hasta por debajo del hombro para tareas > 2 horas al día y > 12 y ≤ 30 levantamientos por hora intermitentes desde el punto medio entre los tobillos o desde la mitad de la espinilla hasta la altura de los nudillos. [14],[15]

TABLA 2. TLVs para el levantamiento manual de cargas para tareas > 2 horas al día con > 12 y ≤ 30 levantamientos por hora o ≤ 2 horas al día con 60 y ≤ 360 levantamientos/hora.

Situación horizontal del levantamiento \ Altura del levantamiento	Levantamientos próximos: origen < 30 cm desde el punto medio entre los tobillos	Levantamientos intermedios: origen de 30 a 60 cm desde el punto medio entre los tobillos	Levantamientos alejados: origen > 60 a 80 cm desde el punto medio entre los tobillos ^A
Hasta 30 cm ^B por encima del hombro desde una altura de 8 cm por debajo del mismo.	14 Kg	5 Kg	No se conoce un límite seguro para levantamientos repetidos ^C
Desde la altura de los nudillos ^B hasta por debajo del hombro.	27 Kg	14 Kg	7 Kg
Desde la mitad de la espinilla hasta la altura de los nudillos ^B	16 Kg	11 Kg	5 Kg
Desde el suelo hasta la mitad de la espinilla	14 Kg	No se conoce un límite seguro para levantamientos repetidos ^C	No se conoce un límite seguro para levantamientos repetidos ^C

Figura 9: Resolución 295/2003.[14],[15]

■ Sistema eléctrico

Se considera el uso de baterías de 12 voltios 100Ah junto a sistema inversor para convertir a 220V.

1.8. Objetivos

- Tiempo entre ciclos

Se deberá poder realizar el cambio de batería junto a la recarga de agroquímico de un dron *DJI Agras T50* en un tiempo menor a 4 minutos.

- Intercambio de baterías y recarga de agroquímico

Reducir el contacto del operario con los agroquímicos a utilizar como con las baterías a intercambiar logrando mejorar la seguridad del mismo y su integridad física.

- Traslado

Se deberá poder realizar el traslado del mismo por rutas y autopistas nacionales como en caminos rurales tanto en horarios diurnos como nocturnos cumpliendo con el *decreto 32/2018*.

- Simplicidad

Se deberá realizar un sistema en el cual el operario del mismo no requiera de conocimiento especializado.

- Manipulación

Procurar un sistema que ofrezca suavidad durante la manipulación para evitar colisiones y roturas.

2. Propósitos y Propuestas

Procediendo con el desarrollo conceptual de las propuestas en primer lugar se definirán los propósitos con claridad y concisión. Dichos propósitos permitirán realizar una comparación precisa y detallada de las distintas propuestas planteadas logrando posteriormente realizar la elección y desarrollo de una de ellas respetando los objetivos planteados de la problemática a resolver.

2.1. Propósitos

- Tiempo entre ciclos

Para un dron *DJI Agras T50* se debe poder realizar el reabastecimiento en un tiempo menor a 4 minutos.

- Traslado

Se deberá poder trasladar por ruta y autopistas nacionales.

- Mantenibilidad

Lograr un sistema de reducida y simple mantenibilidad.

- Seguridad del operario

Reducir al mínimo la exposición al riesgo del operario cumpliendo con la reglamentaciones correspondientes.

- Comodidad laboral

Generar un ambiente cómodo y práctico para el desarrollo de la jornada laboral.

- Maniobrabilidad

Garantizar un manejo de simple manejo, que ofrezca suavidad y poco esfuerzo.

- Intervención mínima

Lograr la menor intervención del operario posible tanto en el intercambio de baterías como en la recarga de agroquímico.

- Posicionamiento del dron

Garantizar una zona donde se permita al dron aterrizar de forma segura y que se encuentre libre de obstáculos.

- Disposición física

Garantizar una distribución efectiva de los distintos componentes y sistemas logrando la mínima interferencia con el espacio y dinámica de trabajo del operario.

2.2. Propuestas

A continuación se expondrán distintas propuestas que cumplirán con los propósitos y objetivos establecidos los apartados anteriores. Luego, se clasificarán las propuestas en base a sus ventajas, desventajas y cual cumple de mejor forma con los propósitos.

2.2.1. Propuesta 1

La primer propuesta consiste en una estación integral para el intercambio y recarga de un dron agrícola, montada sobre el chasis de un utilitario o pick-up. La misma, será de cabina simple, se removerá la caja que viene de fábrica para realizar la estructura que contendrá todos los sistemas necesarios para el intercambio de las baterías y la recarga del agroquímico.

El sistema de aterrizaje del dron, será desarrollado con un movimiento vertical, permitiendo así que la pista sea elevada a un nivel por encima del resto de los componentes para lograr una zona segura de aterrizaje, evitando así posibles colisiones con otros objetos. Al aterrizar el dron, la pista descenderá para poder posicionarlo cerca del nivel del piso de la estación, y realizar las tareas necesarias.

El intercambio de la batería, será una estructura que, por medio de un patín deslizante, se moverá a través del techo, permitiendo así posicionarse próximo al dron para poder sustituir la batería. El mismo se caracterizará por su simpleza y

se moverá manualmente, permitiendo así que el operario pueda colocarlo donde le sea cómodo. El enganche de las baterías será mediante algún dispositivo de sujeción, como lo puede ser un gancho, y luego se moverá en sentido vertical para colocar o extraer las baterías. También, poseerá un sistema neumático de vacío para permitir la sujeción de las bolsas que serán utilizadas en la formación del caldo dentro del tanque.

Finalmente, la recarga del agroquímico se realizará por gravedad, disponiendo del tanque en una posición que, al accionar una válvula, permita que el fluido en su interior circule por las cañerías hasta la boca del tanque, permitiendo así cargar el agroquímico dentro del depósito del dron para su próximo vuelo.

2.2.2. Propuesta 2

A diferencia de la propuesta anterior, esta segunda se hará uso de un carretón o tráiler, el cual podrá ser trasladado de un punto a otro. De esta forma, no se requiere un único vehículo para su uso.

Para el intercambio de la batería, no será necesario el movimiento de la estructura completa, ya que se mantendrá fija en un determinado lugar y solamente se realizará el movimiento de un brazo que rotará sobre un eje. Al igual que la propuesta anterior, mediante un enganche se sujetará la batería y luego se podrá mover de manera vertical mediante vacío para extraer o colocar la misma.

A su vez se utilizará el sistema de vacío para elevar y mover las bolsas de agroquímico.

La pista de aterrizaje del dron, tendrá movimiento horizontal, siendo impulsado por una cinta, la cual tiene unida a ella mediante bulones un patín con rodamientos apoyados sobre guías por donde se trasladará la plataforma de aterrizaje. Al aterrizar, se accionará la cinta para desplazar al dron a una posición próxima al intercambiador de batería y al tanque, permitiendo que el operario realice las tareas correspondientes.

Por último, la recarga del agroquímico será impulsado por una bomba.

El tanque dispondrá de una salida en su punto inferior a la cual se conectará un conjunto de tuberías que conducen el fluido hasta la bomba. Dicha bomba se encargará luego de impulsar el agroquímico a través de la manguera hasta la pistola surtidora. El operario deberá presionar la pistola para permitir el pasaje del fluido al depósito del dron.

2.3. Elección de propuesta

A continuación se procede a la elección de la propuesta. Se realiza una tabla en donde se compara cada propuesta según los propósitos a cumplir integrando los resultados de la ponderación del propósito con el nivel de cumplimiento del mismo.

Finalmente se realiza la suma de estos, dicha suma definirá cual será la mejor propuesta definida por el mayor valor.

La elección resulta la propuesta 2 denominada la cual surge de mejorar puntos débiles como así de simplificar sistemas complejos de la propuesta 1.

Criterio	Propuesta 1		Propuesta 2	
	Detalle	Valor	Detalle	Valor
Tiempo entre ciclos : 10	Ambas propuestas fueron diseñadas con el objetivo de cumplir tiempos operativos equivalentes, asegurando que el recambio de batería y la recarga de agroquímico se realicen dentro del mismo rango.	7	Ambas propuestas fueron diseñadas con el objetivo de cumplir tiempos operativos equivalentes, asegurando que el recambio de batería y la recarga de agroquímico se realicen dentro del mismo rango.	7
Traslado : 9	Es necesario contar con el vehículo en el que será montado para efectuar su traslado.	4	Su diseño permite la adaptación a cualquier vehículo provisto de enganche.	8
Intervención mínima : 5	Ambos sistemas poseen intervenciones similares.	5	Ambos sistemas poseen intervenciones similares.	5

Criterio	Propuesta 1		Propuesta 2	
	Detalle	Valor	Detalle	Valor
Mantenibilidad : 8	El sistema cuenta con mecanismos simples y fijos, fáciles de mantener. Además, se tiene pocos componentes comparado con la propuesta 2.	7	La separación de componentes facilita el acceso y mantenimiento de cada sistema.	6
Seguridad : 10	La limitación del espacio, y la proximidad entre el operario y el dron con líquidos, reduce la seguridad.	5	La distribución de sistemas reduce el riesgo de contacto con componentes peligrosos.	9
Comodidad laboral : 5	La limitación del espacio, sumada a las grandes dimensiones del dron, dificulta el desarrollo cómodo de las labores.	2	La distribución más eficiente de los sistemas contribuye a mejorar la comodidad laboral.	7
Maniobrabilidad : 7	Los elementos móviles son simples y de fácil accionamiento.	6	A diferencia de la propuesta 1, los movimientos de los sistemas resultan de mayor sencillez por lo que su maniobrabilidad es mayor.	8
Posicionamiento del dron : 7	Al desplazarse verticalmente, la pista proporciona un área segura para el aterrizaje.	7	Debido a su proximidad al nivel del suelo, es imprescindible garantizar que la zona esté libre de interferencias u obstáculos.	5
Disposición física : 7	El espacio disponible para los sistemas es limitado, lo que dificulta su adecuada organización.	3	La mayor superficie disponible facilita una disposición eficiente y ordenada de los sistemas.	7
Total	359		480	

3. Estación móvil de de recarga y suministro para drones agrícolas

En este capítulo se expondrá el diseño final de la estación, cuyo principal objetivo es optimizar el tiempo entre distintos ciclos de vuelo de los drones.

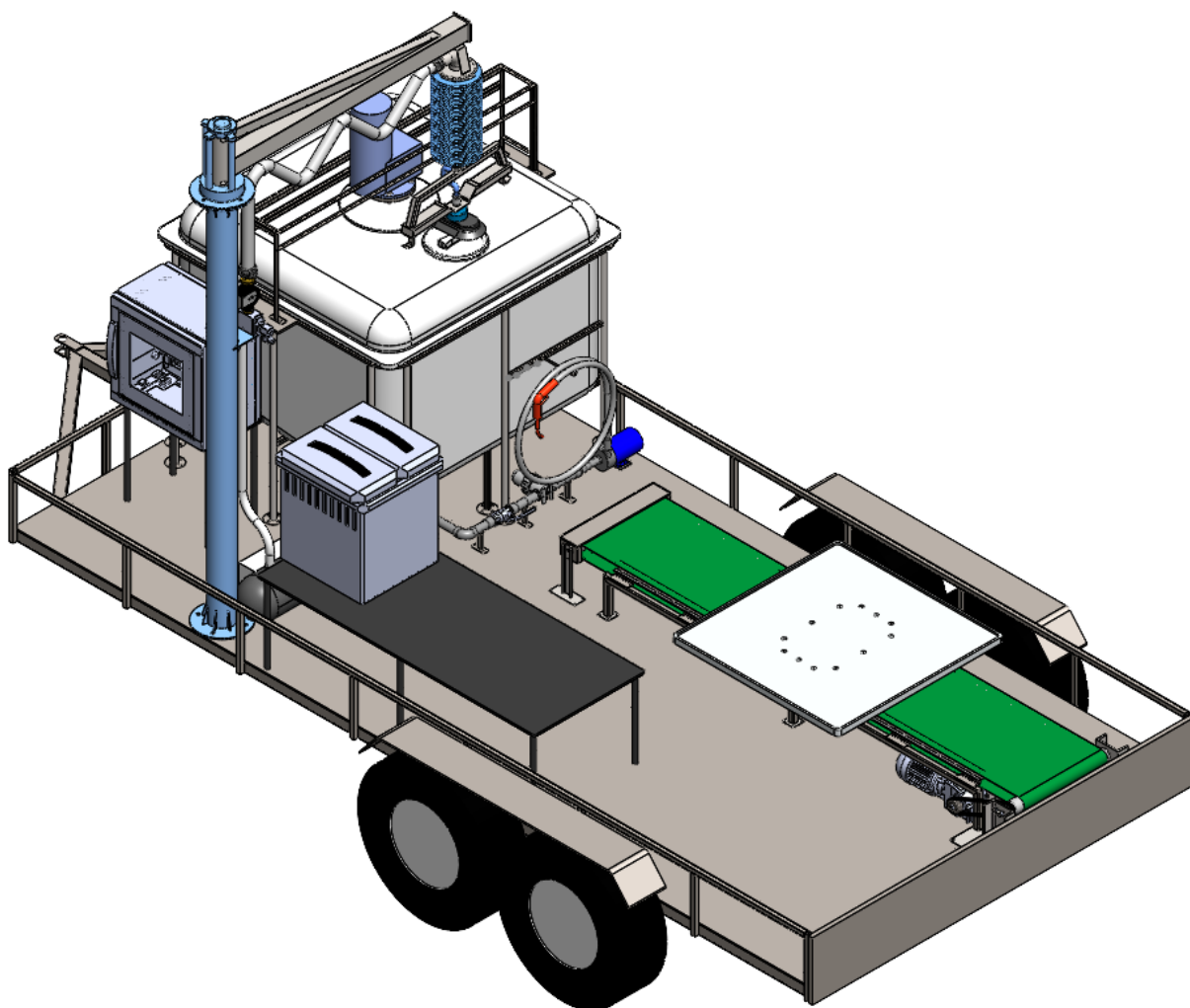


Figura 10: Estación móvil de recarga y suministro para drones agrícolas.

Dicha estación es la representación de un proceso de diseño, pruebas y mejoras de la propuesta elegida.

A continuación se realizará una descripción de los tres sistemas principales junto a sus componentes y subsistemas, su funcionamiento, características técnicas y desarrollo de cálculos: Pista de aterrizaje, manipulador de cargas y sistema reabastecedor de agroquímico.

3.1. Pista de aterrizaje

La pista de aterrizaje consta de una cinta transportadora impulsada por el sistema de rodillos el cual consta de un sistema motriz, rodillo de tensado y rodillo guía. Adosada a esta misma se encuentra la mesa de aterrizaje sobre la cual, en uno de los extremos de la pista, aterrizará el dron para luego trasladarse a la zona de recarga y suministro.

El conjunto completo se encuentra unido a la base de la estación mediante distintas patas conformadas por perfiles y caños cuadrados estructurales normalizados soldados a planchuelas de distinto tamaño. Dichas planchuelas se encuentran abulonadas a la base de la estación.

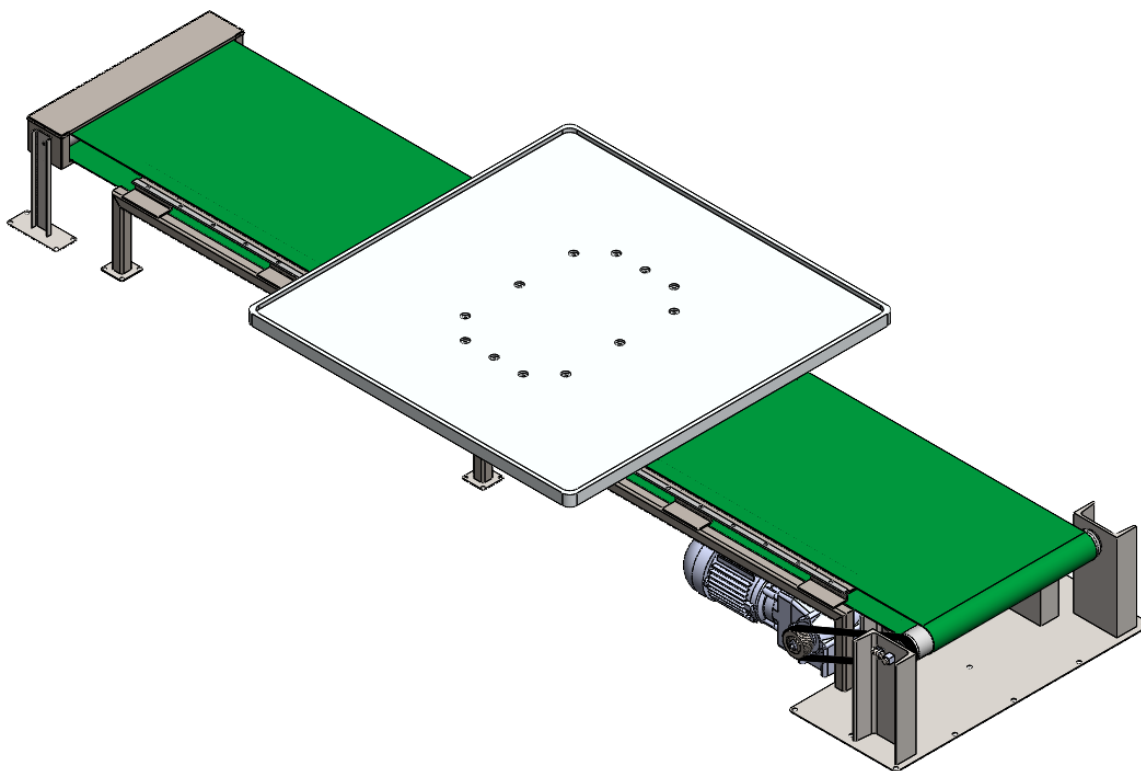


Figura 11: Pista de aterrizaje.

El sistema motriz consta con un rodillo tractor que mediante el tensado de la cinta transmite el movimiento de rotación a la cinta provocando el movimiento horizontal de la mesa de aterrizaje. Dicho rodillo cuenta de una polea "Poly V" en la cual se adosa una correa que se encuentra acoplada al motorreductor que genera el movimiento.

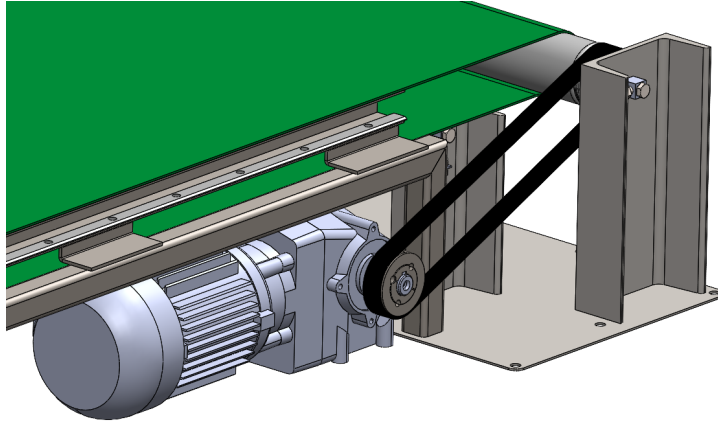
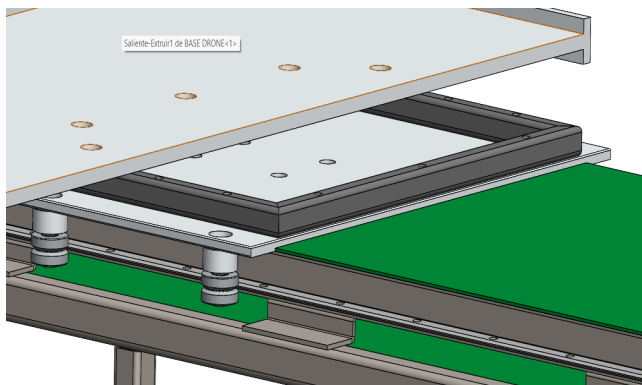


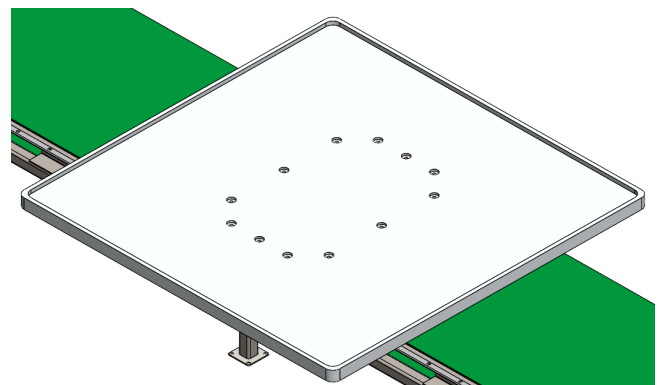
Figura 12: Sistema motriz.

La mesa de aterrizaje consta de una base de aluminio que se encuentra unida mediante tornillos a la denominada estructura mesa de aterrizaje. Dicha estructura consiste de dos componentes principales:

- Placa de mesa de aterrizaje: Dicha placa cumple una función estructural y además es la encargada de poseer ensamblado los rodamientos flotantes encargados de deslizarse sobre las guías. Además se encuentra adosada a ella una estructura de caño sobre el cual apoyará la base de aterrizaje.
- Base de aterrizaje: Dicha componente otorga al dron una zona segura y firme debido a su gran tamaño y rigidez.



(a) Placa de mesa de aterrizaje.



(b) Base de aterrizaje.

Figura 13: Mesa de aterrizaje.

3.2. Manipulador de cargas

El sistema está compuesto por una columna estructural fija, que actúa como soporte principal, y un brazo giratorio con desplazamiento giratorio del punto de sujeción. En el extremo del brazo se encuentra el dispositivo de manipulación, sobre el cual se encuentran tanto enganches para la batería como la ventosa que se adhiere a las bolsas de agroquímicos mediante presión negativa. La generación del vacío se realiza a través de un sistema neumático que incluye un tanque de aire comprimido, válvulas, y un filtro o silenciador, garantizando una operación segura y eficiente.

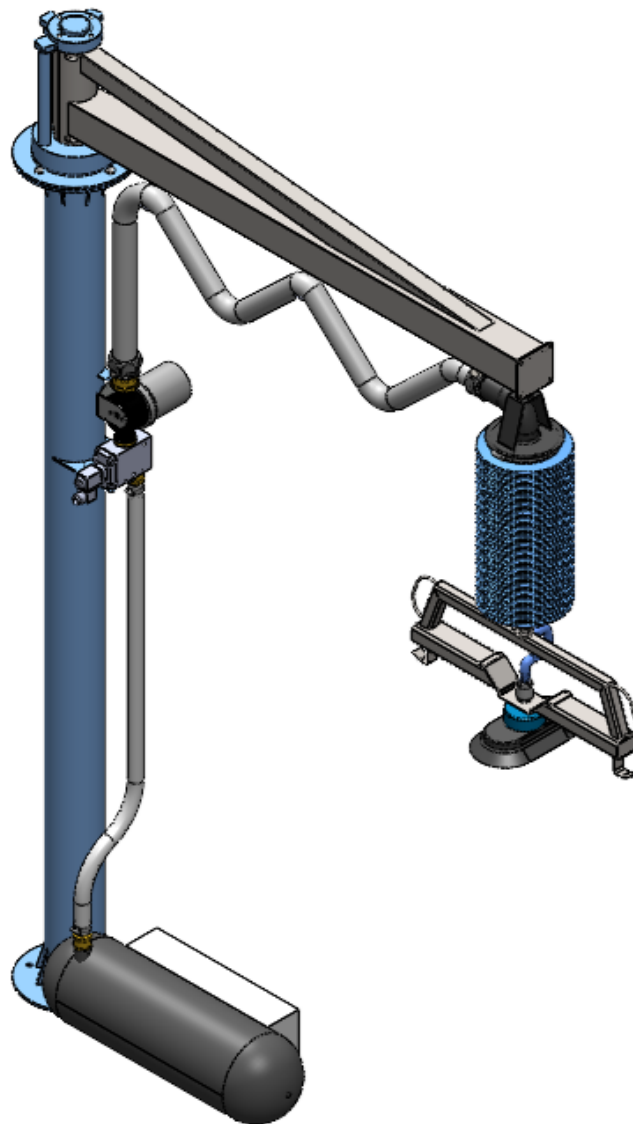


Figura 14: Manipulador de cargas.

Este sistema consta de un pie principal (conformado por un caño redondo), el cual tiene en sus extremos bridas soldadas. Entre el caño y las bridas se colocan unos refuerzos o cartelas para dar mayor rigidez a la estructura. Sobre este pie se encuentra abulonada una estructura soldada, en la cual se montan todos los componentes que permitirán el giro del brazo. Tendremos rodamientos para cargas axiales y rodamientos para cargas radiales, que compensarán los esfuerzos que se producen. También se tendrá el eje, que es el que girará, permitiendo así que el brazo pueda rotar sobre un mismo punto.

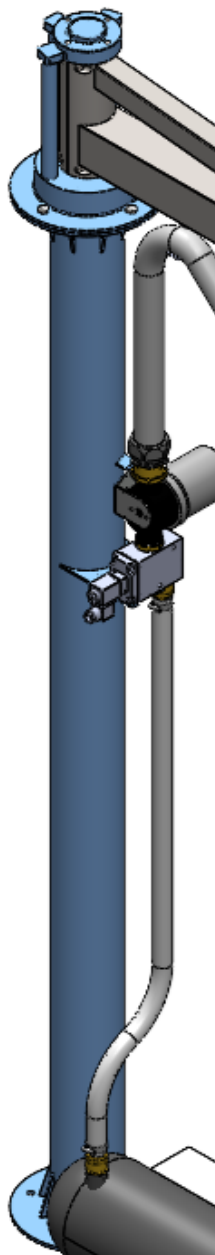


Figura 15: Pie de apoyo junto al alojamiento del eje.

El brazo giratorio consta de dos mitades de un redondo, las cuales se unen mediante bulones y se mantienen unidas al eje rotando solidariamente con el mismo gracias a un elemento de fijación.

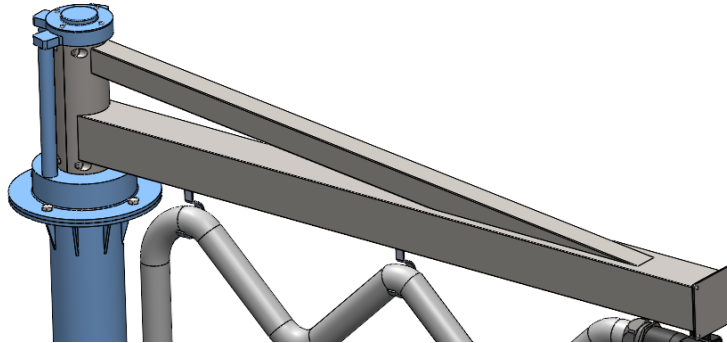
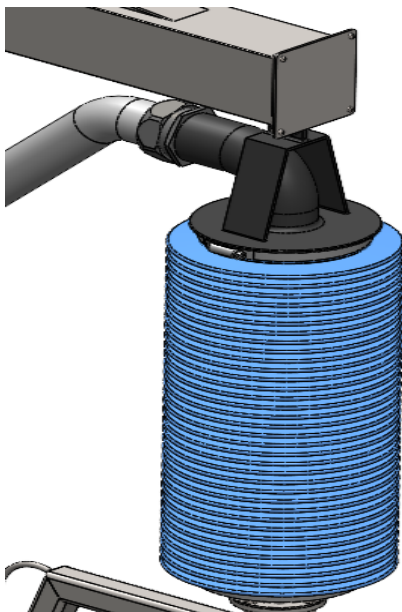


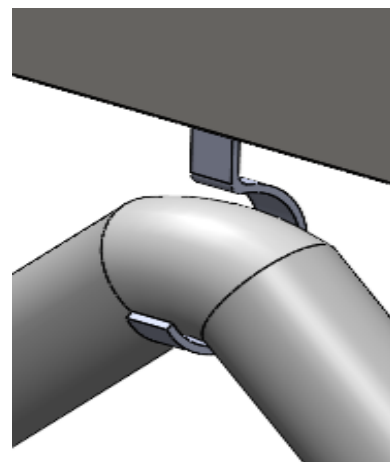
Figura 16: Brazo giratorio.

Luego, se posee de un caño cuadrado que cumple la función de guía para los patines deslizantes. Este mismo se encuentra soldado a una de las mitades.

Por otro lado, se incorporan los patines cuya función principal es posibilitar el desplazamiento de los distintos componentes a lo largo del brazo del sistema. Uno de ellos actúa como patín principal, sobre el cual se monta el tubo corrugado encargado de la manipulación de cargas mediante vacío. Los otros patines, sostienen la manguera corrugada del circuito neumático.



(a) Patín principal.



(b) Patín secundario.

Figura 17: Patines deslizantes.

Unido a este tubo mediante una abrazadera metálica, se encuentra la estructura portante que sostiene los ganchos y la ventosa. Dicha estructura está diseñada para rotar sobre un eje, permitiendo que, una vez sujetas ambas baterías, pueda realizarse un giro de 180° para reorientar el conjunto y facilitar una colocación rápida y precisa de la batería cargada en el dron sin que el operario realice esfuerzo alguno.

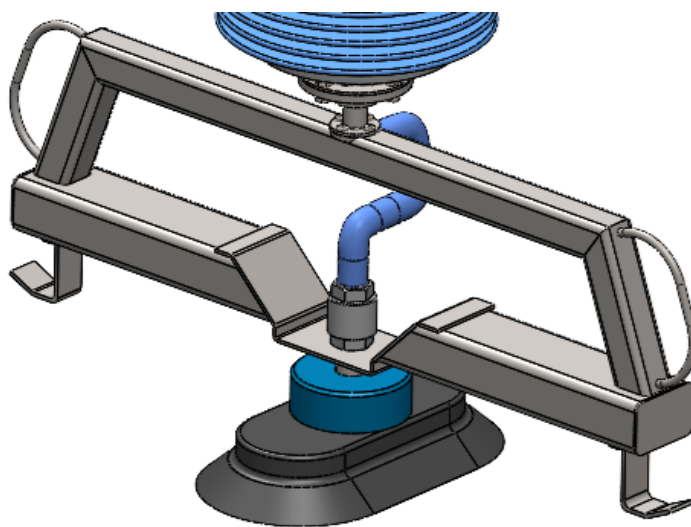


Figura 18: Estructura portante de ventosas y enganches.

3.3. Sistema reabastecedor de agroquímico

El sistema reabastecedor de agroquímico consta de un tanque en donde se depositará el agroquímico granulado soluble el cual podrá ser agitado por medio de un agitador para ser diluido en el agua para luego ser bombeado a través de una manguera hasta una pistola surtidora para así abastecer al tanque del dron.

Todo el sistema se encuentra adosado a una estructura de caños estructurales normalizados soldados a bridas unidas mediante bulones a la base de la estación.

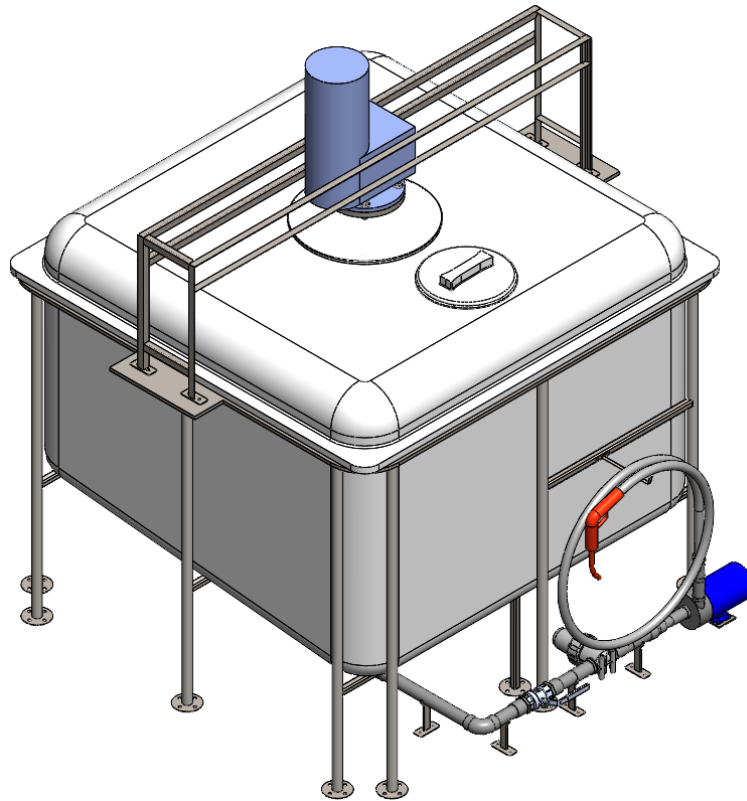


Figura 19: Sistema reabastecedor de agroquímico.

El sistema de agitación está conformado por tres partes fundamentales: motor, eje y paletas. Este sistema cumple la función de colaborar con la dilución del agroquímico granulado en los líquidos dispuestos en el tanque como a su vez de mantener el caldo mezclado evitando el decantado del mismo.

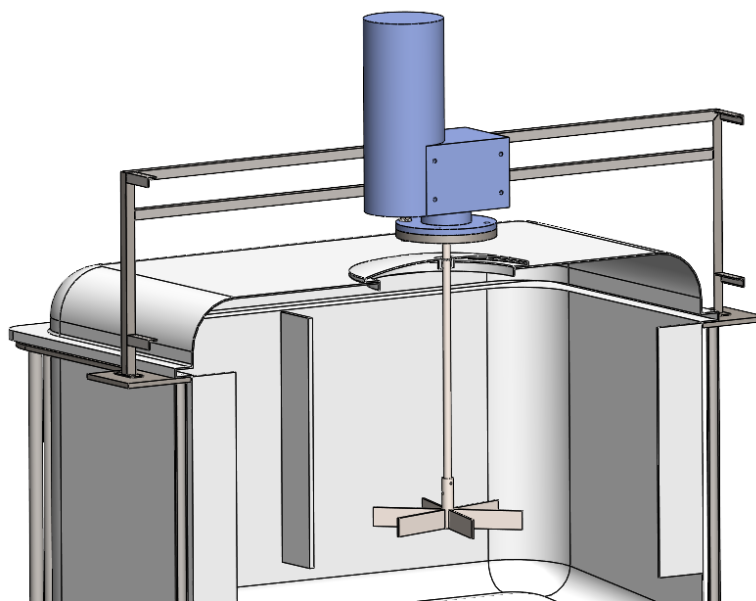


Figura 20: Sistema de agitación.

Para transportar el agroquímico desde el tanque de almacenamiento hasta el depósito del dron se utiliza un sistema compuesto por tuberías y diversos accesorios. Se incluye una válvula para habilitar o bloquear el paso del fluido, y un filtro ubicado al ingreso de la bomba para retener impurezas presentes en el sistema.

Posterior a la bomba, se encuentra una manguera con una pistola surtidora en el extremo, la cual permite controlar el flujo del agroquímico, ayudando a prevenir posibles derrames y facilitando un llenado más preciso del depósito del dron.

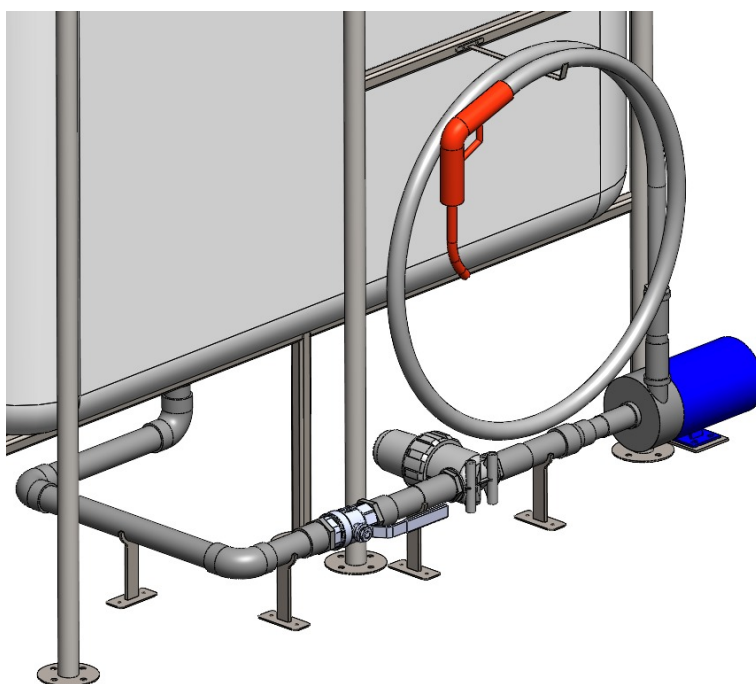


Figura 21: Circuito de bombeo del agroquímico.

4. Desarrollo

4.1. Pista de aterrizaje

4.1.1. Estructura

Dicha estructura se encuentra a 234 mm de la base del carretón permitiendo que la boca de carga de agroquímico del tanque del dron y las baterías se encuentren a una altura de aproximadamente 1000 mm de la base. Esta disposición posiciona al dron a una altura cómoda para el operario y su cercanía a las demás componentes del sistema permite evitar realizar gran cantidad de movimientos para reabastecer al equipo.

Para la misma se utilizan caños cuadrados de $20 \times 20\text{ mm}$ y chapas plegadas de que funcionarán como soporte para la cinta evitando así su flexión.

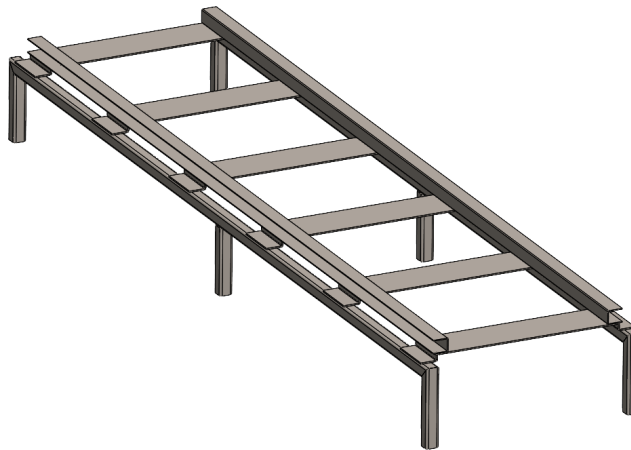


Figura 22: Estructura pista de aterrizaje.

Se realizó un análisis estático en SolidWorks para evaluar las tensiones resultantes en la estructura en su punto más crítico. Se consideraron las siguientes condiciones de borde:

- Fuerza de 125 kgf distribuidos entre dos pies de la estructura de caños. Esta fuerza contempla el peso de la mesa de aterrizaje junto al peso del dron con agroquímico y baterías.
- Sujeción fija en las bases de la estructura de caño.

- Vinculación global entre sólidos.
- Mallado fino sobre las componentes que se verán más afectadas por la carga para identificar con mayor calidad las concentración de tensiones.

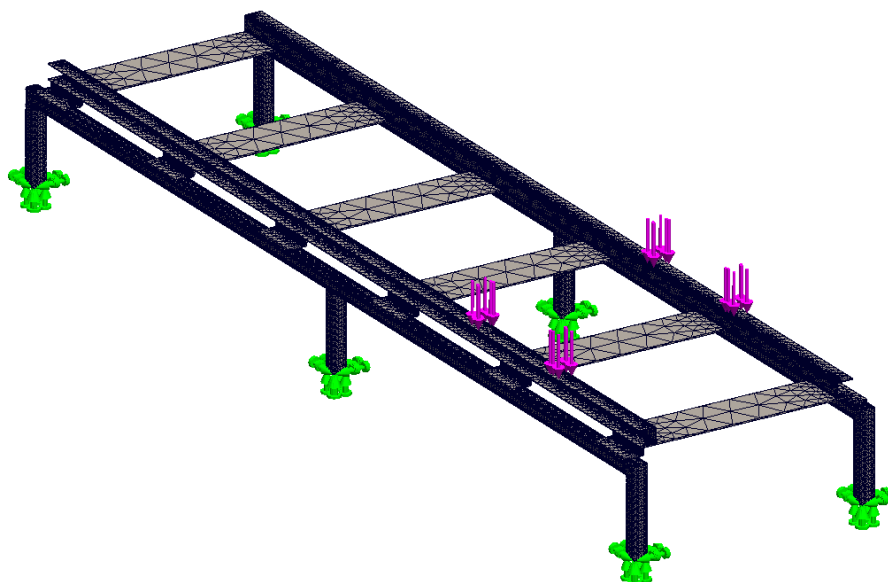


Figura 23: Condiciones de borde.

Se observa los resultados del análisis en la figura 24. Se verifican ciertos puntos de concentración de tensiones con valores menores al límite elástico del material. Considerando que la carga no es constante se concluye que los resultados son satisfactorios.

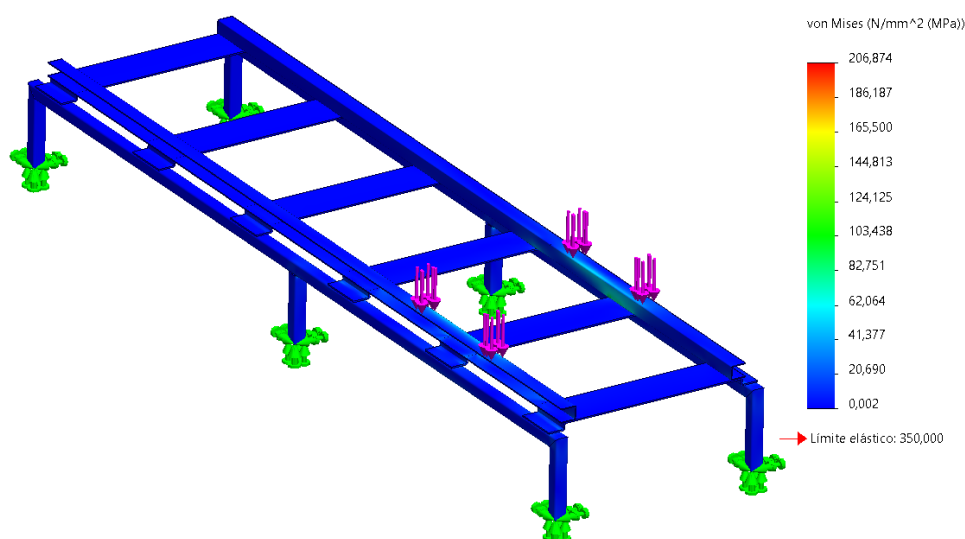


Figura 24: Tensiones de Von Mises.

4.1.2. Mesa de aterrizaje

La mesa de aterrizaje esta compuesta por tres piezas: la base de aterrizaje de $900mm \times 900mm$ en donde el dron aterrizará, una placa que cumple la función de trasladarse solidaria a la cinta deslizando sobre las guías por medio de 4 rodamientos flotantes y una estructura de caños cuadrados de $20mm \times 20mm$ para mantener estas dos piezas solidarias entre sí.

Se realizó un análisis estático en SolidWorks para evaluar las tensiones resultantes en dicha mesa. Se establecieron las siguientes condiciones de borde:

- Fuerza de 103kgf distribuidos sobre la base de aterrizaje. Esta fuerza contempla el peso del dron con agroquímico y baterías.
- Sujeción fija en los agujeros de la placa.
- Vinculación global entre sólidos.
- Mallado fino para identificar con mayor calidad las concentración de tensiones.

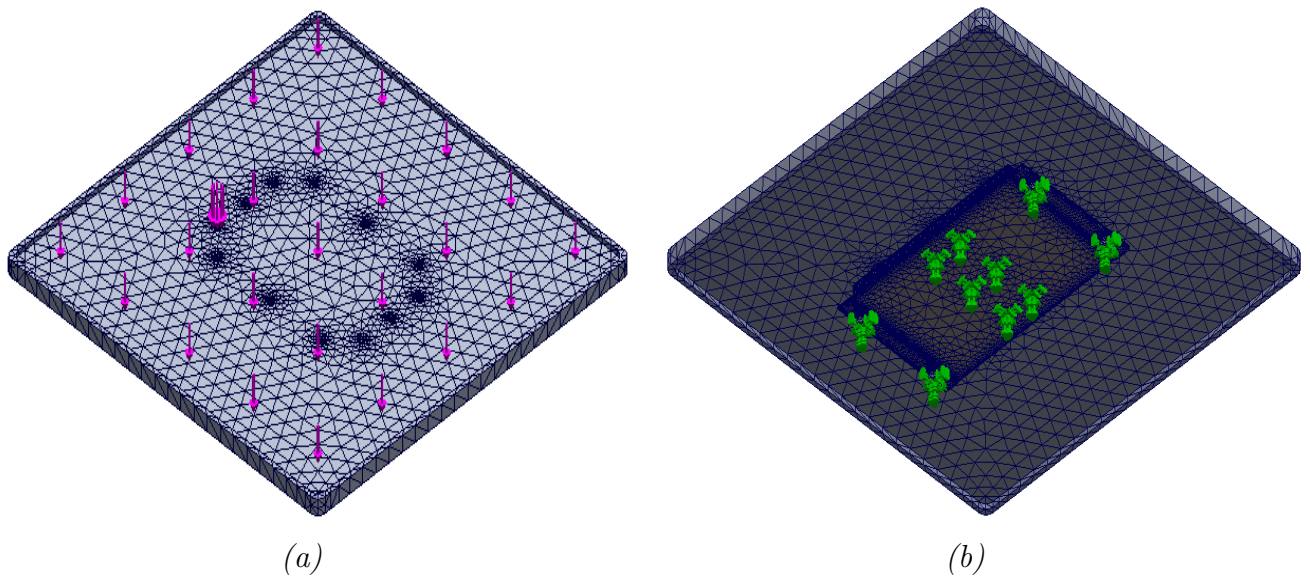


Figura 25: Condiciones de borde.

Se observa los resultados del análisis en la figura 26 y se verifica que las tensiones poseen valores mucho menores al límite elástico del material. Además se aprecia un gran sobredimensionamiento. Esto se debe a que la mesa de aterrizaje se trata de una componente fundamental y crítica dentro del sistema.

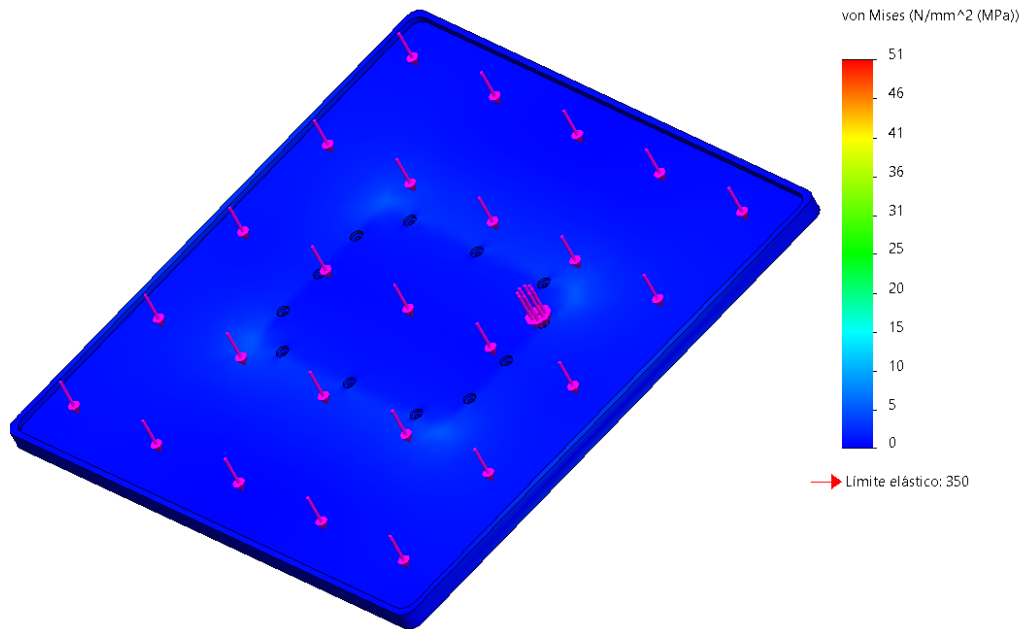


Figura 26: Tensiones de Von Mises.

4.1.3. Componentes

- **Sistema motriz:** La cinta debe poseer una velocidad de $0,3 \frac{m}{s}$ para trasladar el dron desde el extremo trasero de la estación hasta los sistemas de recarga y suministro, una distancia de 2,4 metros, sin correr el riesgo de que el dron se mueva de forma brusca.

El sistema motriz se encuentra compuesto por un motorreductor **WEG de vis sin fin** modelo **SS032-14P-71-06E-TH-TF** de **0,25 HP** con índice de reducción 9.35, posición M1. Al eje de salida se le adosa una polea Poly-V tipo J de 60 mm de 8 canales junto a su correspondiente casquillo cónico **SIT BT-1108-F20**. Los cálculos correspondientes a los componentes se pueden encontrar en la [Memoria de cálculo](#).

- **Cinta:** Se seleccionó una cinta **CHIORINO 2M8 U0-V5 FM** que permite utilizarse con los diámetros de los rodillos seleccionados y soporta las

tensiones de trabajo.

- **Rodillos:** Se seleccionaron tres tipos de rodillos, un rodillo de accionamiento y dos rodillos conducidos.

El rodillo de accionamiento modelo **Interroll CR3500** posee un diámetro de 60 *mm* y una longitud de 550 *mm*. Dicho rodillo se encuentra abulonado a un sistema de tensado y e incluye la polea Poly-V de 8 canales y de diámetro 56 *mm*.

Uno de los rodillo conducidos modelo **Interroll Serie 1200** posee un diámetro de 60 *mm* y una longitud de 500 *mm*. Dicho rodillo se encuentra abulonado a la estructura en el extremo delantero de la cinta. El rodillo conducido restante posee un diámetro de 40 *mm* y una longitud de 350 *mm* utilizado como rodillo tensor en la cara inferior de la cinta.

4.2. Manipulador de cargas

4.2.1. Estructura

Esta estructura, posee como pie de apoyo, un caño redondo de 120 *mm* de diámetro y 6,3 *mm* de espesor. Este pie se encarga de sostener el manipulador en su totalidad por lo que será necesario verificar que resista la carga a soportar mediante pandeo.

Para corroborar se utilizará la fórmula de Euler para pandeo de columna

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2(210 \times 10^9) \times 0,002250m^2}{((2,1 \times 2,1m/0,04026m)^2)} \approx 388,7kN \quad (4.2.1)$$

Donde E es la resistencia de fluencia, r el radio de giro y K es un coeficiente para obtener las longitudes efectivas en base a las conexiones en los extremos.

El análisis tanto estático como de pandeo se obtuvieron mediante el software SolidWorks, con las siguientes condiciones de borde:

- Fuerza sobre el extremo superior de unos 80 kgf , una fuerza de 1,25 kgf sobre el soporte de la electroválvula y una fuerza de 0,5 kgf sobre el soporte del filtro.
- Sujeción fija en la brida inferior.

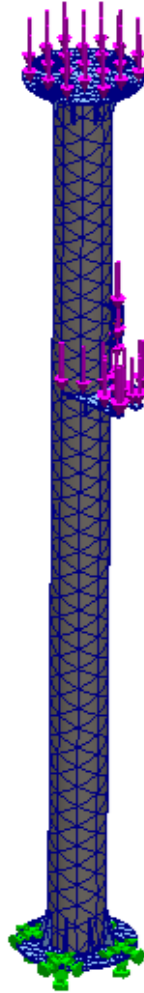


Figura 27: Condiciones de borde.

Se observan los resultados en la figura 28, donde podemos ver que las tensiones máximas que se presentan en el sistema están muy por debajo del límite elástico. A su vez se aprecia que la amplitud relativa máxima de pandeo es de 0,043. Al realizar la simulación, se obtuvo lo que se conoce como **factor de carga**, cuyo valor es de 360,01. Este factor también se lo conoce como factor de seguridad y podemos decir que al ser muy superior a 1, las probabilidades de que el pie falle por pandeo son nulas.

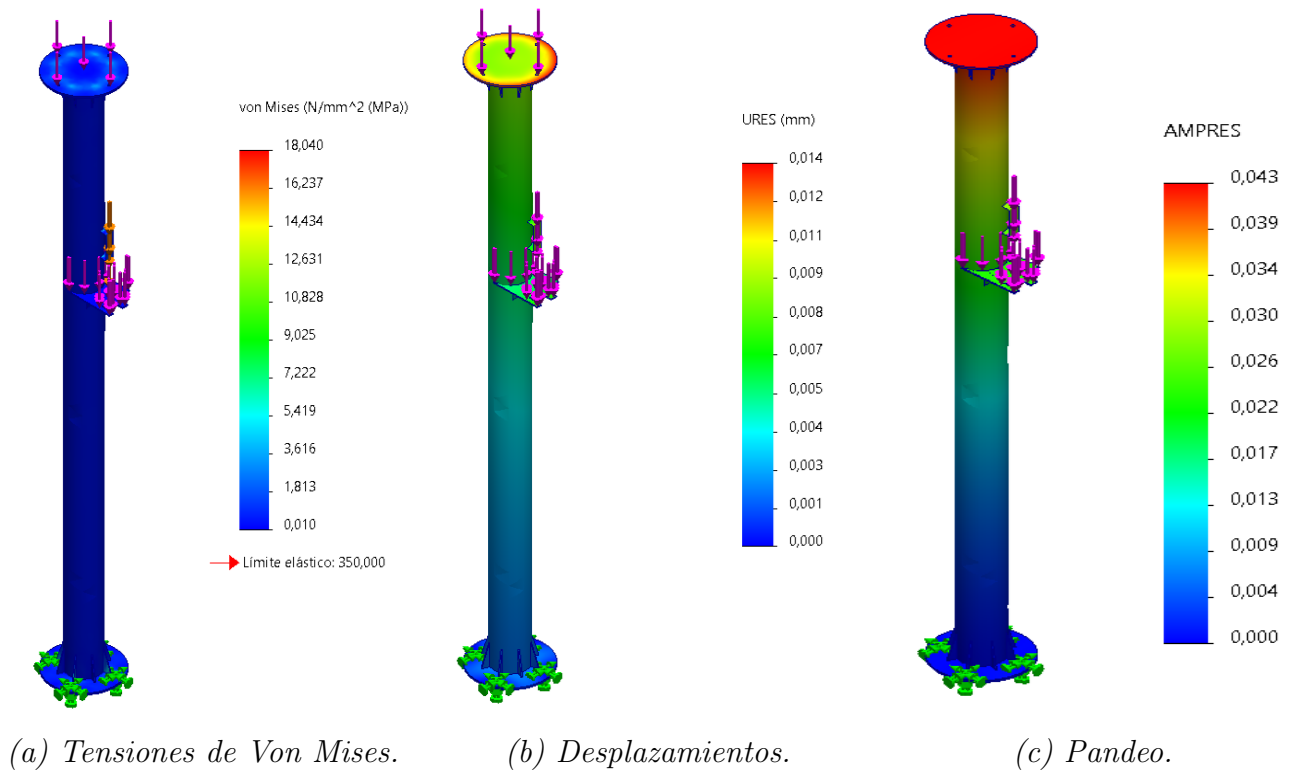


Figura 28: Simulación estática

Posteriormente, se dimensionó el conjunto de los alojamientos que se une a la brida superior del pie por medio de bulones y tuercas. Para su correcto dimensionamiento, utilizamos las siguientes condiciones de borde:

- Fuerza de 80kgf en todas las caras internas de los alojamientos, con dirección hacia el lado opuesto al que se encuentran los redondos.
- Torsión en todas las caras internas de los alojamientos, con un valor de unos 1350Nm.
- Sujeción fija en los agujeros donde se uniría mediante bulones a la brida superior del pie.

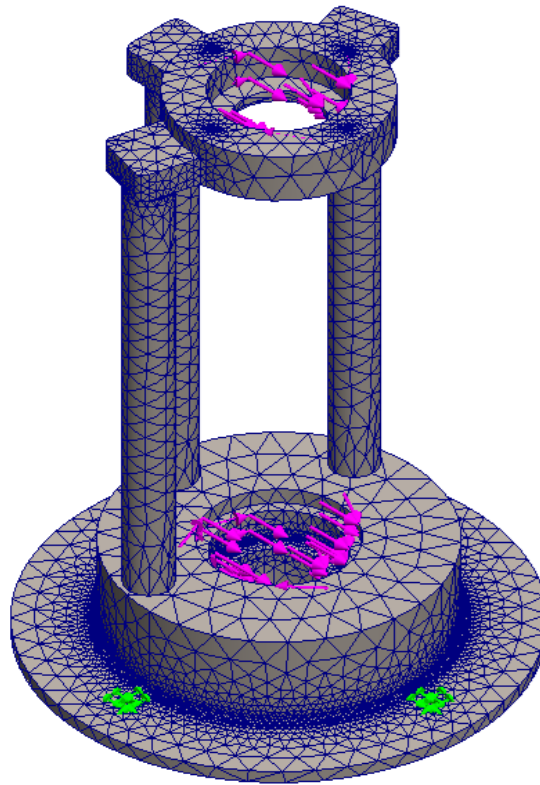


Figura 29: Condiciones de borde

El resultado se visualiza en la figura 30, donde podemos corroborar que cumple satisfactoriamente, ya que las tensiones se encuentran por debajo del límite elástico, por lo que la pieza no fallará.

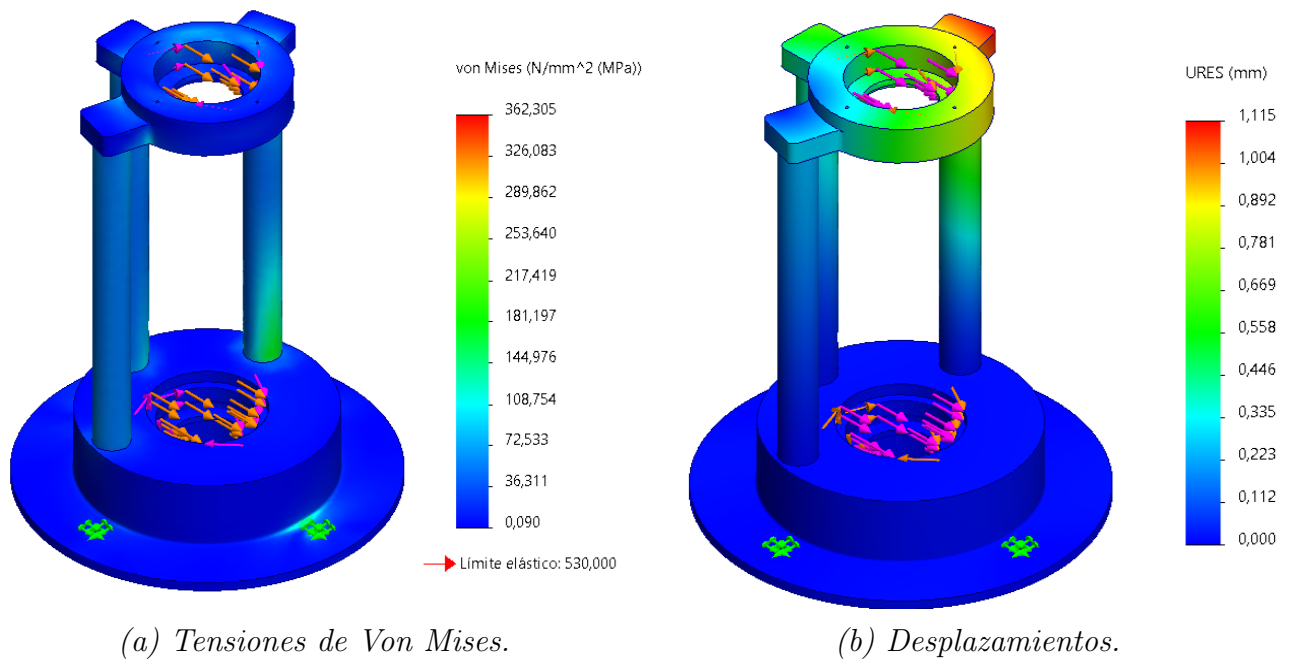


Figura 30: Simulación estática.

Otro aspecto importante a considerar, es el cálculo de la deflexión del brazo giratorio. El mismo está compuesto de un caño cuadrado 80×80 de espesor 6mm . Para obtener la deflexión, se hace uso de la siguiente fórmula:

$$Y = \frac{PL^3}{3EI} = \frac{75\text{kgf} \times 1,5\text{m}}{3 \times (210 \times 10^9) \times 0,000001632\text{m}^4} = 2,42\text{mm} \quad (4.2.2)$$

Además, se realizó la simulación en SolidWorks con las siguientes condiciones de borde:

- Fuerza de 75kgf en el extremo del brazo.
- Sujeción fija del otro extremo, aparentando ser la soldadura correspondiente a la unión con una de las mitades partidas.

Para reducir esos desplazamientos obtenidos mediante la fórmula 4.2.2, el brazo cuenta con un refuerzo diagonal, siendo de caño cuadrado 45×45 y espesor 4mm . Este refuerzo está cortado para que apoye sobre el caño principal y sobre el redondo partido, permitiendo así realizar las soldaduras para mantener todo unido.

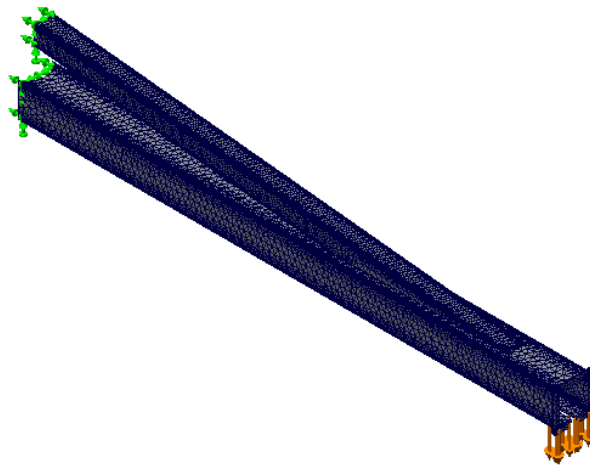


Figura 31: Condiciones de borde.

En la figura 32 se puede apreciar como cambia significativamente el desplazamiento cuando se agrega el refuerzo, reduciéndose casi a la mitad. También se puede apreciar que las tensiones están muy por debajo del límite elástico.

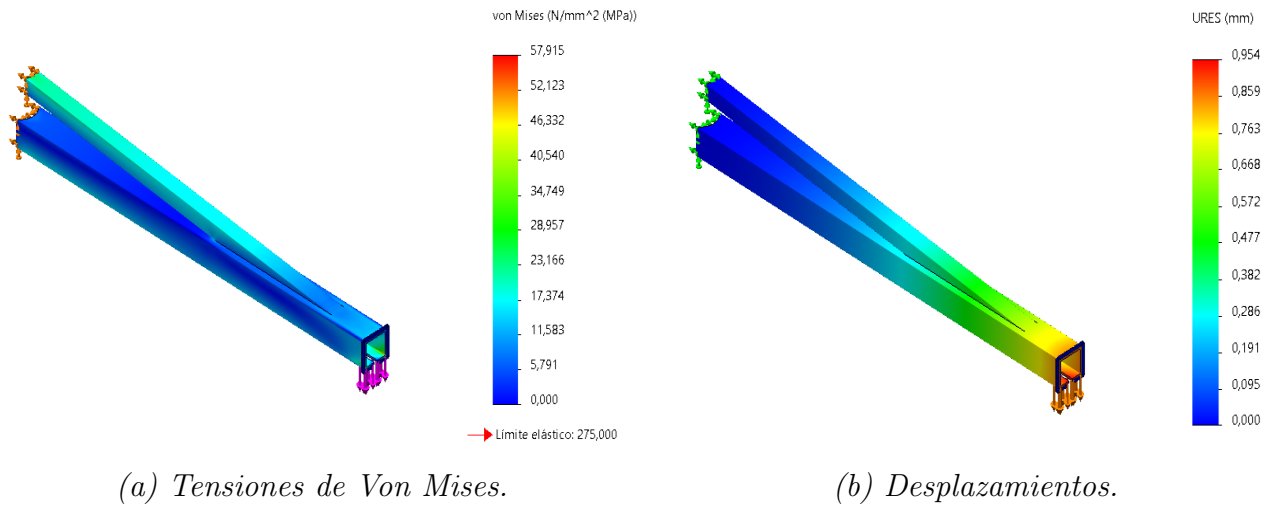


Figura 32: Simulación estática.

Otro componente de gran importancia a nivel estructural, es el patín principal. Este, es el encargado de soportar el peso de las baterías, las bolsas y los demás componentes como el corrugado, ventosas, etc. El mismo está fabricado en fundición.

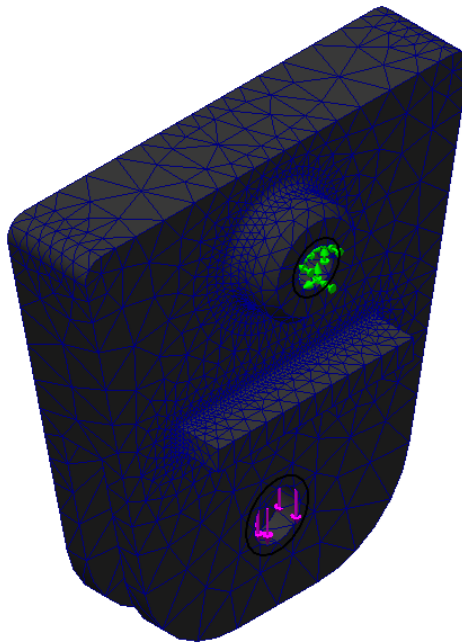


Figura 33: Condiciones de borde.

Al realizar la simulación correspondiente en SolidWorks, utilizamos las siguientes condiciones de borde:

- Fuerza de 70kgf en la sujeción con el tornillo al acoplado donde se abraza

el tubo corrugado y se conecta la manguera corrugada.

- Sujeción fija en donde se enroscan ambos rodillos de leva.

Los valores obtenidos tanto para las tensiones como desplazamientos se verán en la figura 34, donde podemos apreciar que el componente soporta bien las cargas.

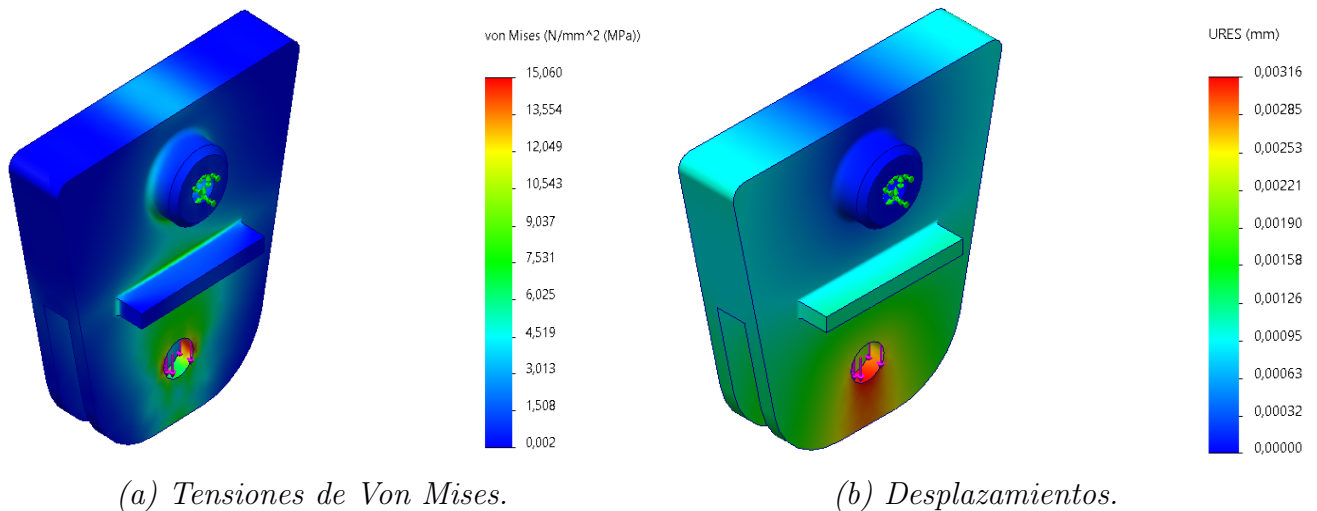


Figura 34: Simulación estática.

Por su parte, la estructura que sostiene las baterías y la ventosa es fabricada con diversos caños de distintos tamaños, chapas plegadas y redondos macizos, soldando todo entre sí.

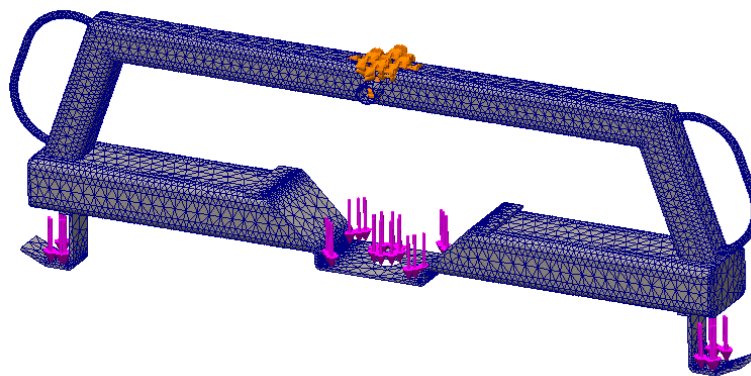


Figura 35: Condiciones de borde.

Las condiciones de borde utilizadas en el modelo son:

- Fuerza de 12kgf en cada enganche para la batería.

- Fuerza de 50kgf sobre la chapa en que la se une mediante soldadura el soporte de la ventosa.
- Sujeción fija en los agujeros de la brida superior.

Los resultados que se obtuvieron mediante estas simulaciones se pueden observar en la figura 36, donde se aprecia que la pieza no fallará.

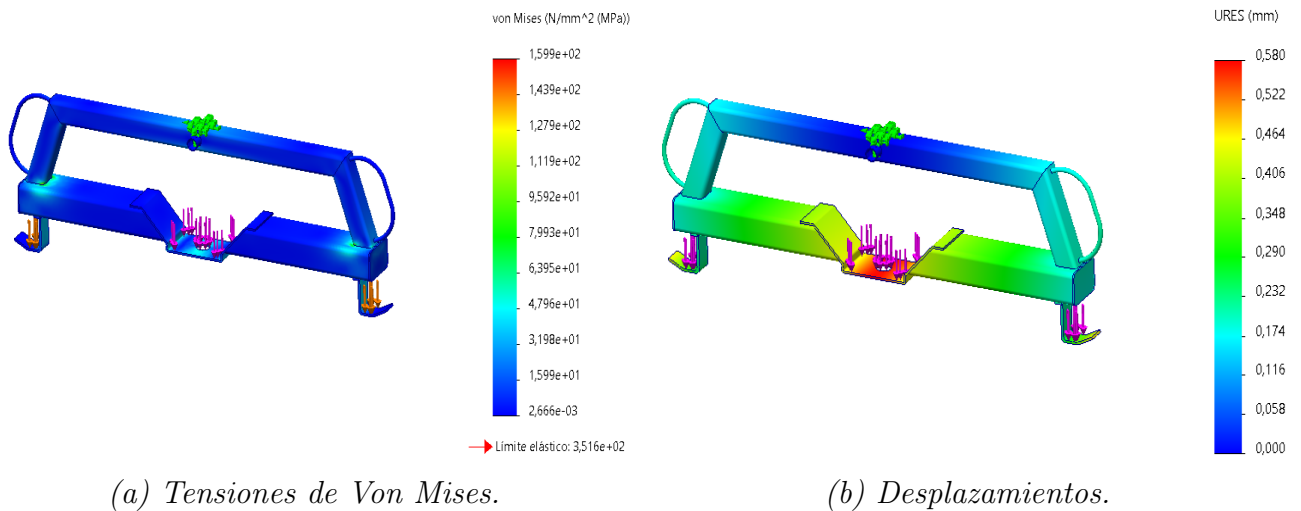


Figura 36: Simulación estática.

4.2.2. Diseño del circuito neumático

Uno de los principales aspectos de este subsistema es su manipulación mediante vacío. Para generar este vacío, se requiere de una ventosa o algún otro dispositivo de sujeción que esté en contacto con la carga a desplazar, y una bomba de vacío, permitiendo así reducir la presión para generar ese vacío que sujetará el objeto.

Para obtener que fuerza de retención teórica de vacío, primero se detallará de que forma moveremos el objeto. En nuestro caso, tendrá un movimiento horizontal, donde la ventosa estará en posición horizontal.

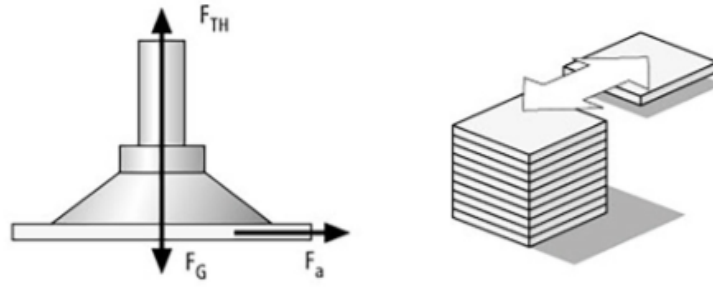


Figura 37: Movimiento horizontal - Ventosa horizontal. [16]

La fórmula para esta fuerza será:

$$F = m \cdot \left(g + \frac{a}{\mu}\right) \cdot S = 50kg \cdot \left(9,81 \frac{m}{s^2} + \frac{5 \frac{m}{s^2}}{0,6}\right) \cdot 1,7 = 1542,2N \approx 157,21kgf \quad (4.2.3)$$

Donde a representa la aceleración de la instalación, μ el coeficiente de fricción (para superficies rugosas equivale a 0,6) y S el factor de seguridad.

Luego, es importante obtener el volumen total de la instalación, tanto de la ventosa o ventosas a utilizar, como de todas las mangueras. En nuestro el sistema está compuesto de la siguiente forma:

- Volumen ventosa: $0,00173m^3$
- Volumen manguera: $0,000010m^3$
- Volumen tubo corrugado: $0,00462m^3$
- Volumen manguera corrugada: $0,00388m^3$

Con esto, el volumen total de la instalación a utilizar será de $0,01024m^3$. Una vez calculados los volúmenes, tendremos que calcular el caudal a utilizar en esta instalación, a partir de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{t} \cdot \ln\left(\frac{P_{atm}}{P_{va}}\right) = \frac{0,01024m^3}{0,0005h} \cdot \ln\left(\frac{1013}{200}\right) \approx 29,9 \frac{m^3}{h} \quad (4.2.4)$$

Donde el t es el tiempo de evacuación, el cual definimos nosotros como 2 segundos. El término P_{va} corresponde a la presión de vacío generada.

Todos los cálculos realizados durante esta sección se encuentran disponibles en la [Memoria de Cálculo](#).

4.2.3. Componentes

- **Ventosa:** Se seleccionó una ventosa **AR - Vacuum rectangular** modelo **VGD252NIT** la cual tiene la suficiente superficie para levantar la bolsa.
- **Manguera de electroválvula a estructura portante:** Se seleccionó un tubo **VUOTOTÉCNICA** modelo **TPR 1/2"**, fabricado en PVC.
- **Tubo corrugado:** Se seleccionó un tubo de elevación por vacío **FlexAflex** de diámetro interior 140mm, el cual es ideal para elevar 50kgs.
- **Manguera corrugada:** Se seleccionó un tubo **VUOTOTÉCNICA** modelo **TPR 1"1/2**, fabricado en PVC.
- **Filtro de vacío:** Se seleccionó un filtro **AIRBEST** modelo **ZFB25B**.
- **Electroválvula:** Se seleccionó una electroválvula de vacío de 3 vías servopilotada **VUOTOTÉCNICA** modelo **07 04 11**, con un caudal máximo de $40 \frac{m^3}{h}$.
- **Manguera de la bomba a la electroválvula:** Se seleccionó una manguera flexible **AR-Vacuum** modelo **VARMANG25**, fabricada con PVC y acero.
- **Bomba de vacío:** Se seleccionó una bomba de paletas **BECKER** modelo **U 5.40** con motor **41887222645000IS**. La misma tiene un caudal nominal máximo de $40 \frac{m^3}{hr}$.

4.3. Sistema reabastecedor de agroquímico

4.3.1. Estructura

Dicha estructura cumple la función de sostener el tanque y el sistema de agitación.

Para la misma se utilizan caños cuadrados de $20 \times 20 \text{ mm}$, caños tubulares de $26,9 \text{ mm} \times 3,2 \text{ mm}$ sobre los cuales descansa una placa en donde apoyaran los laterales del tanque. Sobre dicha placa se adosa la estructura de caño angular de $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ sobre la cual irá posicionado el motorreductor perteneciente al sistema de agitación.

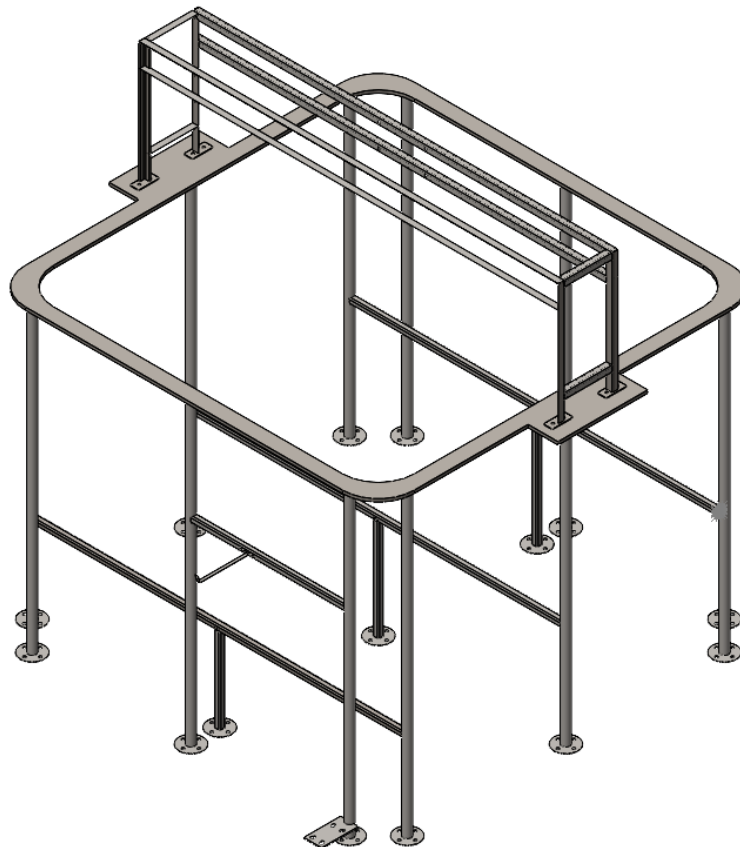


Figura 38: Estructura sistema reabastecedor de agroquímico.

Se realizó un análisis estático en SolidWorks para evaluar las tensiones resultantes en la estructura en sus puntos más críticos. Se consideraron las siguientes condiciones de borde:

- Fuerza de $1300kgf$ distribuidos sobre la placa superior y los caños cuadrados inferiores. Esta fuerza contempla el peso del tanque con agroquímico. Dicha fuerza se muestra con el símbolo de flecha color violeta.
- Fuerza de $24,3kgf$ distribuidos en los 8 agujeros de la estructura de caño angular sobre los cuales se adosa el sistema de agitación. Dicha fuerza se muestra con el símbolo de flecha color amarillo.
- Sujeción fija en las bases de la estructura de caño.
- Vinculación global entre sólidos.
- Mallado fino sobre los puntos de concentración de tensiones para identificarlas con mayor precisión.

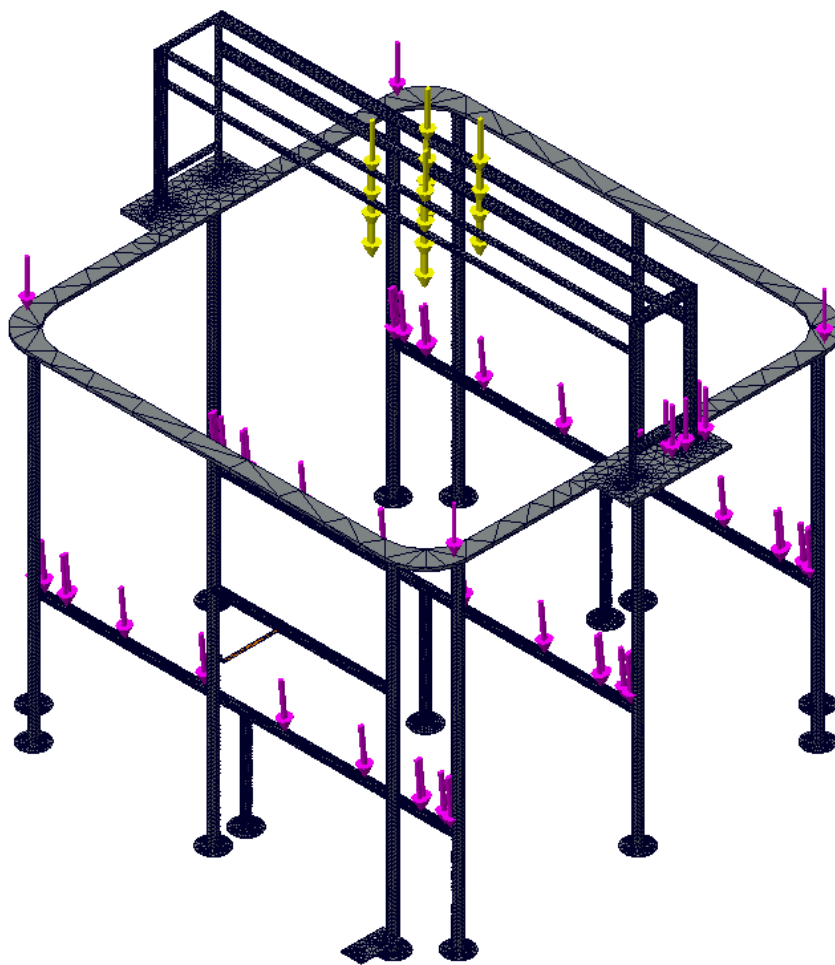


Figura 39: Condiciones de borde.

Se observa los resultados del análisis en la figura 40 y se verifica que las tensiones poseen valores mucho menores al límite elástico del material.

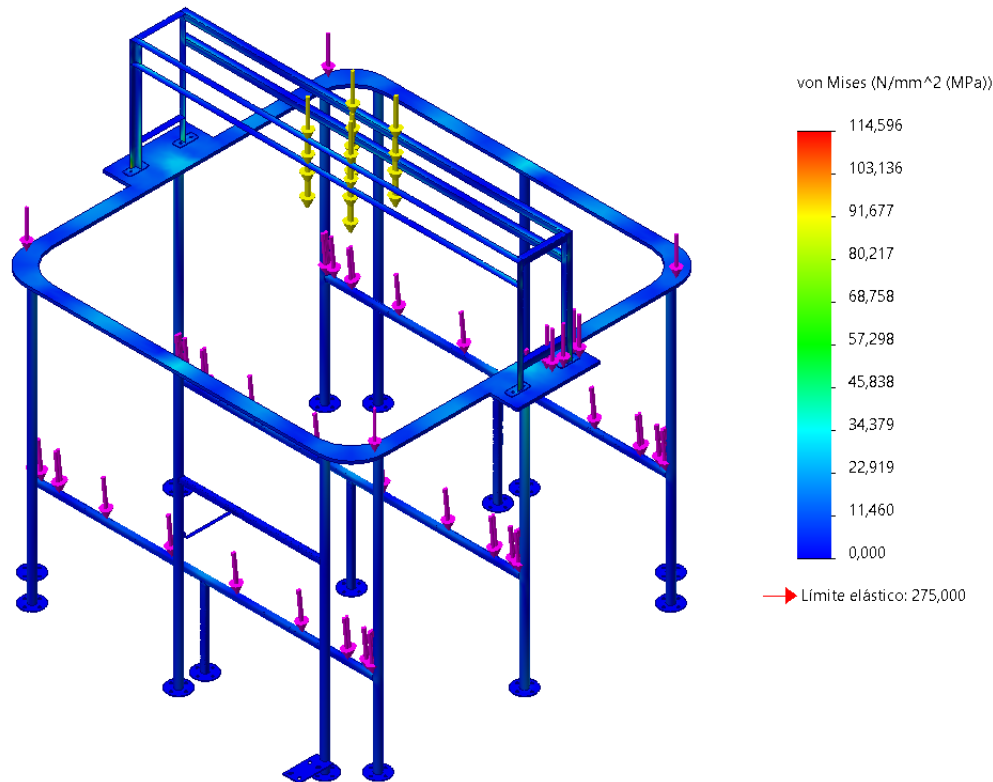


Figura 40: Tensiones de Von Mises.

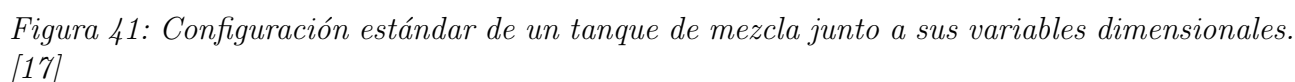
4.3.2. Sistema de agitación

El sistema de agitación consiste en un eje en cuyo extremo posee un impulsor de tipo turbina de seis palas. A dicho sistema se le atribuye un movimiento de giro mediante el uso de un motorreductor seleccionado acorde a la potencia y revoluciones necesarias.

Diseño del agitador

Previo al desarrollo se menciona que para los cálculos del diseño del agitador nos valemos de *Selección y diseño de equipos para procesos químicos*, Stanley M. Walas. [17]

En la figura 41 se observa una configuración estándar de un tanque de mezcla junto a las variables dimensionales. Dichas variables se relacionan a un tanque cilíndrico de diámetro D_t .


$$d_{turbina} = \frac{D_t}{4} = 300mm = 0,3m \quad (4.3.1)$$
$$Re = \frac{d_{turbina}^2 \cdot \omega \cdot \rho}{\mu} = 289756,098 \quad (4.3.2)$$
$$P = N_P \cdot d_{turbine}^5 \cdot \omega^3 \cdot \rho \quad (4.3.3)$$

donde N_P corresponde al número de potencia. Dicho valor representa estimada para un agitador tipo turbina en función del número de Reynolds, la figura

42 se observan las curvas para los distintos tipos de agitadores.

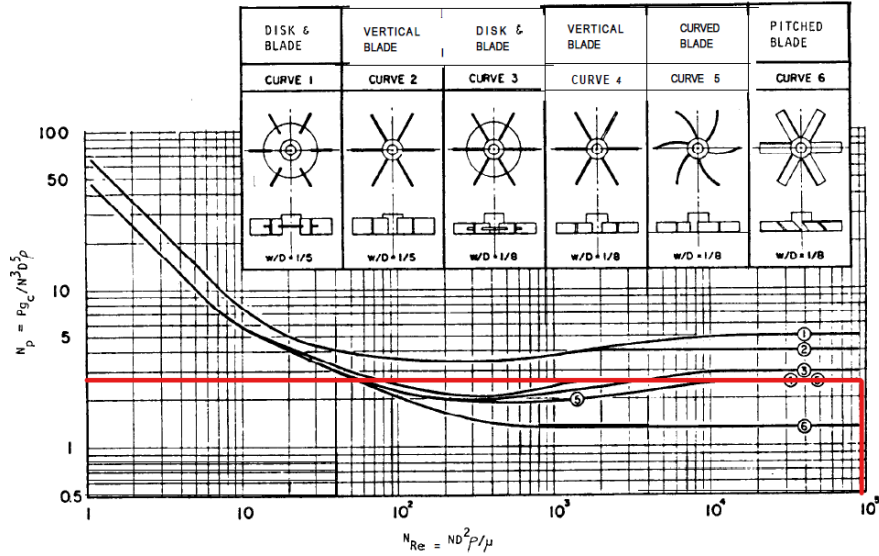


Figura 42: Número de potencia vs número de Reynolds para diferentes agitadores de turbina. [17]

En este caso el agitador utilizado corresponde a la curva 4 obteniendo así un Número de potencia $N_P = 2,75$.

Obtenido esto, se procede a calcular la potencia requerida dada por la fórmula 4.3.3. A su vez se agregarán dos factores, un factor de rendimiento $\eta = 0,9$ y el factor de servicio obtenido del catálogo de motorreductores lentax para agitadores livianos - baja densidad $f_s = 1,15$. Por lo tanto, la potencia final requerida es

$$P = \frac{N_P \cdot d_{turbina}^5 \cdot \omega^3 \cdot \rho \cdot f_s}{\eta} = 135,25W = 0,18HP \quad (4.3.4)$$

4.3.3. Componentes

- **Tanque:** Para el almacenamiento del agroquímico se utiliza un tanque con una capacidad de 1000 litros. Dicho tanque se encuentra apoyado sobre la estructura definida al inicio de la sección.
- **Sistema de agitación:** El sistema de agitación consta de un eje vertical en cuyo extremo inferior posee el agitador tipo turbina de seis palas adosado

al eje mediante dos pasadores a 90 entre sí. El extremo superior de eje se encuentra acoplado a un **Motorreductor LENTAX modelo F00T2-330-115-HV1** de **0.33 HP**.

- **Circuito de bombeo de agroquímico:** Dicho circuito consta de siete **caños UPVC CLASE E**, cinco de 1" y dos de $\frac{3}{4}$ " junto con todas las uniones entre sí. A su vez se utiliza una válvula de paso **PARKER modelo 4810 25 34** y para el filtrado del agroquímico previo a la bomba se seleccionó un filtro marca **LECHLER modelo S-GA4-100-53**. Luego mediante el cálculo de presión se seleccionó una bomba magnética **QUEEHUA modelo MD-202** de un caudal de $20L/min$.

A la salida de la bomba se conecta una manguera **DUNLOP modelo PULVEPRESS** de $\frac{1}{2}$ " y una longitud de $2m$. Al final de la misma se conecta una pistola surtidora **AdBlue modelo SB325**.

Todos los cálculos realizados durante esta sección se encuentran disponibles en la [Memoria de Cálculo](#).

4.4. Vuelco

Como fue mencionado anteriormente, todos los subsistemas que componen la estación, se encuentran sobre un carretón o tráiler. Esto, implica que el vehículo al transportar el carretón se vuelve más inestable. Por eso, es de gran importancia el análisis de la inestabilidad y vuelco, para garantizar un traslado seguro de la estación.

Para analizar el vuelco, primero debemos conocer el centro de masa del sistema, y la trocha del carretón. Con esos dos parámetros, calcularemos un factor que determina la estabilidad del carretón a niveles estáticos, conocido como **SRT(Static Rollover Threshold)**.

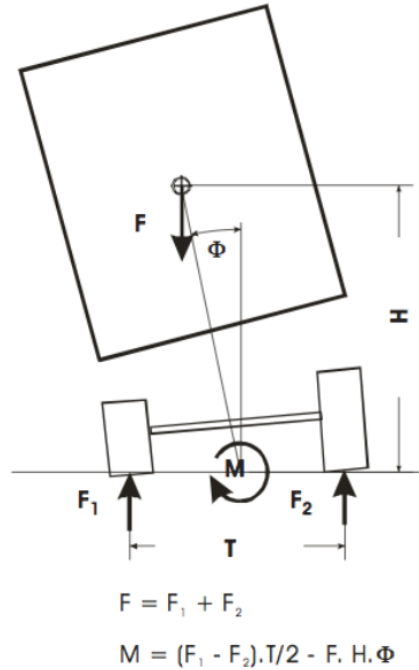


Figura 43: Diagrama de cuerpo libre. [18]

Del diagrama de cuerpo libre, figura 43, obtenemos que el SRT es

$$SRT = \frac{T}{2H} - \Phi \quad (4.4.1)$$

El término Φ se desprecia ya que el valor es muy pequeño, por lo que no resulta significativo para el resultado final.

Se tienen los siguientes valores de T y H

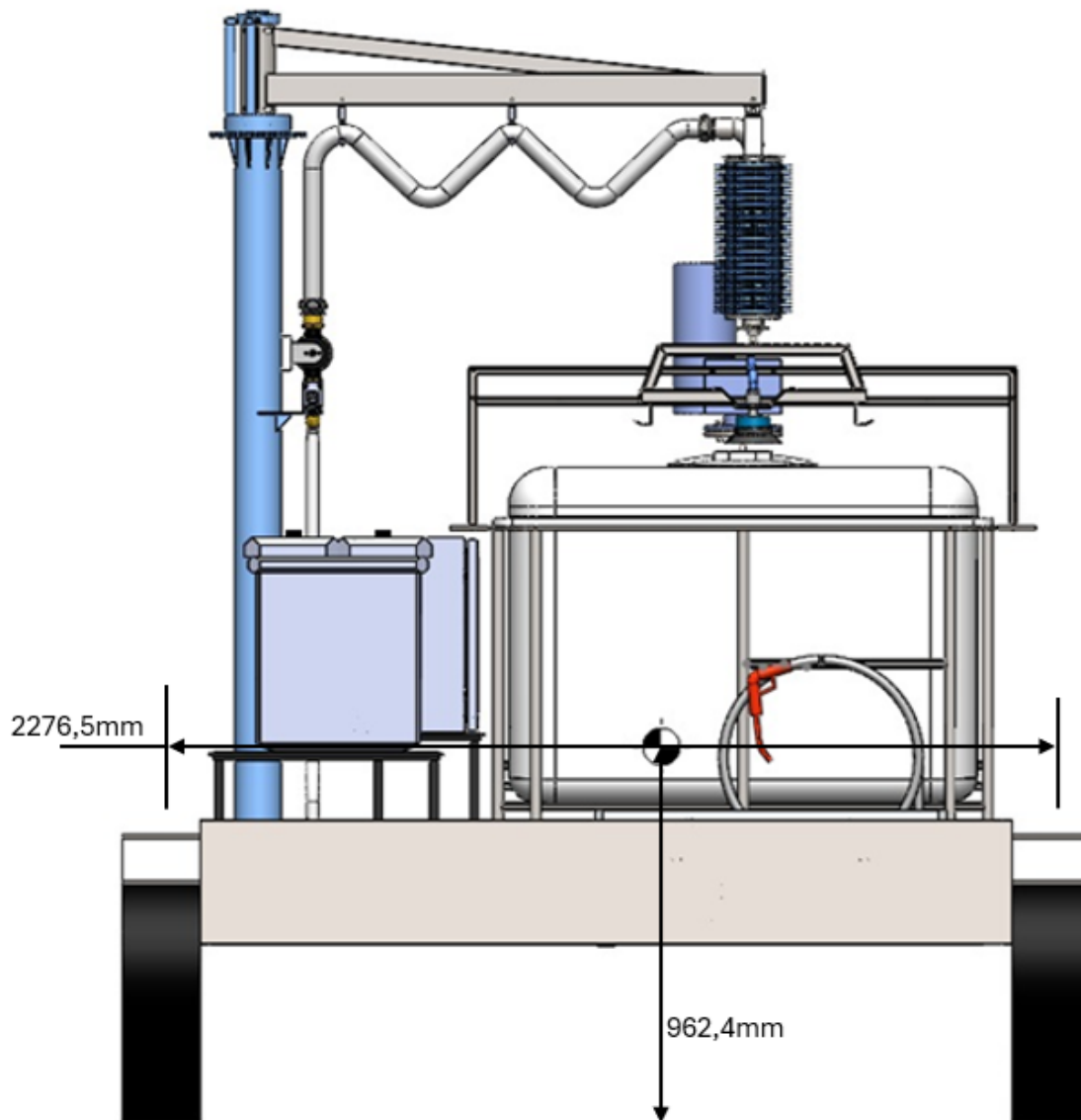


Figura 44: Valores de T y H.

Con el T y H correspondientes, se obtiene SRT de

$$SRT = \frac{2,27m}{2 \cdot 0,96m} \approx 1,18 \quad (4.4.2)$$

El SRT es de gran importancia, ya que mientras más alto sea, más estable será el vehículo. En la figura 45 observamos como se comportan distintos vehículos según la carga y el SRT que poseen.

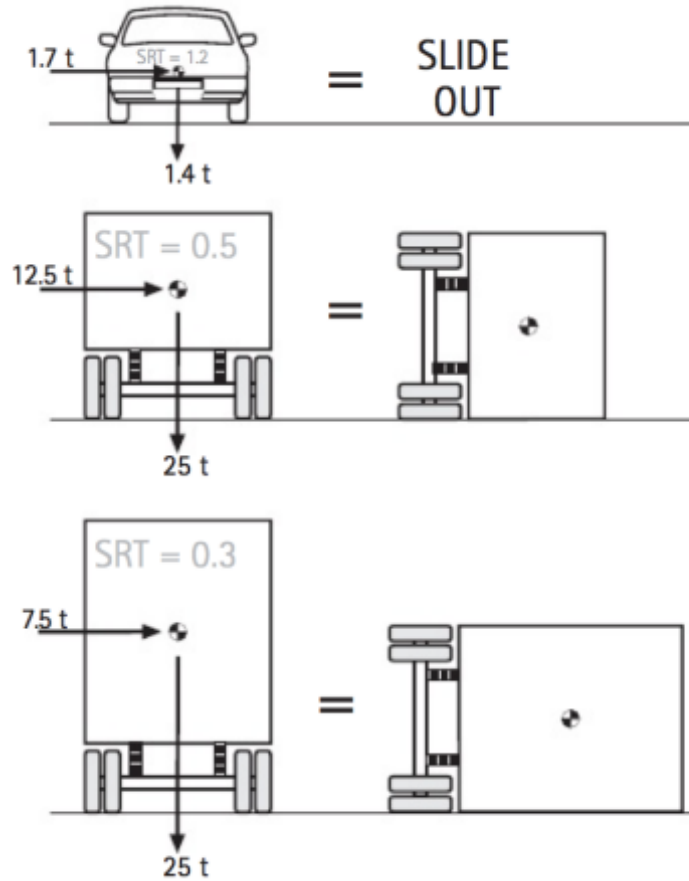


Figura 45: SRT para distintos vehículos con distintas cargas. [18]

Por otro lado, también es importante el análisis de la estabilidad y vuelco a nivel dinámico, donde analizaremos según la velocidad máxima de las rutas provinciales, cual es el radio mínimo de curvatura al que puede circular [19]. Para calcular esto, nos basaremos en la siguiente ecuación

$$R_{min} = \frac{V_m^2}{SRT \cdot g} = \frac{22,2\text{ m/s}}{9,81\text{ m/s}^2 \cdot 1,18} \approx 42,56\text{ m} \quad (4.4.3)$$

Siendo $V_m = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 22,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ la velocidad que adoptamos para circular por rutas. En la figura 46 se puede observar según el peralte y la velocidad directriz, el radio mínimo deseable y absoluto de la curva.

Velocidad directriz km/h	Peralte máximo 6%		Peralte máximo 8%		Peralte máximo 10%	
	Radios mínimos		Radios mínimos		Radios mínimos	
	Deseable m	Absoluto m	Deseable m	Absoluto m	Deseable m	Absoluto m
25	80	20	60	20	50	20
30	120	30	90	30	70	25
40	210	55	155	50	125	50
50	290	90	220	85	175	75
60	395	135	300	120	240	110
70	515	185	385	170	310	155
80	645	250	480	230	385	210
90	785	340	585	305	470	280
100	935	450	700	405	560	365
110	1095	585	820	520	655	470
120	1270	755	950	665	760	595
130	1450	970	1085	845	870	750
140	1640	1235	1230	1065	985	935

Figura 46: Radios mínimos deseables y absolutos para peraltes máximos. [20]

A pesar de que en este estudio el peralte fue despreciado, se puede apreciar que los radios mínimos absolutos y deseables para una velocidad de 80km/h se encuentran muy por encima del mínimo que requiere el carretón para no volcar, indicándonos de que el sistema será estable a nivel dinámico.

Todos los cálculos realizados durante esta sección se encuentran disponibles en la [Memoria de Cálculo](#).

5. Conclusión

Durante el íntegro análisis de las variables críticas y el estudio de diversas soluciones se logró desarrollar y diseñar una estación móvil de recarga y suministro para drones agrícolas que asegura optimizar los tiempos entre ciclos de trabajo y disminuir los esfuerzos del operario.

Se desarrolló un sistema que contempla una pista de aterrizaje, un manipulador de cargas, y un sistema de recarga de agroquímico; todos estos, dispuestos sobre un carretón para su traslado. Dicho sistema ha comprobado poder realizar la carga del agroquímico un tiempo de 2.5 minutos y un intercambio de baterías en un tiempo de 1 minuto resultando un tiempo final de 3.5 minutos logrando así cumplir con el objetivo principal de reducir el tiempo entre ciclos permitiendo así mayor eficiencia productiva.

La simplicidad, confortabilidad, seguridad y disposición del sistema permitió minimizar la exposición del operario a cargas físicas y sustancias químicas cumpliendo con las normas de salud y seguridad laboral. Sumado a esto el sistema posee una maniobrabilidad que permite al operario trabajar con una gran comodidad. Además se logró diseñar un sistema de reducida mantenibilidad gracias al uso de elementos normalizados con fácil adquisición de repuestos.

Gracias a la adaptabilidad del sistema, se logró su integración sobre un carretón, lo cual garantiza su transportabilidad tanto por rutas nacionales como caminos rurales, cumpliendo con los límites establecidos por la normativa vial vigente. Esto permite un traslado eficiente y seguro del equipo, facilitando su implementación en distintos puntos de trabajo. Asimismo, su configuración modular posibilita una rápida preparación para la operación en campo.

Por consiguiente este desarrollo brinda innovación y resolución a una problemática en acelerado crecimiento logrando acompañar la evolución de drones para la agricultura. Sistemas como este permiten asistir a trabajadores logrando un avance tecnológico hacia la optimización de la producción y mejora de las condiciones laborales desencadenando en una modernización de las prácticas agrícolas en contextos productivos diversos.

Recomendaciones

Para futuros trabajos similares se deberían tener diversos aspectos en cuenta:

- Mediante el uso de sensores y un control lógico programable (PLC), el sistema tiene la posibilidad de volverse autónomo, donde no se requiera de personal desarrollando las tareas sobre la estación pudiendo monitorear el equipo mediante un sistema de interfaz para el usuario.
- El desarrollo de un sistema de monitoreo en tiempo real y análisis de datos combinados con una planificación de mantenimiento preventivo proveerá minimizar posibles mantenimientos correctivos evitando tiempos inactivos prolongando a su vez la vida útil del sistema.
- La realización de un análisis exhaustivo de costos y beneficios considerando costos de adquisición, instalación, mantenimiento, capacitación y personal considerando posibles ahorros operativos a futuro.
- Procurar el desarrollo de un diseño con la capacidad de ser compatible con futuros avances tecnológicos. Gracias a la adaptabilidad del sistema, se torna viable su utilización en diversos entornos operativos y la posibilidad de considerar el aumento de capacidad del sistema acorde a la demanda.

Referencias Bibliográficas

- [1] Cristina Crespo Garay. «¿Cuál fue el origen de la agricultura?» En: *National Geographic* (2022). URL: <https://www.nationalgeographic.es/search?q=%C2%BFcu%C3%A1l%20fue%20el%20origen%20de%20la%20agricultura?>.
- [2] Vía Campesina. «Una breve historia de los orígenes de la agricultura, la domesticación y la diversidad de los cultivos». En: *Revista Biodiversidad* (2018). URL: <https://grain.org/es/article/6080-una-breve-historia-de-los-origenes-de-la-agricultura-la-domesticacion-y-la-diversidad-de-los-cultivos>.
- [3] Amy Bogaard. «Crop manuring and intensive land management by Europe's first farmers». En: *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences)* (2013).
- [4] Emilio Satorre. «Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual». En: *Ciencia Hoy* 15 (ene. de 2005), págs. 24-31.
- [5] Agencia Argentina de Inversiones y Comercio Internacional. «¿Por qué invertir en Argentina?» En: *Agro/ Agricultura y Horticultura* (2023).
- [6] Asociación Nacional de Fabricante de Fertilizantes. «La importancia de los fertilizantes en una agricultura actual, productiva y sostenible». En: (jun. de 2008). URL: <https://www.anffe.com/noticias/2008/2008-06-02%20La%20importancia%20de%20los%20fertilizantes%20en%20una%20agricultura%20actual%20productiva%20y%20sostenible/LA%20IMPORTANCIA%20DE%20LOS%20FERTILIZANTES.pdf>.
- [7] Fertilab. «Los Fertilizantes y sus Características». En: (oct. de 2022). URL: <https://www.fertilab.com.mx/blog/12-los-fertilizantes-y-sus-caracteristicas/#notas>.
- [8] Mario Omar Tesouro Agustín Onorato. *Pulverizaciones Agrícolas Terrestres 1ra Ed.* Buenos Aires Inst. Nacional de Tecnología Agropecuaria- INTA, 2006.
- [9] Diego Agustín Álvarez. «¿Compro una pulverizadora terrestre o un dron para aplicaciones? Las respuestas al dilema». En: *Agrofy News* (abr. de 2024).
- [10] USS. «Drone fumigador: usos, ventajas y desventajas». En: (). URL: <https://uss.com.ar/corporativo/drones-e-industria-4-0/drone-fumigador/>.
- [11] *Manual de usuario Dron DJI AGRAS T50-T25*. URL: https://dl.djicdn.com/downloads/t50_t25/20240517/T50_T25_User_Manual_v1.0_ES.pdf.
- [12] BUNGUE. «Fertilizantes mezclas NPKS». En: (). URL: <https://bunge.ar/Agricultura/Fertilizantes/Mezclas-NPKS>.
- [13] Ministerio de Transporte. *Decreto 32/2018. Modificación. Decreto N° 779/1995*. Ene. de 2018.

- [14] Ministerio de trabajo empleo y seguridad social. *Resolución 295/2003. Apruebanse especificaciones técnicas sobre ergonomía y levantamiento manual de cargas, y sobre radiaciones. Modificación del Decreto N° 351/79. Déjase sin efecto la Resolución N° 444/91MTSS.* Nov. de 2003.
- [15] Ministerio de trabajo empleo y seguridad social. *Resolución 886/2015.* Abr. de 2015.
- [16] A. Ortega. «Festo Webinars - Tecnología vacío». En: (2020). URL: https://www.youtube.com/watch?v=88evZD_a12A.
- [17] Stanley M. Walas. *Chapter 10, Chemical Process Equipment. Selection and Design.* Reed Publishing Inc., 1990, págs. 287-304.
- [18] Peter Hart. «Rollover of Heavy Vehicles». En: *Australian Road Transport Suppliers Association* (jun. de 2012).
- [19] *Dinámica lateral del vehículo.* URL: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/use/abreproy/3944/fichero/Memoria%252FCap%C3%ADtulo+4.pdf>.
- [20] Vialidad Nacional. *Capítulo 3, DNV – Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial.* 2010. URL: <https://www.vialidad.gba.gob.ar/documentos/archivs/70-Publicaciones%20y%20Biblioteca/202403111150540.C3%20DISE%C3%910.pdf>.
- [21] A. P. Yákovlev G. S. Pisarenko V. V. Matvéev. *Manual De Resistencia De Materiales.* Editorial Mir, 1979.
- [22] R. G. y Keith Nisbett J. Budynas. *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley.* (8 ed). McGraw Hill, 2008.

Anexos

A: Planimetría

Se adoptó un sistema de codificación con el objetivo de organizar y clasificar los planos de los distintos ensamblajes, subensamblajes y componentes. La codificación se realiza utilizando combinación de letras y números, de la siguiente manera:

- C-XXX (Conjunto): Representa un conjunto completo. Por ejemplo, C-001 indica el conjunto número 001.
- EX (Ensamblaje): La codificación E junto a un número (1, 2 o 3) representa un ensamblaje del conjunto. Por ejemplo, E1 indica el ensamblaje número 1.
- EX-XXX (Subensamblaje): La codificación E junto a un número (1, 2 o 3) seguido de una combinación de 3 dígitos representa un subensamblaje de un ensamblaje. Por ejemplo, E1-001 representa el subensamblaje 1 del ensamblaje E1.
- GX-XXX (Grupo de piezas): Representa un grupo de piezas de un ensamblaje. Por ejemplo, G1-001 corresponde al grupo de piezas 1 del ensamblaje 1.
- PX-XXX (Pieza): Corresponde a una pieza individual contenida dentro de un ensamblaje, grupo de piezas, subconjunto o conjunto referenciadas siempre al ensamblaje. Por ejemplo, P1-001 corresponde a la pieza 1 del ensamblaje 1.

Dicha codificación permite una organización clara y estructurada de los planos, facilitando la identificación y localización de cada componente y su relación con el resto de los elementos del conjunto.

B: Memoria de cálculo

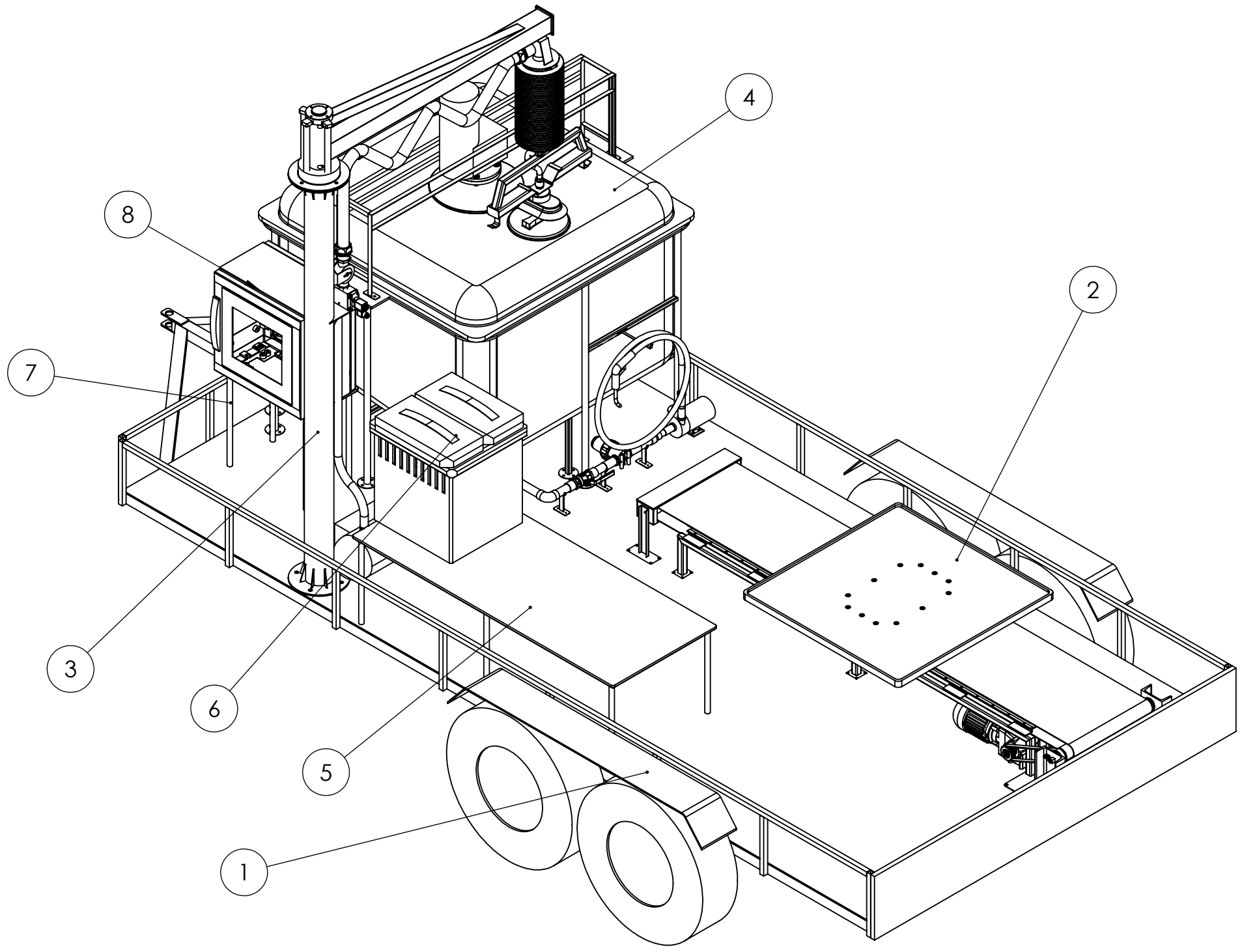
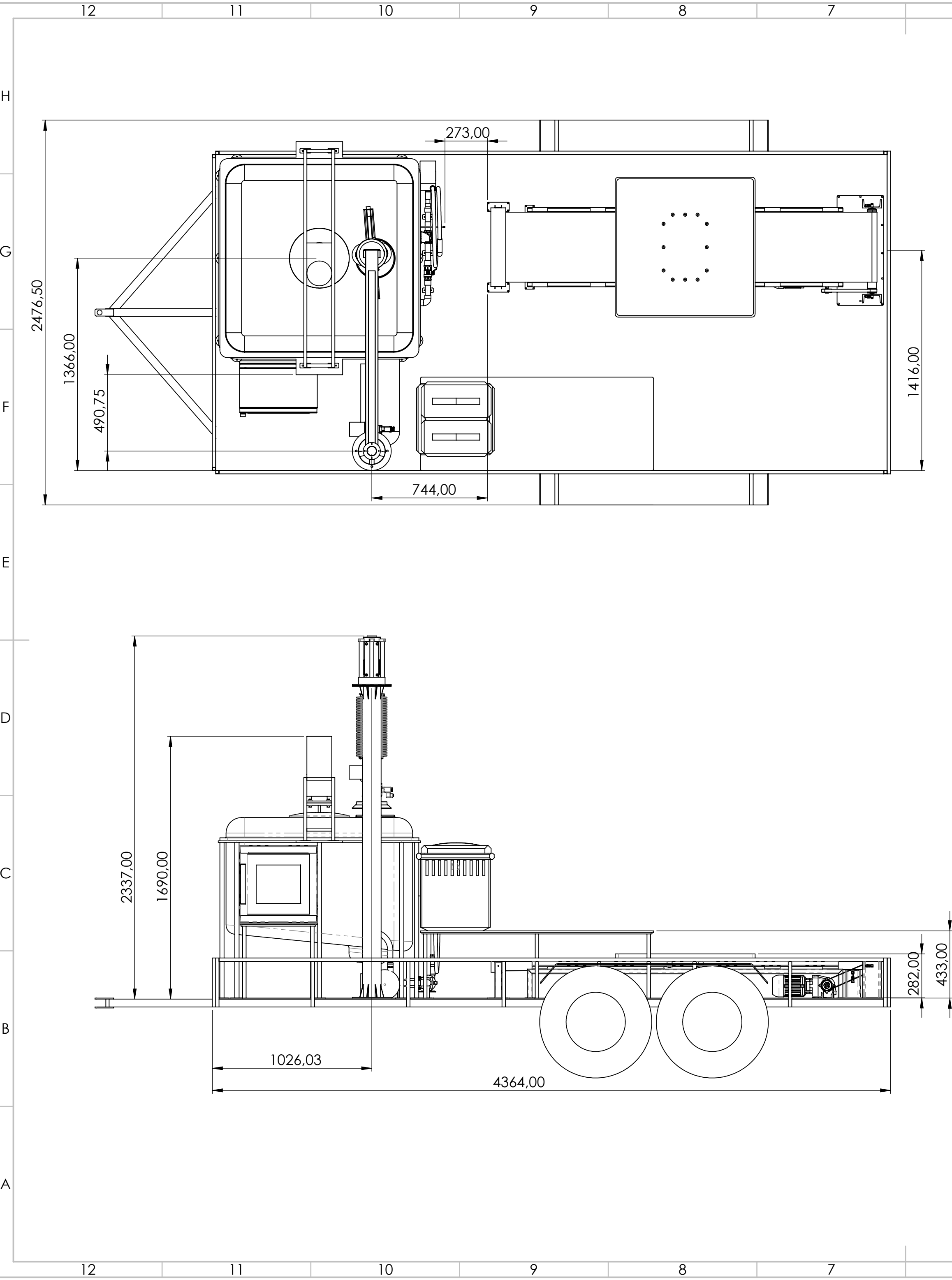
Todo desarrollo y verificaciones matemáticas que sustentan el diseño realizado se encuentran en la planilla de cálculo adjunta posterior a los planos.

Índice de figuras

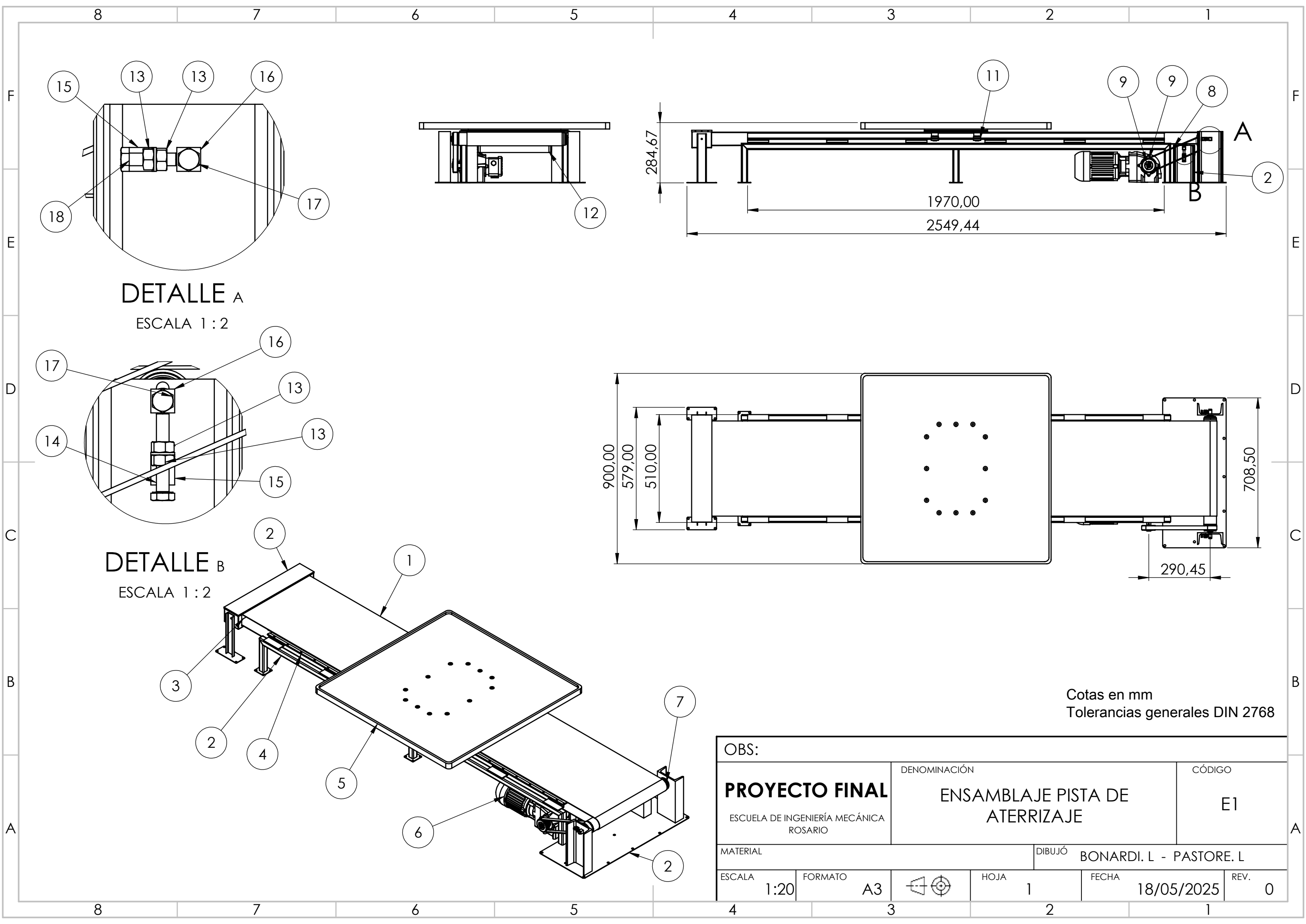
1.	Mapa con los puntos de origen de la agricultura. [1]	5
2.	Lugar de domesticación y período de cultivos comunes de Argentina. [1]	5
3.	Crecimiento de la producción y del área sembrada.[4]	7
4.	Evolución del mercado de fitosanitarios y fertilizantes. [4]	8
5.	Pulverizadora autopropulsada.	9
6.	Dron agrícola.	11
7.	Medidas AGRAS T50.[11]	13
8.	Medidas AGRAS T50. [11]	14
9.	Resolución 295/2003.[14],[15]	15
10.	Estación móvil de recarga y suministro para drones agrícolas. . .	22
11.	Pista de aterrizaje.	23
12.	Sistema motriz.	24
13.	Mesa de aterrizaje.	24
14.	Manipulador de cargas.	25
15.	Pie de apoyo junto al alojamiento del eje.	26
16.	Brazo giratorio.	27
17.	Patines deslizantes.	27
18.	Estructura portante de ventosas y enganches.	28
19.	Sistema reabastecedor de agroquímico.	29
20.	Sistema de agitación.	29

21.	Circuito de bombeo del agroquímico.	30
22.	Estructura pista de aterrizaje.	31
23.	Condiciones de borde.	32
24.	Tensiones de Von Mises.	32
25.	Condiciones de borde.	33
26.	Tensiones de Von Mises.	34
27.	Condiciones de borde.	36
28.	Simulación estática	37
29.	Condiciones de borde	38
30.	Simulación estática.	38
31.	Condiciones de borde.	39
32.	Simulación estática.	40
33.	Condiciones de borde.	40
34.	Simulación estática.	41
35.	Condiciones de borde.	41
36.	Simulación estática.	42
37.	Movimiento horizontal - Ventosa horizontal. [16]	43
38.	Estructura sistema reabastecedor de agroquímico.	45
39.	Condiciones de borde.	46
40.	Tensiones de Von Mises.	47
41.	Configuración estándar de un tanque de mezcla junto a sus variables dimensionales. [17]	48

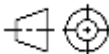
42.	Número de potencia vs número de Reynolds para diferentes agitadores de turbina. [17]	49
43.	Diagrama de cuerpo libre. [18]	51
44.	Valores de T y H.	52
45.	SRT para distintos vehículos con distintas cargas. [18]	53
46.	Radios mínimos deseables y absolutos para peraltes máximos. [20]	54

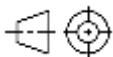


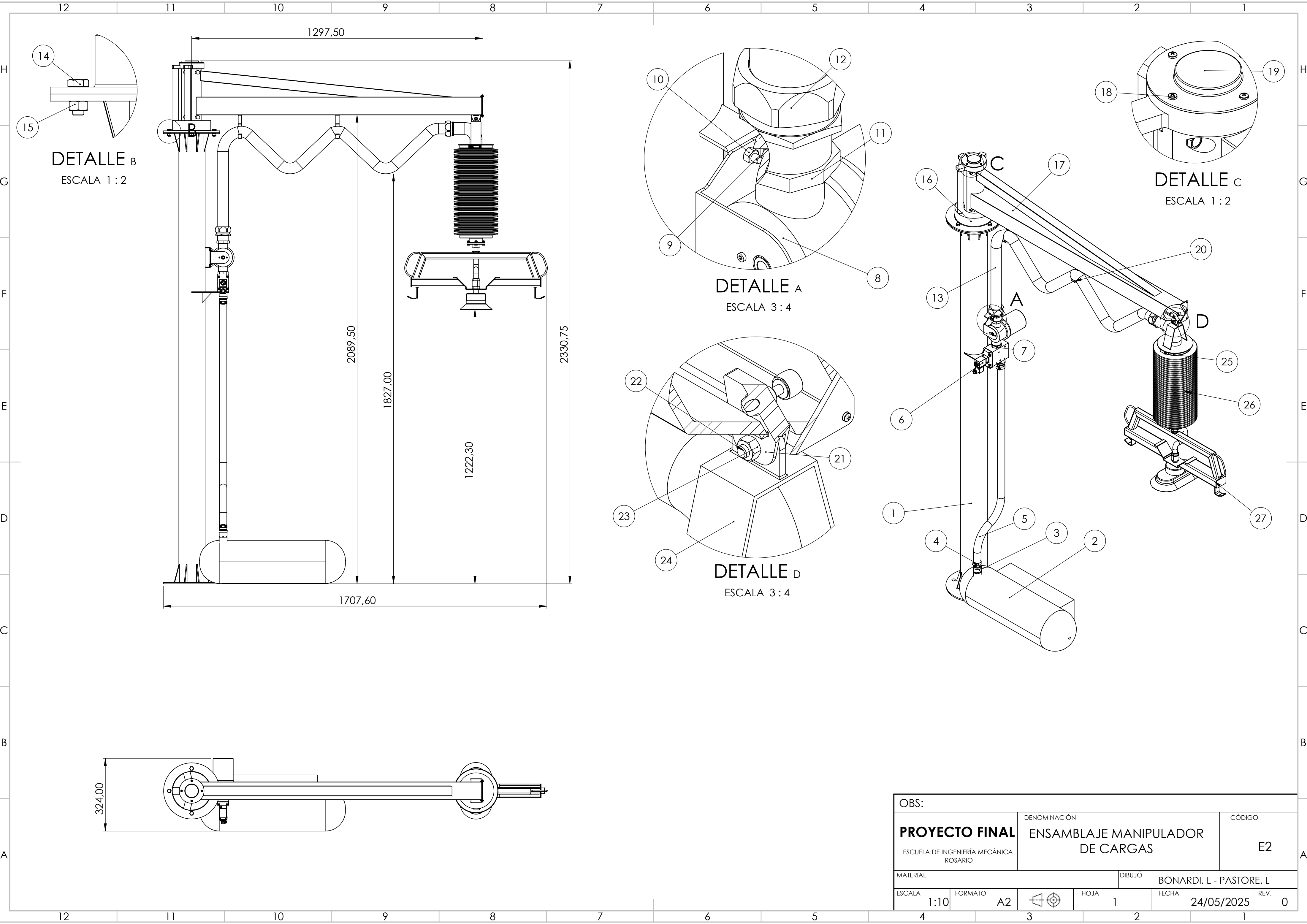
8	Tablero eléctrico	Comercial	1
7	Mesa de apoyo tablero eléctrico	P-014	1
6	Conjunto cargador y baterías DJI Agras T50	Comercial	1
5	Mesa de apoyo cargador de baterías y bolsas	P-013	1
4	Ensamblaje sistema reabastecedor de agroquímico	E3	1
3	Ensamblaje manipulador de cargas	E2	1
2	Ensamblaje pista de aterrizaje	E1	1
1	Trailer Gitera 6.5"x14"	Comercial	1
Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.
OBS:			
PROYECTO FINAL		DENOMINACIÓN	CÓDIGO
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		ESTACIÓN MOVIL DE RECARGA Y SUMINISTRO PARA DRONES AGRÍCOLAS	C-001
MATERIAL		DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE.L	
ESCALA	FORMATO	HOJA	FECHA
1:20	A2	1	18/05/2025
			REV. 0

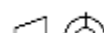


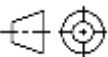
Cotas en mm
Tolerancias generales DIN 2768

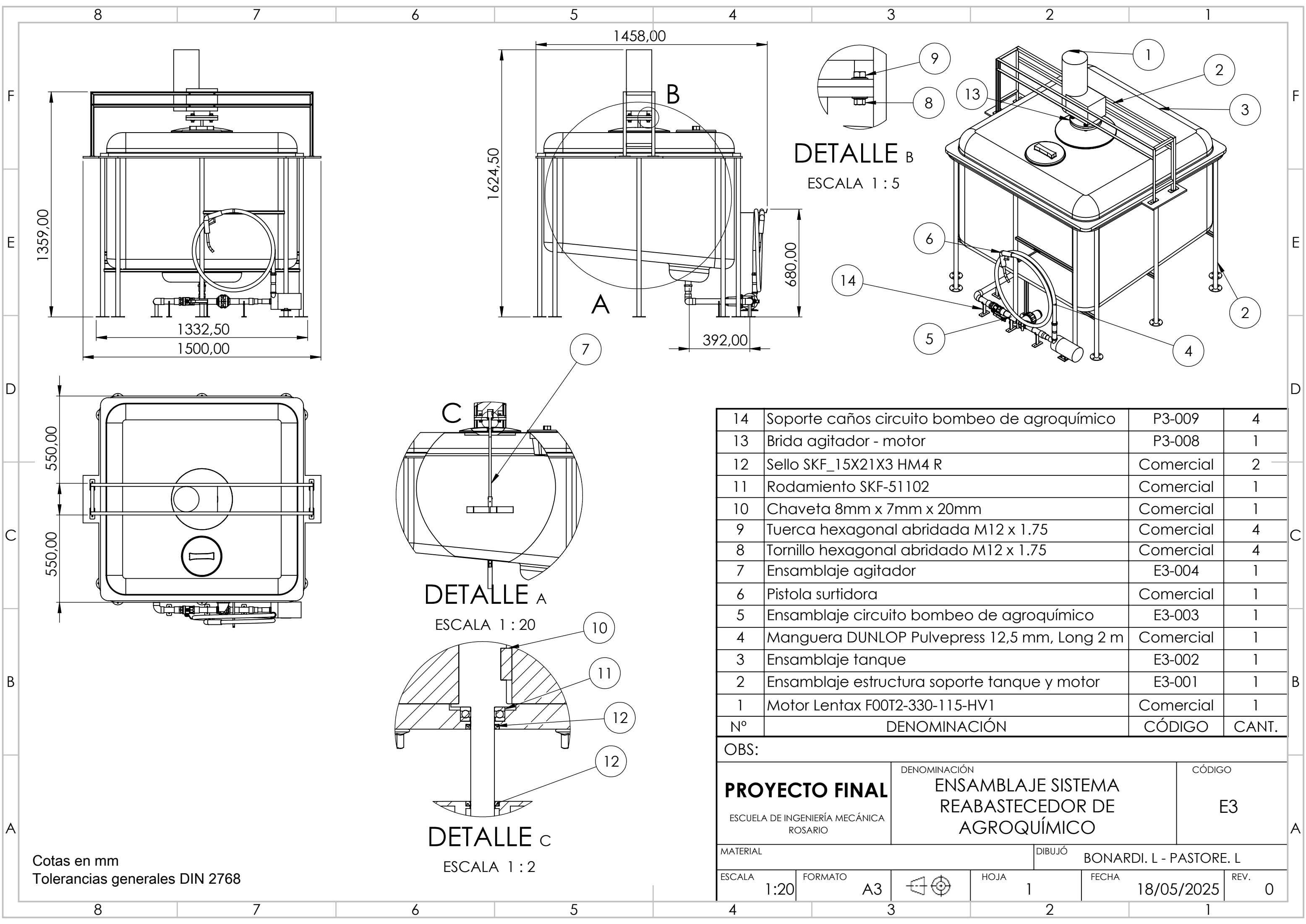
OBS:										
PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO			DENOMINACIÓN ENSAMBLAJE PISTA DE ATERRIJAZE					CÓDIGO E1		
			MATERIAL					DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L		
ESCALA 1:20		FORMATO A3				HOJA 1		FECHA 18/05/2025		REV. 0

	4	3	2	1		
F					F	
E					E	
D	18	Tornillo Hexagonal M8 x 30	Comercial	2		
	17	Tornillo Hexagonal M8 x 25	Comercial	4		
	16	Placa tensora	P1-015	2		
	15	Guía tensor	P1-014	2		
	14	Tornillo Hexagonal M8 x 50	Comercial	2		
	13	Tuerca Hexagonal M8	Comercial	4		
	12	Rodillo Ten. interrol CR1200 D40mm x Long 350mm	Comercial	1		
	11	Rodamiento Flotante HepcoMotion SFJ34C	Comercial	4		
	9	Polea Cinghie PYB J3 8 canales	Comercial	1		
	8	Correa Cinghie J 8 canale Long 1000mm	Comercial	1		
C	7	Rodillo Mot. interroll CR3500 D60mm x 3 x Long 550mm	Comercial	1	C	
	6	Motorreductor WEG .25 HP SS032-14P-71-06E-TH-TF	Comercial	1		
	5	Ensamblaje mesa de aterrizaje	E1-002	1		
	4	Guía plana simple canto HepcoMotion VE Long 1970mm	Comercial	2		
	3	Rodillo Guía. interroll CR1200 D60mm x Long 500mm	Comercial	1		
B	2	Ensamblaje estructura portante de cinta	E1-001	1	B	
	1	Cinta Chiorino NA1346	Comercial	1		
	Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.		
OBS:						
A	PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN ENSAMBLAJE PISTA DE ATERRIZAJE		CÓDIGO E1	A
MATERIAL			DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L			
ESCALA 1:50	FORMATO A4		HOJA 1	FECHA 18/05/2025	REV. 0	
4	3	2	1			



OBS:										
PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO			DENOMINACIÓN ENSAMBLAJE MANIPULADOR DE CARGAS					CÓDIGO E2		
MATERIAL						DIBUJO		BONARDI. L - PASTORE. L		
ESCALA 1:10		FORMATO A2				HOJA 1		FECHA 24/05/2025		REV. 0

4		3		2		1	
F	27	Ensamblaje estructura de manipulación de cargas			E2 - 005	1	
	26	Tubo corrugado Flexaflex I.D 140mm			Comercial	1	
E	25	Abrazadera metálica			Comercial	2	
	24	Soporte del corrugado			P2 - 002	1	
	23	Tuerca hexagonal M8x1,25			Comercial	1	
	22	Tornillo hexagonal M8x1,25			Comercial	1	
	21	Patín deslizante para corrugado			E2 - 004	1	
	20	Patín deslizante para mangueras			E2 - 003	2	
	19	Tapa parte superior alojamientos			P2 - 001	1	
D	18	Cabeza cilíndrica ranurada M4x0,7			Comercial	4	
	17	Brazo giratorio del manipulador			E2 - 002	1	
	16	Ensamblaje alojamientos con eje motriz			E2 - 001	1	
	15	Tuerca hexagonal M10x1,5			Comercial	4	
	14	Tornillo hexagonal M10x1,5			Comercial	4	
	13	Tubo TPR 1" 1/2 Vuototécnica			Comercial	1	
	12	Acople TPR 1" 1/2 Vuototécnica			Comercial	2	
C	11	Acople roscado 1" 1/2 a 1"			Comercial	1	
	10	Tuerca hexagonal tipo 1 M5x0,8			Comercial	2	
	9	Tornillo hexagonal M5x0,8			Comercial	2	
	8	Filtro de vacío ZFB25B Airbest			Comercial	1	
	7	Acople roscado de 1" a 1"			Comercial	1	
	6	Electroválvula 07 05 11 Vuototécnica			Comercial	1	
	5	Manguera VARMANG25			Comercial	1	
B	4	Abrazadera metálica			Comercial	2	
	3	Racor de acoplamiento rápido 1"			Comercial	2	
	2	Bomba de vacío U5.40 Becker con motor			Comercial	1	
	1	Ensamblaje pie de apoyo manipulador			G2 - 001	1	
	Nº	DENOMINACIÓN			CÓDIGO	CANT.	
	OBS:						
	A	PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN ENSAMBLAJE MANIPULADOR DE CARGAS			CÓDIGO E2
MATERIAL				DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L			
ESCALA 1:15		FORMATO A4		HOJA 2	FECHA 24/05/2025	REV. 0	
4		3		2		1	

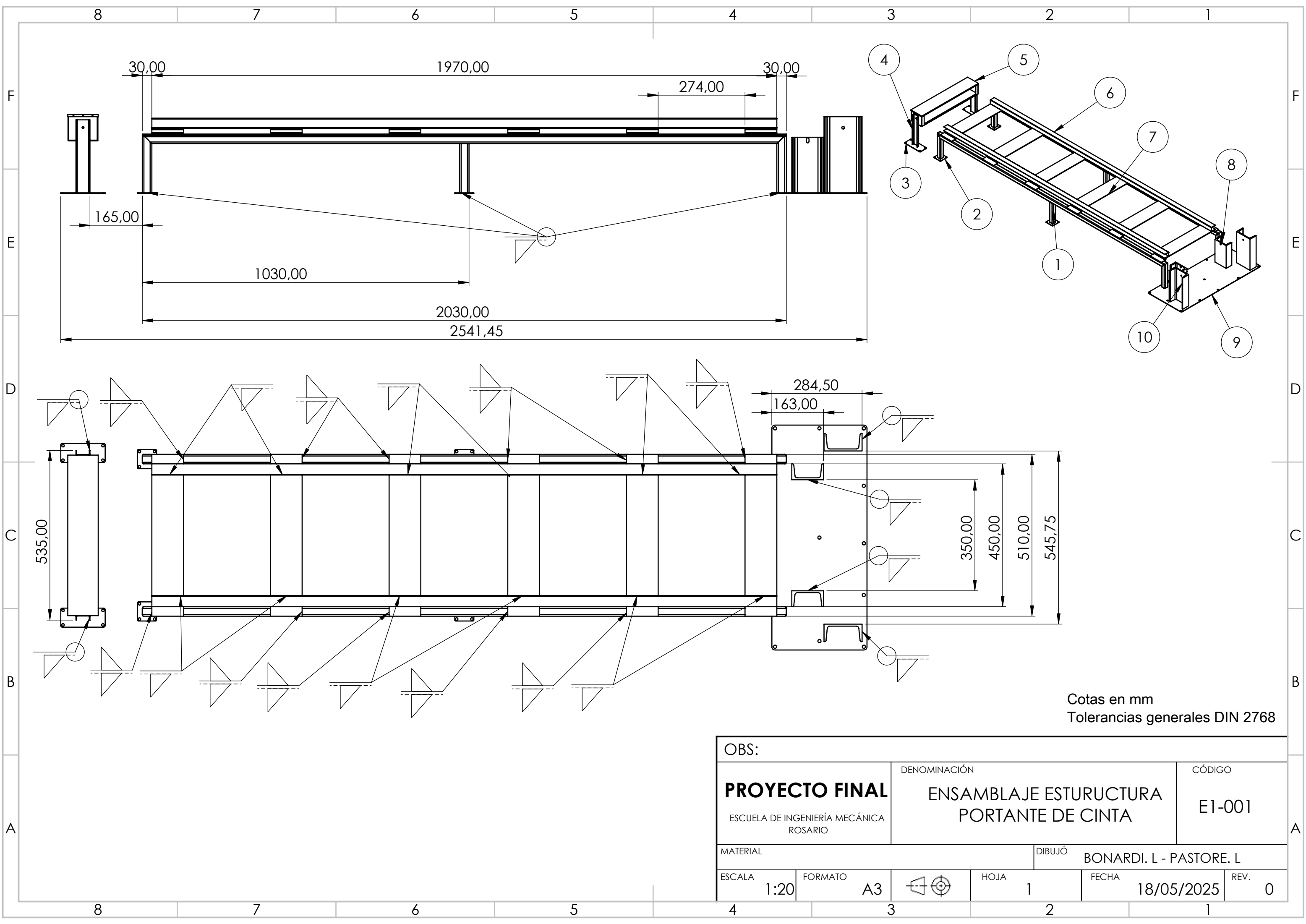


Cotas en mm
Tolerancias generales DIN 2768

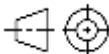
14	Soporte caños circuito bombeo de agroquímico	P3-009	4
13	Brida agitador - motor	P3-008	1
12	Sello SKF_15X21X3 HM4 R	Comercial	2
11	Rodamiento SKF-51102	Comercial	1
10	Chaveta 8mm x 7mm x 20mm	Comercial	1
9	Tuerca hexagonal abridada M12 x 1.75	Comercial	4
8	Tornillo hexagonal abridado M12 x 1.75	Comercial	4
7	Ensamblaje agitador	E3-004	1
6	Pistola surtidora	Comercial	1
5	Ensamblaje circuito bombeo de agroquímico	E3-003	1
4	Manguera DUNLOP Pulvepress 12,5 mm, Long 2 m	Comercial	1
3	Ensamblaje tanque	E3-002	1
2	Ensamblaje estructura soporte tanque y motor	E3-001	1
1	Motor Lentax F00T2-330-115-HV1	Comercial	1
Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.

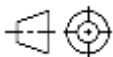
OBS:

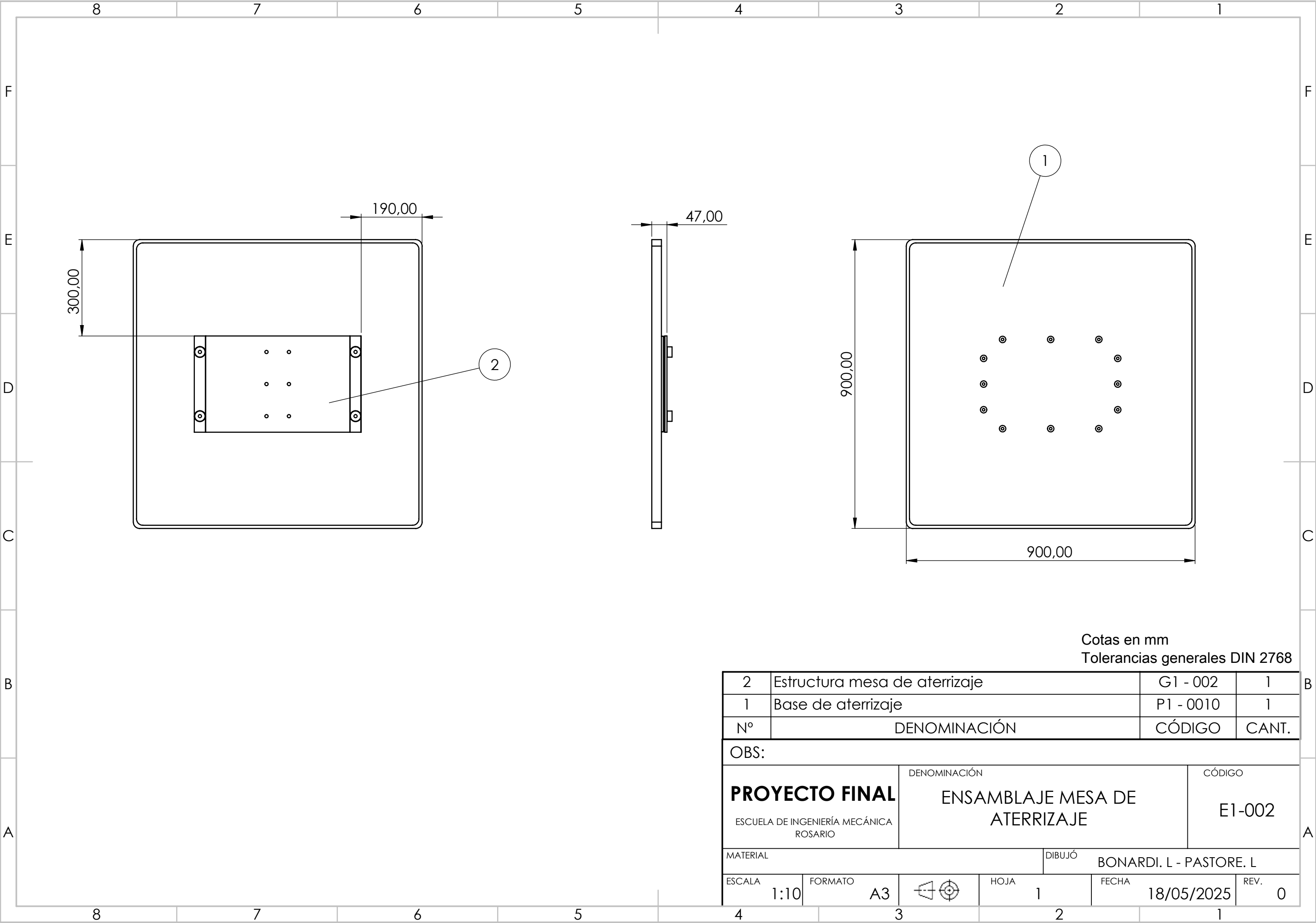
PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN ENSAMBLAJE SISTEMA REABASTECEDOR DE AGROQUÍMICO			CÓDIGO E3	
MATERIAL				DIBUJÓ		
				BONARDI. L - PASTORE. L		
ESCALA	FORMATO		HOJA	FECHA	REV.	
1:20	A3		1	18/05/2025	0	



Cotas en mm
Tolerancias generales DIN 2768

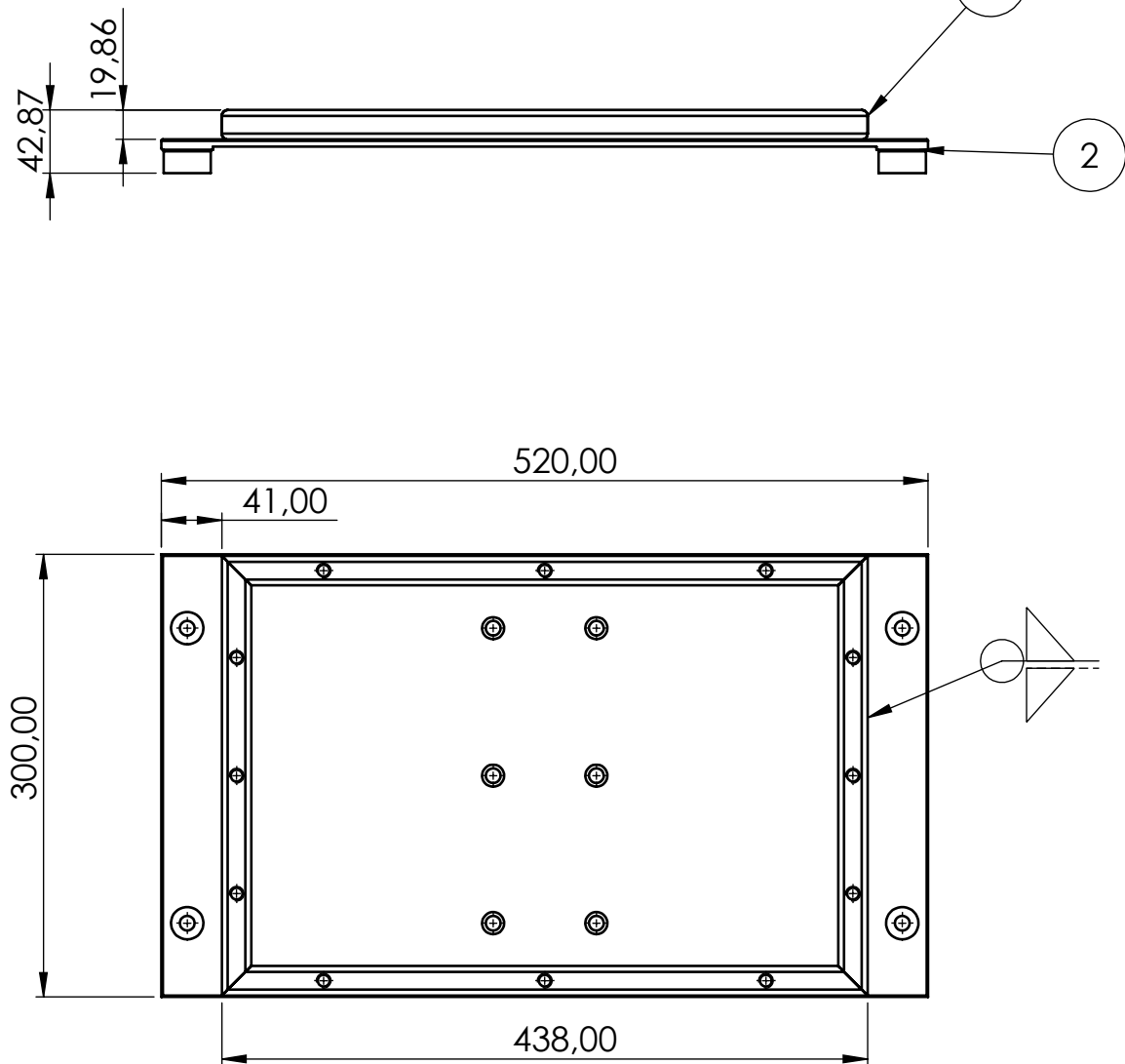
OBS:						
PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN ENSAMBLAJE ESTURUCTURA PORTANTE DE CINTA			CÓDIGO E1-001	
MATERIAL				DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L		
ESCALA 1:20	FORMATO A3		HOJA 1	FECHA 18/05/2025	REV. 0	

	4	3	2	1		
F					F	
E					E	
D					D	
C	10	Perfil sujeción cilindro motriz	P1-009	2		
	9	Chapa de fijación sistema motriz 708.5x300x2	P1-008	1		
	8	Perfil sujeción cilindro tensor	P1-007	2		
	7	Soporte cinta cara inferior	P1-006	6		
	6	Soporte cinta cara superior	P1-005	2		
B	5	Caja soporte cilindro guía	G1-001	1		
	4	Perfil sujeción cilindro guía	P1-004	2		
	3	Chapa de fijación 140x60x2	P1-003	2		
	2	Chapa de fijación 60x60x2	P1-002	4		
	1	Estructura de caño 30x30	P1-001	2		
	Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.		
OBS:						
A	PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN ENSAMBLAJE ESTRUCTURA PORTANTE DE CINTA		CÓDIGO E1-001	A
MATERIAL			DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE.L			
ESCALA 1:50	FORMATO A4		HOJA 1	FECHA 18/05/2025	REV. 0	
4	3	2	1			



Cotas en mm
Tolerancias generales DIN 2768

2	Estructura mesa de aterrizaje	G1 - 002	1
1	Base de aterrizaje	P1 - 0010	1
Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.
OBS:			
PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN ENSAMBLAJE MESA DE ATERRIZAJE	CÓDIGO E1-002
MATERIAL		DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L	
ESCALA 1:10	FORMATO A3	HOJA 1	FECHA 18/05/2025 REV. 0



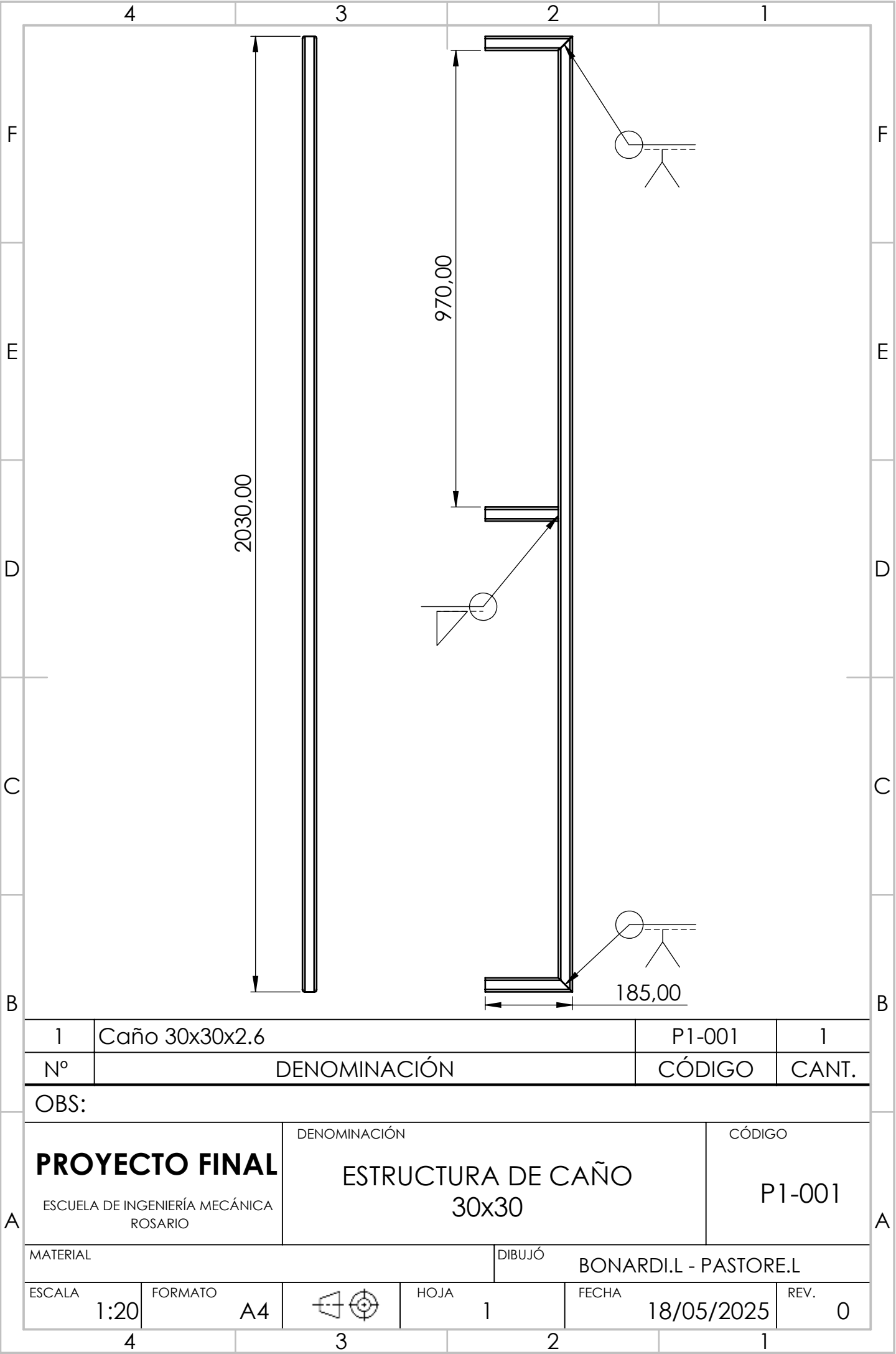
Cotas en mm
Tolerancias generales DIN 2768

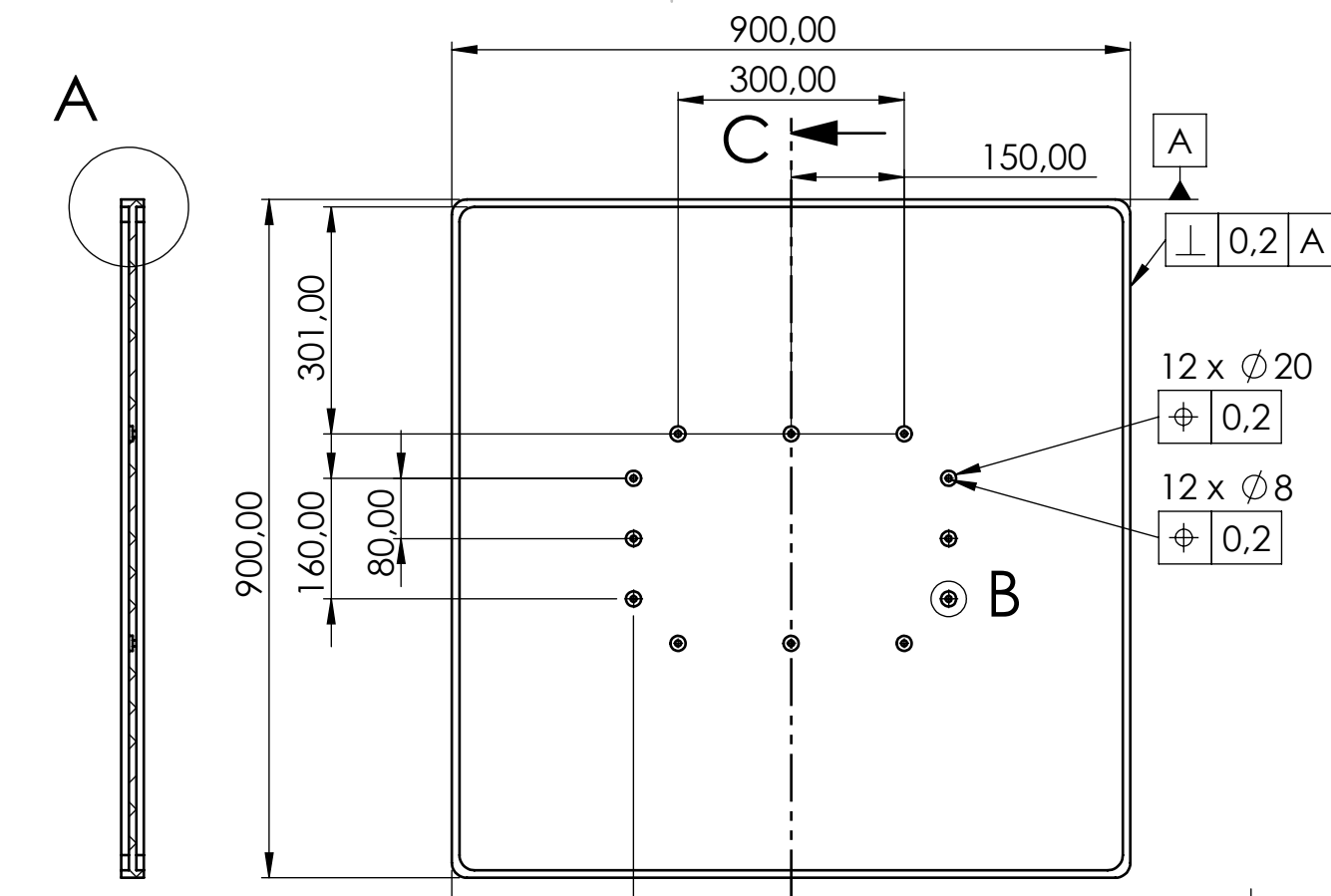
2	Placa mesa de aterrizaje	P1-012	1
1	Estructura caño cuadrado 20x20	P1-011	1
Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.

OBS:

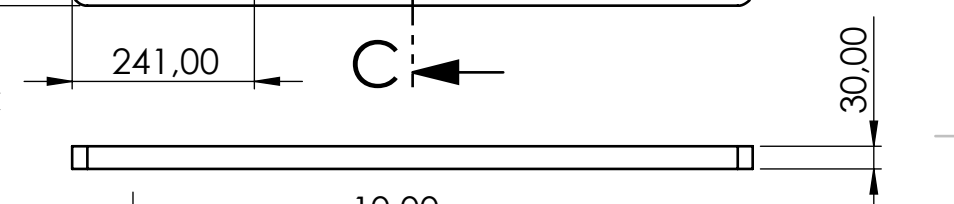
PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO	DENOMINACIÓN		CÓDIGO	
	ESTRUCTURA MESA DE ATERRIJAJE		G1-002	

MATERIAL			DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L		
ESCALA 1:5	FORMATO A4		HOJA 1	FECHA 18/05/2025	REV. 0





SECCIÓN C-C



DETALLE A

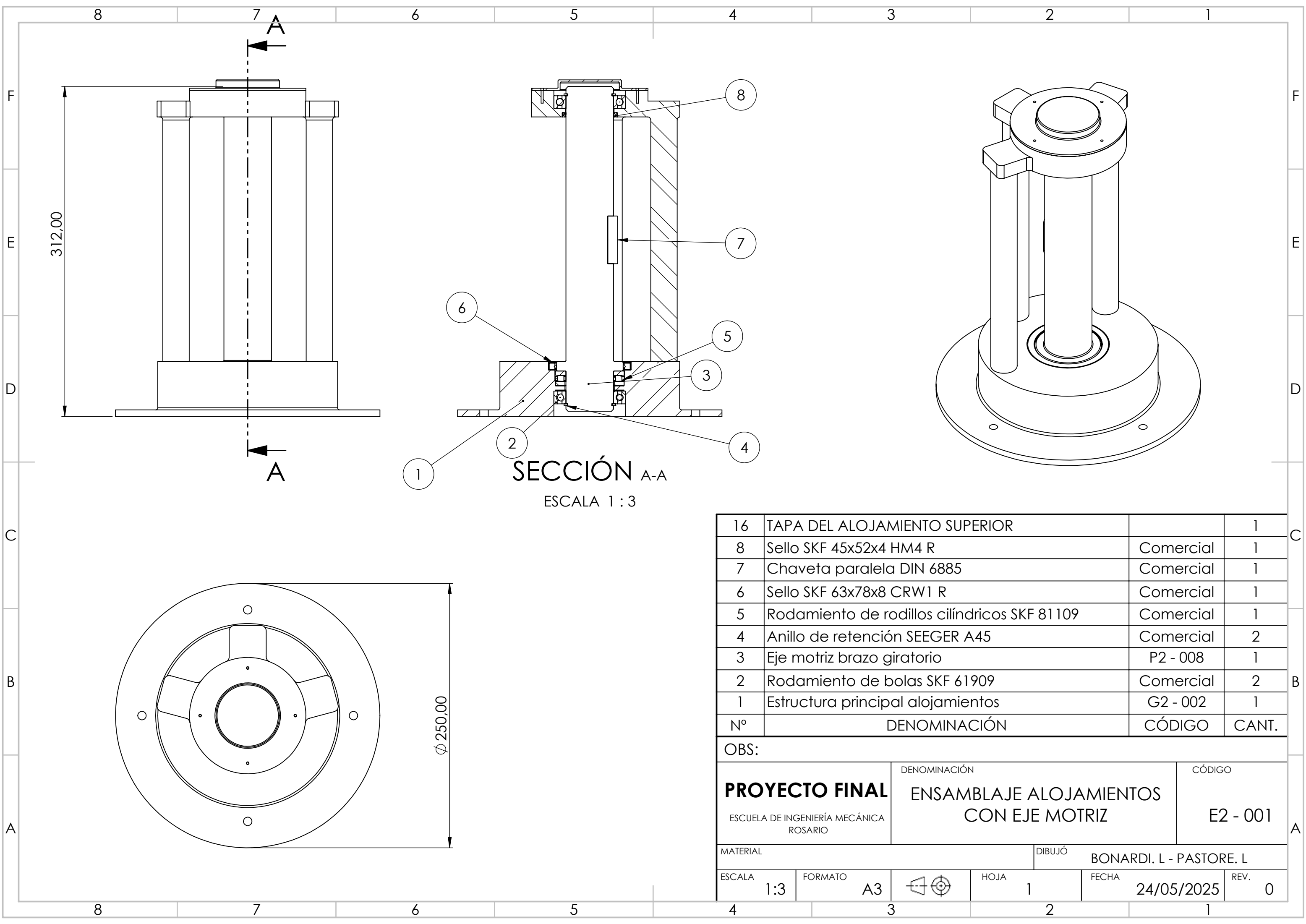
ESCALA 1 : 2

DETALLE B

ESCALA 1 : 2

N8/
Cotas en mm
Tolerancias generales DIN 2768

OBS:		
PROYECTO FINAL		DENOMINACIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		BASE DE ATERRIZAJE
		CÓDIGO
		P1-011
MATERIAL		DIBUJÓ
		BONARDI. L - PASTORE. L
ESCALA	FORMATO	HOJA
1:10	A4	1
		FECHA
		18/05/2025
		REV.
		0

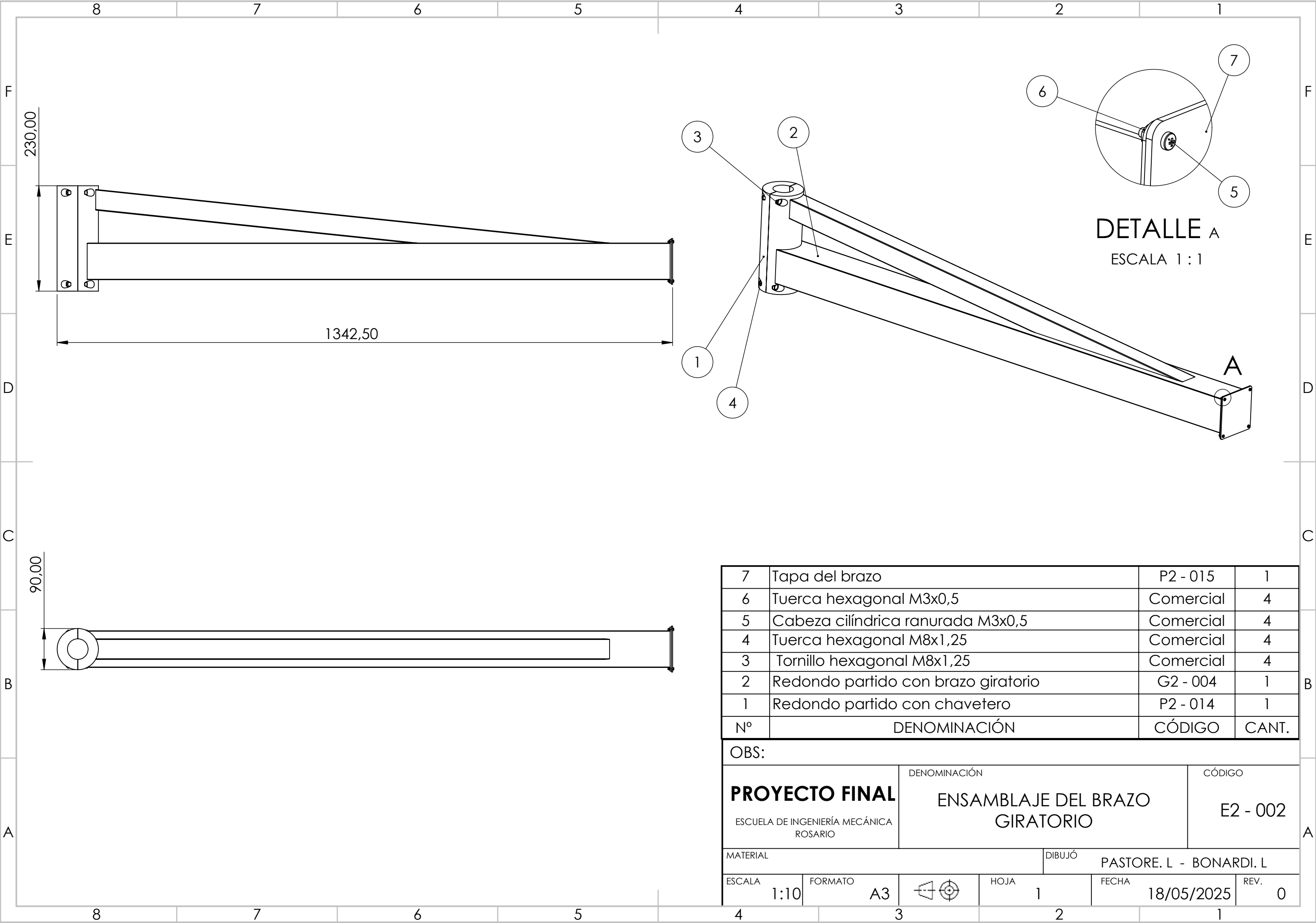


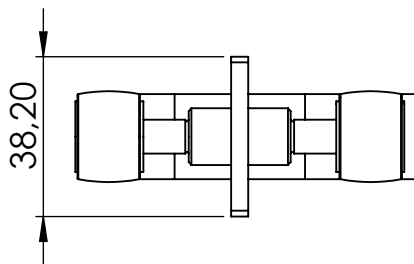
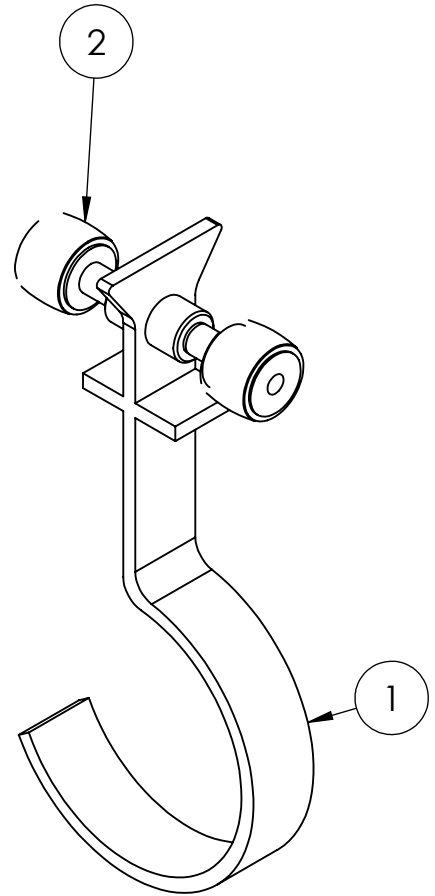
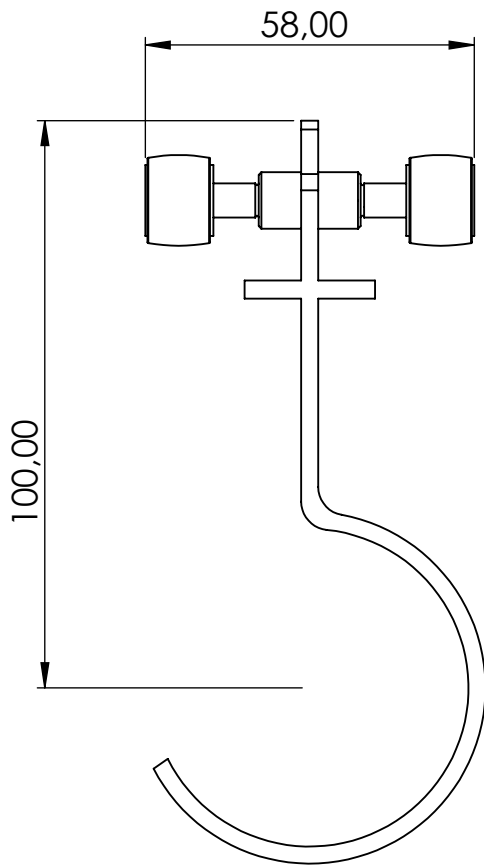
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 3

16	TAPA DEL ALOJAMIENTO SUPERIOR		1
8	Sello SKF 45x52x4 HM4 R	Comercial	1
7	Chaveta paralela DIN 6885	Comercial	1
6	Sello SKF 63x78x8 CRW1 R	Comercial	1
5	Rodamiento de rodillos cilíndricos SKF 81109	Comercial	1
4	Anillo de retención SEEGER A45	Comercial	2
3	Eje motriz brazo giratorio	P2 - 008	1
2	Rodamiento de bolas SKF 61909	Comercial	2
1	Estructura principal alojamientos	G2 - 002	1
Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.

OBS:

PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN ENSAMBLAJE ALOJAMIENTOS CON EJE MOTRIZ	CÓDIGO E2 - 001
MATERIAL		DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L	
ESCALA 1:3	FORMATO A3	HOJA 1	FECHA 24/05/2025
		REV. 0	



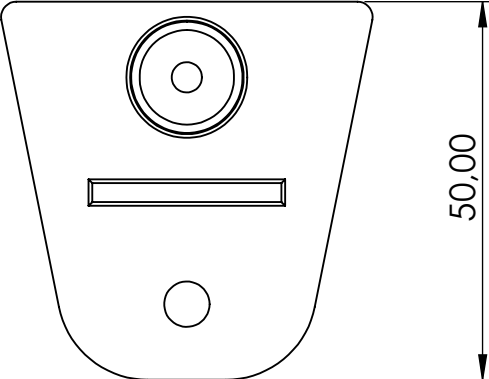
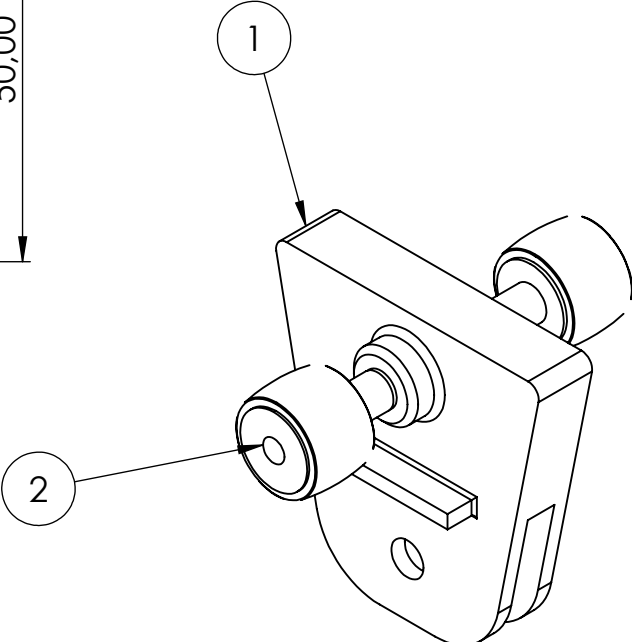
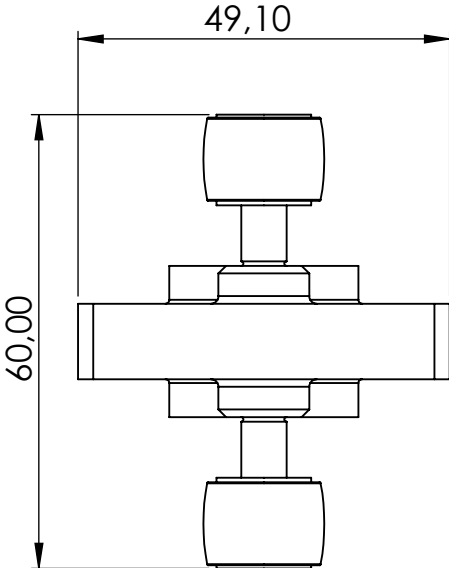


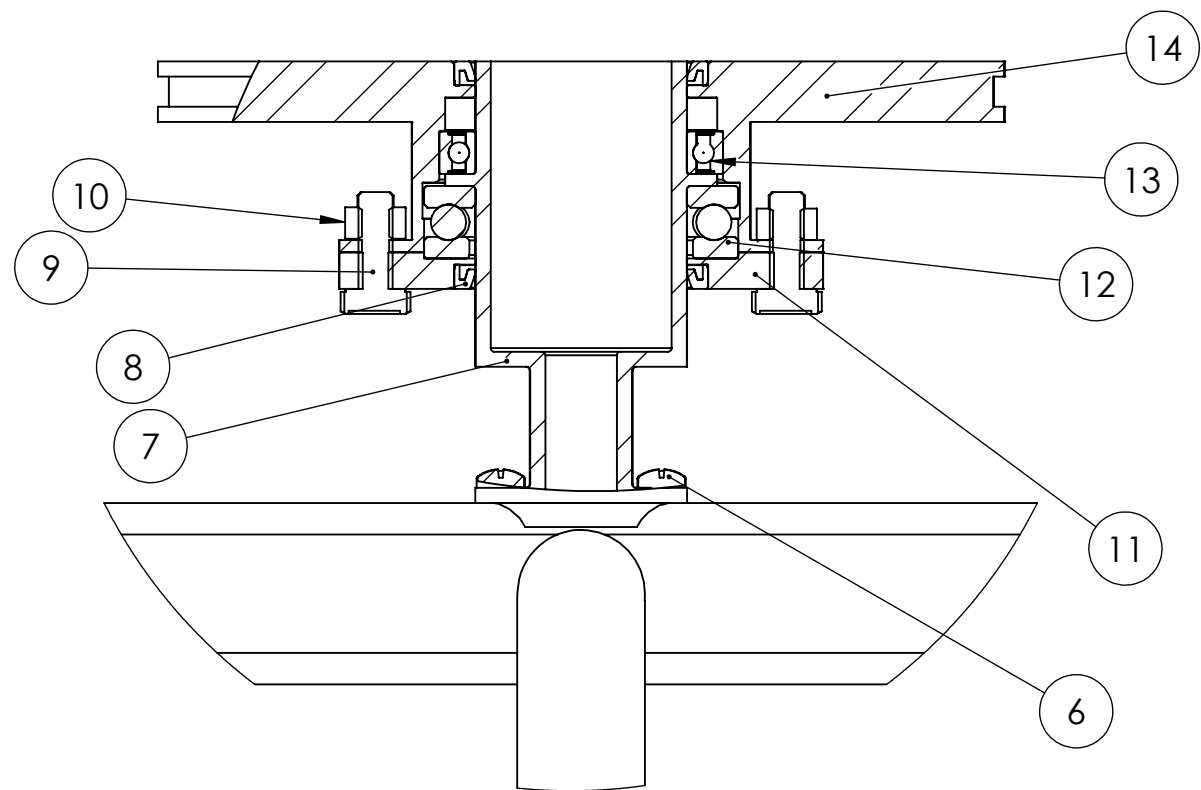
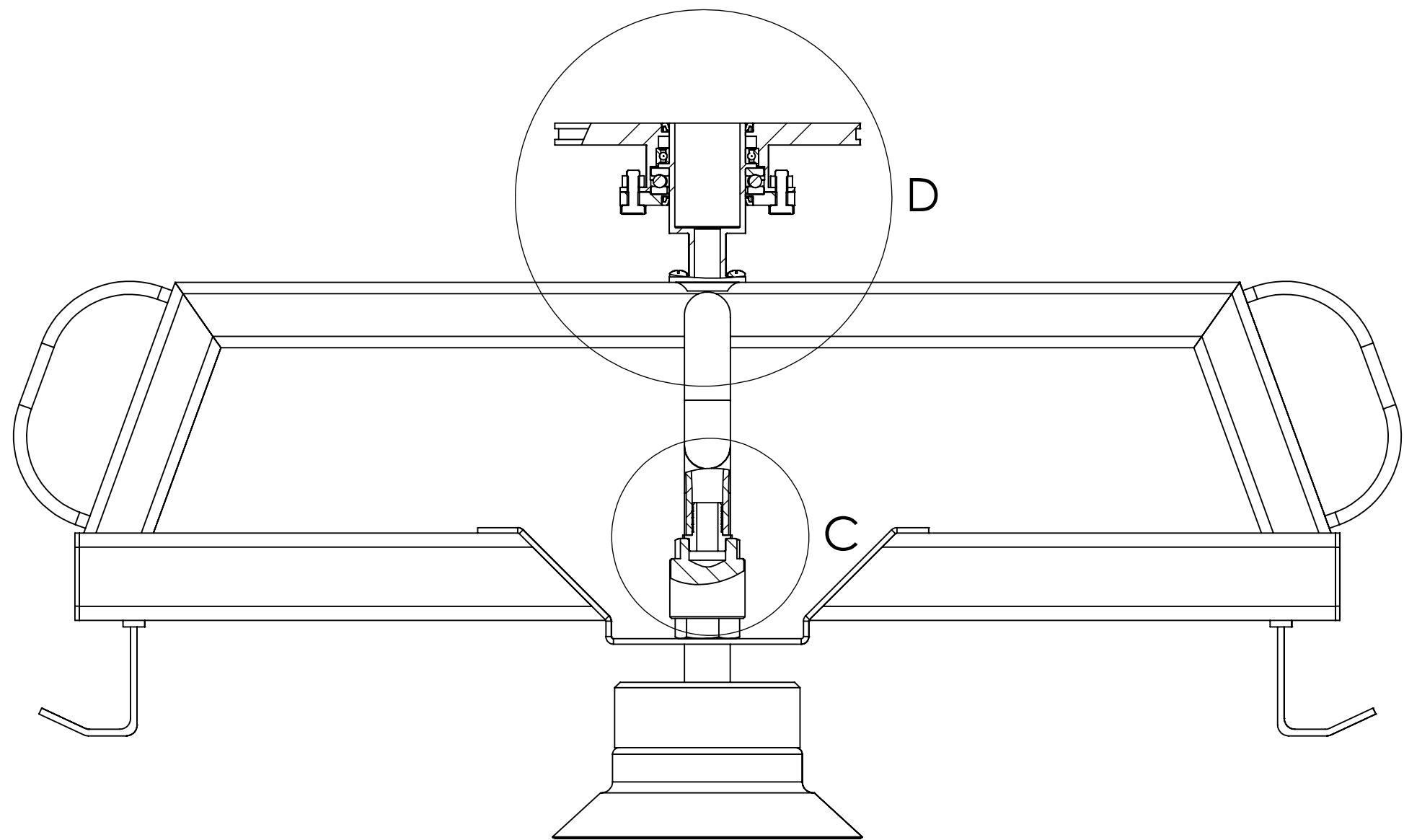
2	Rodamiento de leva con eje SKF KR16		2
1	Patín deslizante para manguera	P2 - 009	1
Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.

OBS:

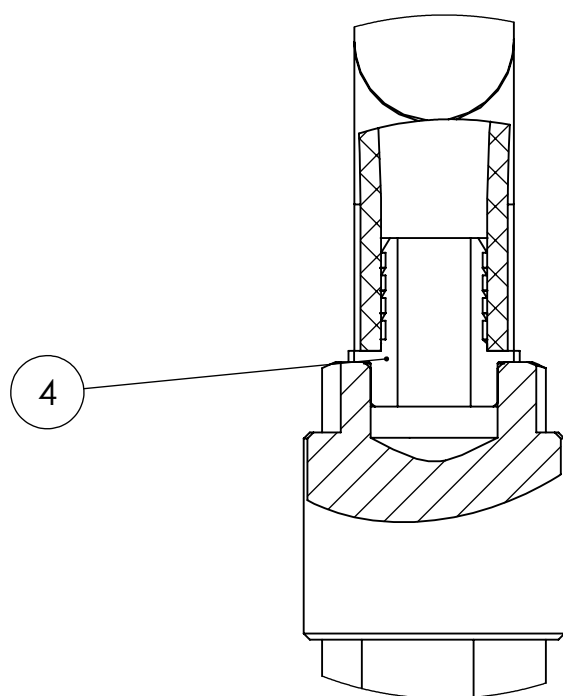
PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO	DENOMINACIÓN		CÓDIGO	
	ENSAMBLAJE PATÍN DESLIZANTE MANGUERA CORRUGADA		E2 - 003	

MATERIAL			DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L		
ESCALA	FORMATO		HOJA	FECHA	REV.
1:2	A4		1	18/05/2025	0

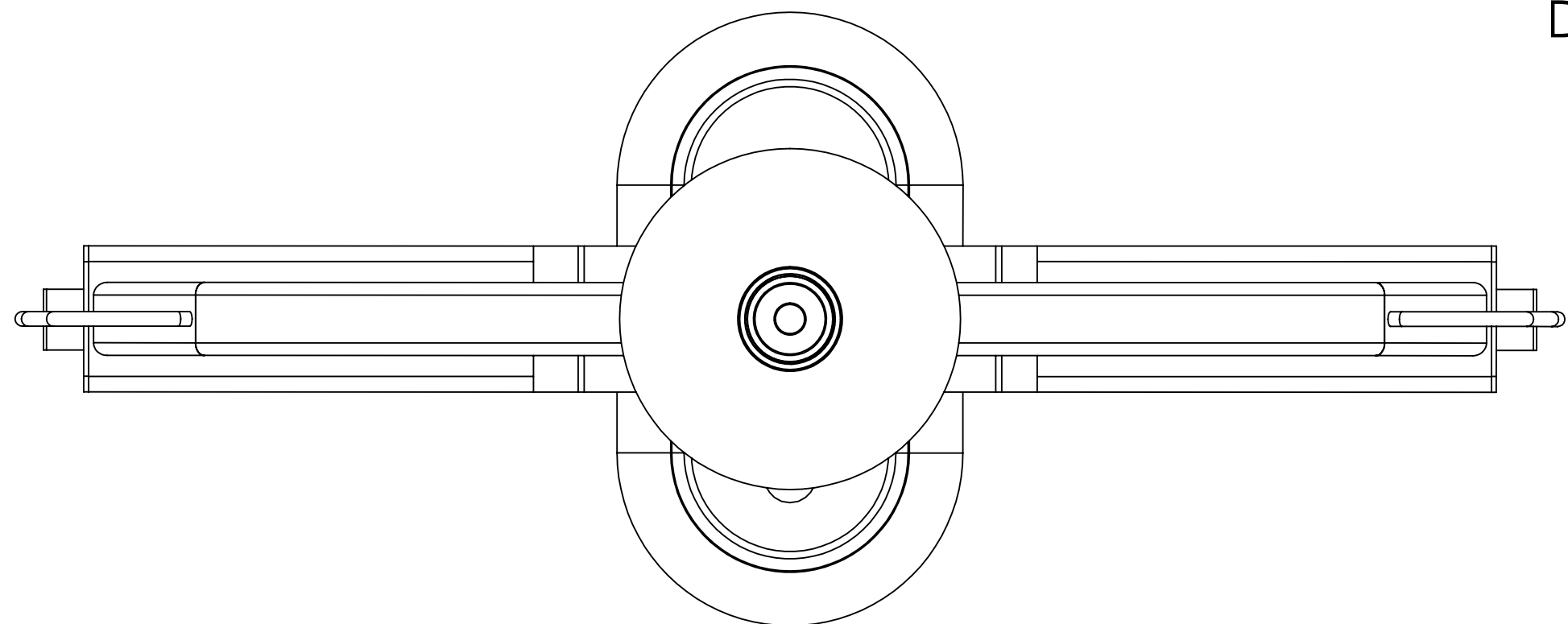
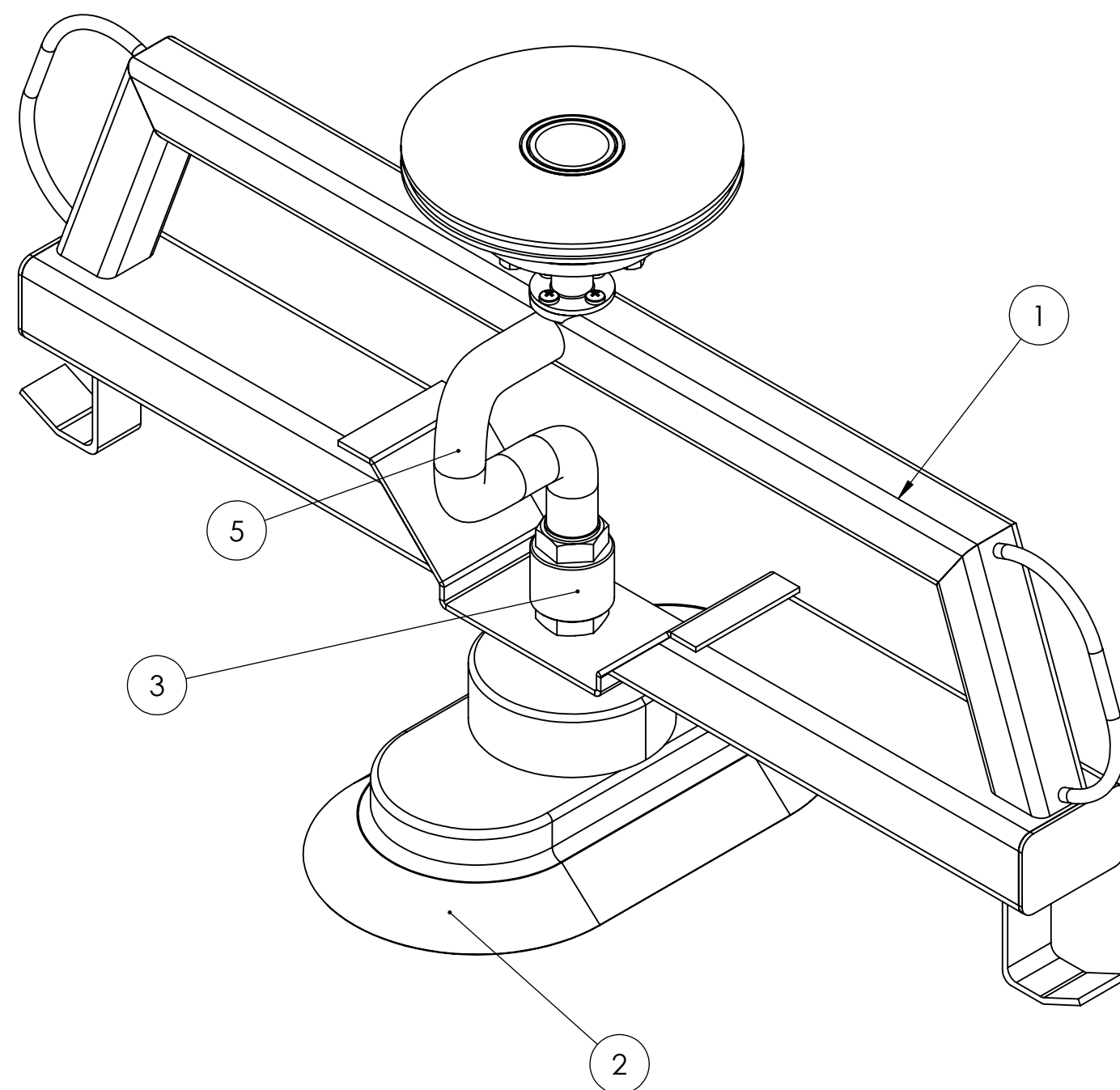
	4	3	2	1					
F					F				
E					E				
D					D				
B	2	Rodamiento de leva con eje SKF KR16		Comercial	2	B			
	1	Patín principal		P2 - 010	1				
	Nº	DENOMINACIÓN		CÓDIGO	CANT.				
OBS:									
A	PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN ENSAMBLAJE PATÍN DESLIZANTE TUBO CORRUGADO		CÓDIGO E2 - 004	A			
MATERIAL			DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L						
ESCALA	1:1	FORMATO	A4	HOJA	1	FECHA	24/05/2025	REV.	0
	4		3		2		1		

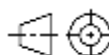


DETALLE D
ESCALA 4 : 5

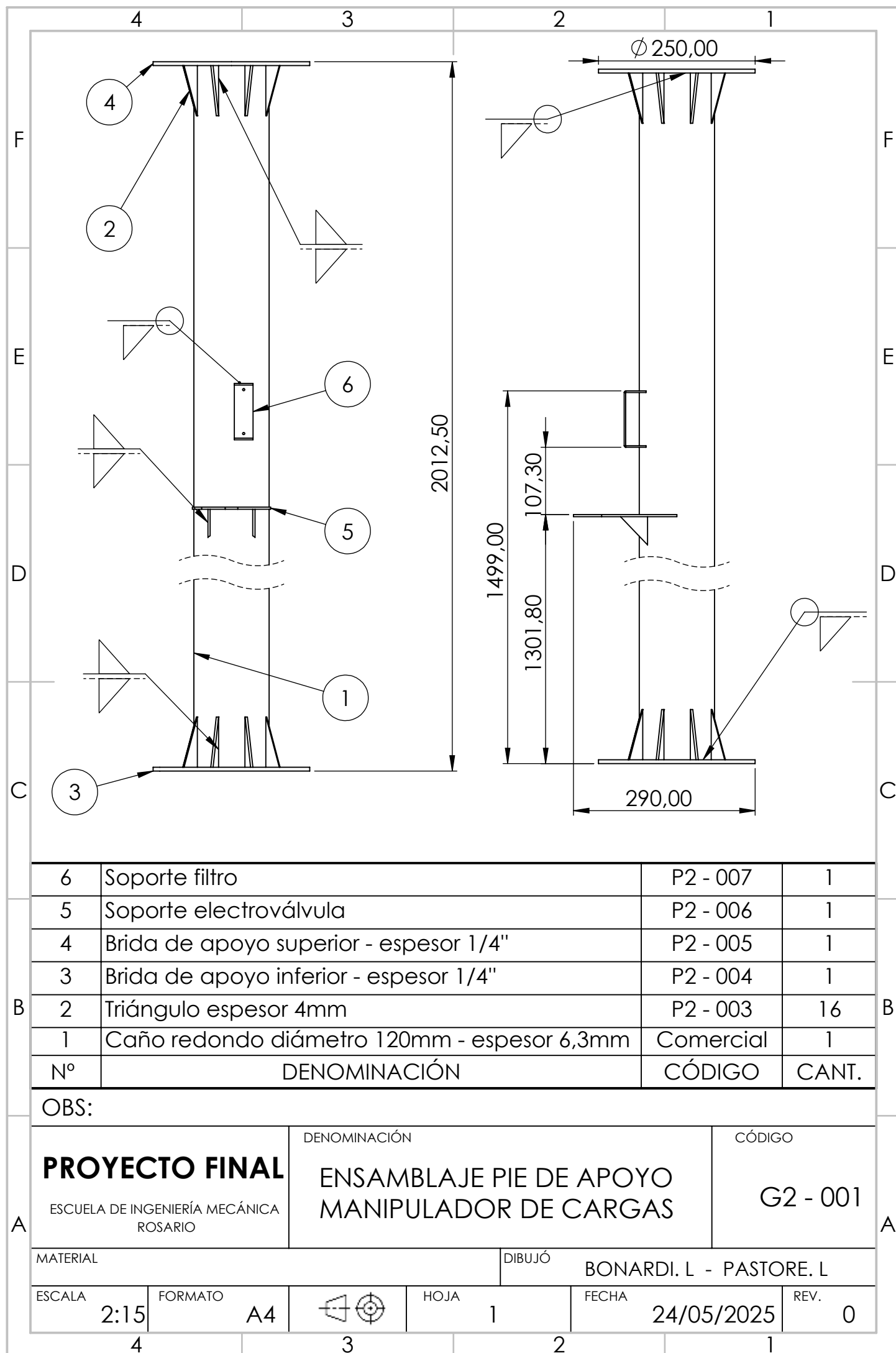


DETALLE C
ESCALA 1 : 1



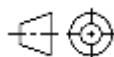
OBS:							
PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN ENSAMBLAJE ESTRUCTURA DE MANIPULACIÓN DE CARGAS				CÓDIGO E2 - 005	
MATERIAL					DIBUJO		
					PASTORE. L - BONARDI. L		
ESCALA	FORMATO			HOJA	FECHA	REV.	
2:5	A2			1	24/05/2025	0	

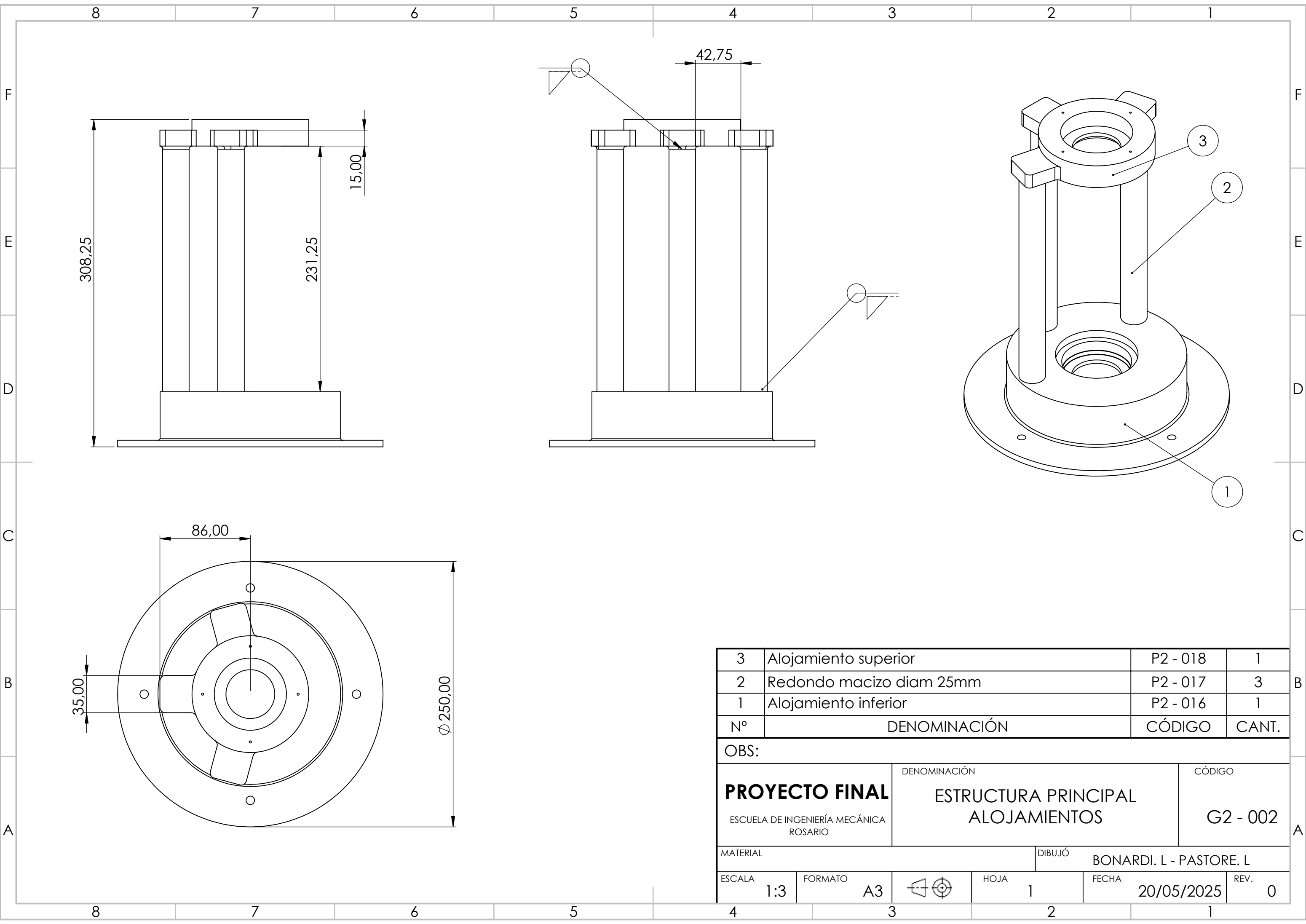
	4	3	2	1			
F					F		
E					E		
D					D		
C	14	Caja	P2 - 013	1	C		
	13	Rodamiento de bolas SKF 61807	Comercial	1			
	12	Rodamiento de bolas SKF 51107	Comercial	1			
	11	Tapa	P2 - 012	1			
	10	Tuercas hexagonales M6x1,0	Comercial	4			
	9	Tornillos hexagonales M6x1,0	Comercial	4			
	8	Sello SKF 35x42x4 HM4 R	Comercial	1			
	7	Cilindro central	P2 - 019	1			
	6	Cabeza cilíndrica ranurada M4x0,7		4			
	5	Manguera 1/2"	Comercial	1			
B	4	Acople 1/2"	Comercial	1	B		
	3	Válvula de ret. vacio AR-VACUUM ECON YORK 1/2"	Comercial	1			
	2	Ventosa AR-VACUUM VGD252NIT	Comercial	1			
	1	Estructura portante de ventosa y ganchos	G2 - 003	1			
	Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.			
A	OBS:				A		
	PROYECTO FINAL		DENOMINACIÓN			CÓDIGO	
	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		ENSAMBLAJE ESTRUCTURA DE MANIPULACIÓN DE CARGAS			E2 - 005	
	MATERIAL		DIBUJÓ			BONARDI. L - PASTORE. L	
	ESCALA	FORMATO	HOJA	FECHA	REV.		
	2:5	A4		1	24/05/2025	0	
	4	3	2	1			

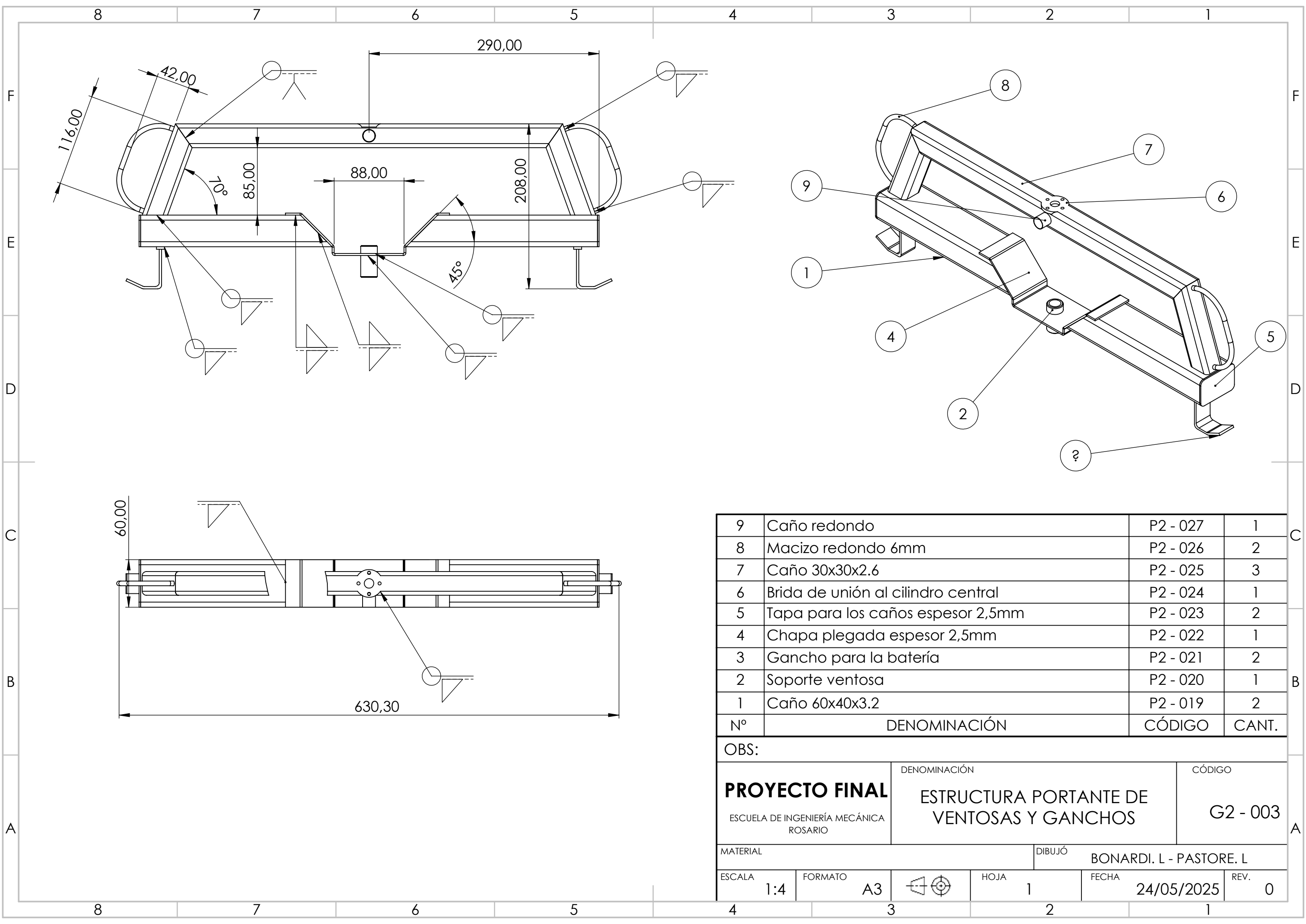


6	Soporte filtro	P2 - 007	1
5	Soporte electroválvula	P2 - 006	1
4	Brida de apoyo superior - espesor 1/4"	P2 - 005	1
3	Brida de apoyo inferior - espesor 1/4"	P2 - 004	1
2	Triángulo espesor 4mm	P2 - 003	16
1	Caño redondo diámetro 120mm - espesor 6,3mm	Comercial	1
Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.

OBS:

PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN ENSAMBLAJE PIE DE APOYO MANIPULADOR DE CARGAS			CÓDIGO G2 - 001	
MATERIAL				DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L		
ESCALA 2:15	FORMATO A4		HOJA 1	FECHA 24/05/2025	REV. 0	

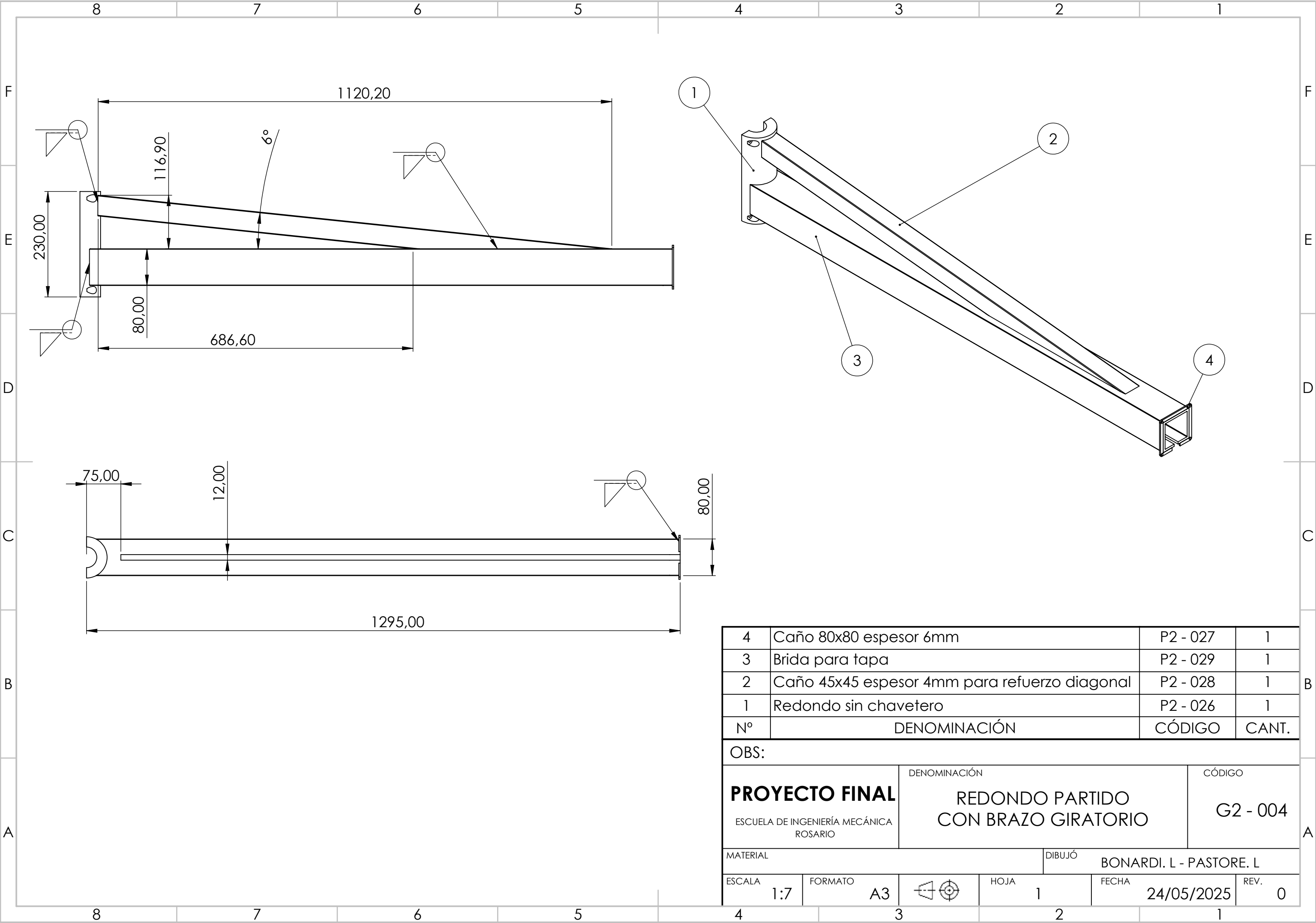




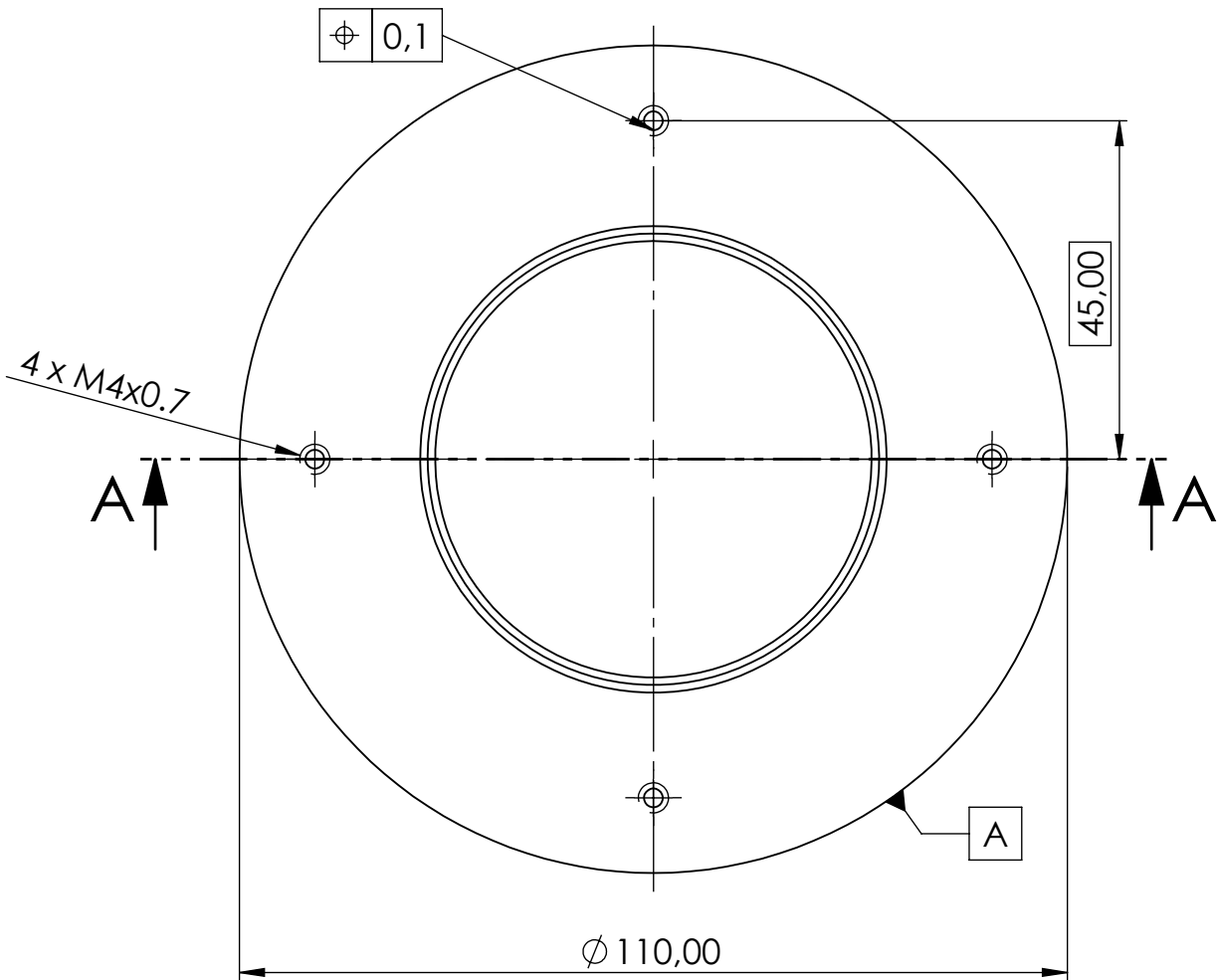
9	Caño redondo	P2 - 027	1
8	Macizo redondo 6mm	P2 - 026	2
7	Caño 30x30x2.6	P2 - 025	3
6	Brida de unión al cilindro central	P2 - 024	1
5	Tapa para los caños espesor 2,5mm	P2 - 023	2
4	Chapa plegada espesor 2,5mm	P2 - 022	1
3	Gancho para la batería	P2 - 021	2
2	Soporte ventosa	P2 - 020	1
1	Caño 60x40x3.2	P2 - 019	2
Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.

OBS:

PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN ESTRUCTURA PORTANTE DE VENTOSAS Y GANCHOS			CÓDIGO G2 - 003	
MATERIAL				DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L		
ESCALA 1:4	FORMATO A3		HOJA 1	FECHA 24/05/2025	REV. 0	



4	Caño 80x80 espesor 6mm	P2 - 027	1
3	Brida para tapa	P2 - 029	1
2	Caño 45x45 espesor 4mm para refuerzo diagonal	P2 - 028	1
1	Redondo sin chavetero	P2 - 026	1
Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.
OBS:			
PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN REDONDO PARTIDO CON BRAZO GIRATORIO	CÓDIGO G2 - 004
MATERIAL		DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L	
ESCALA 1:7	FORMATO A3	HOJA 1	FECHA 24/05/2025 REV. 0



SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 1

⊥ 0,1 A

Cotas en mm
Radios no acotados 1mm
Tolerancias generales DIN 2768

OBS:

PROYECTO FINAL

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ROSARIO

DENOMINACIÓN

**TAPA DEL ALOJAMIENTO
SUPERIOR**

CÓDIGO

P2 - 001

MATERIAL

AIISI 1020

DIBUJÓ

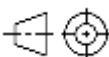
BONARDI. L - PASTORE. L

ESCALA

1:1

FORMATO

A4



HOJA

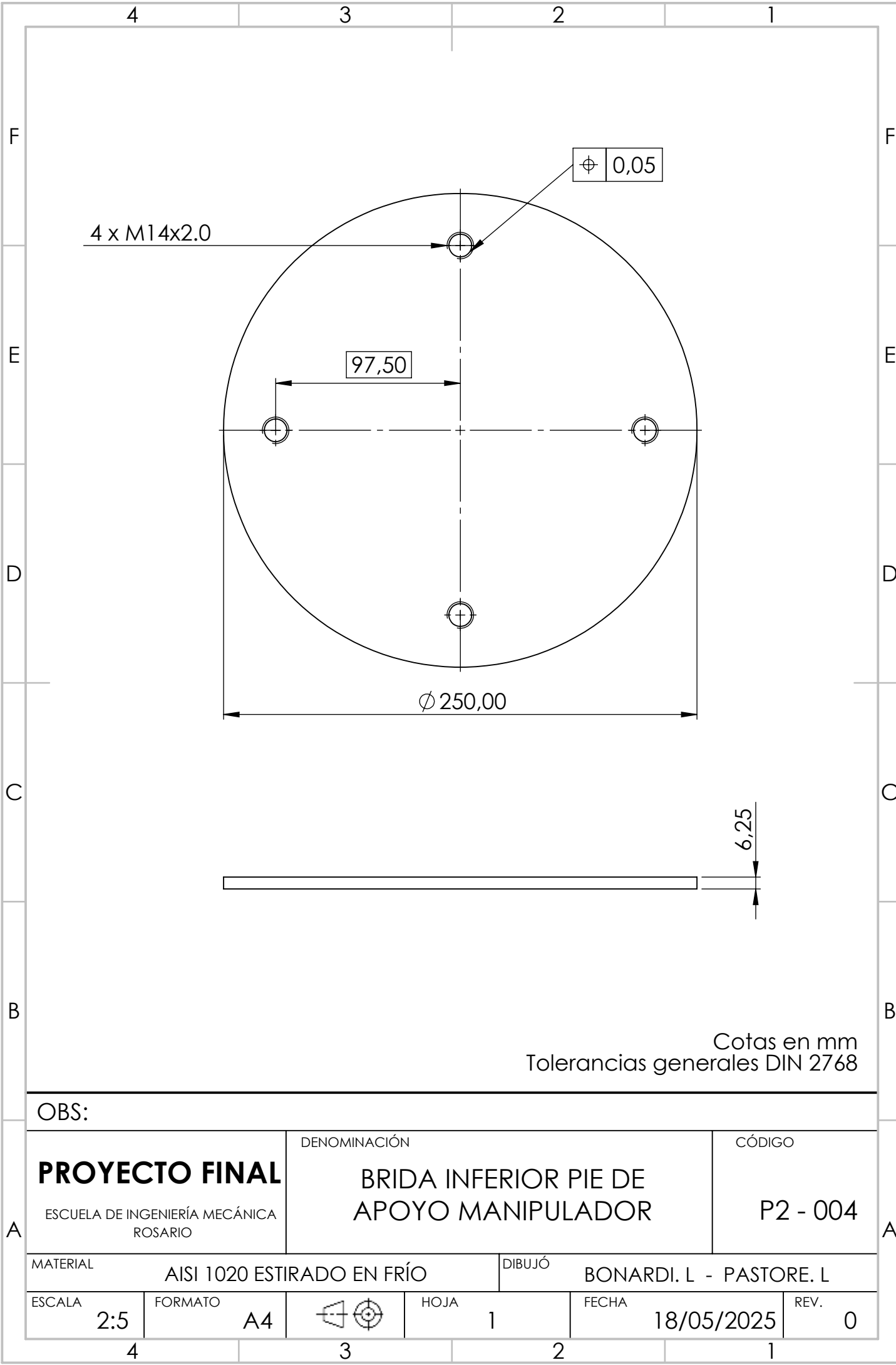
1

FECHA

25/05/2025

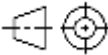
REV.

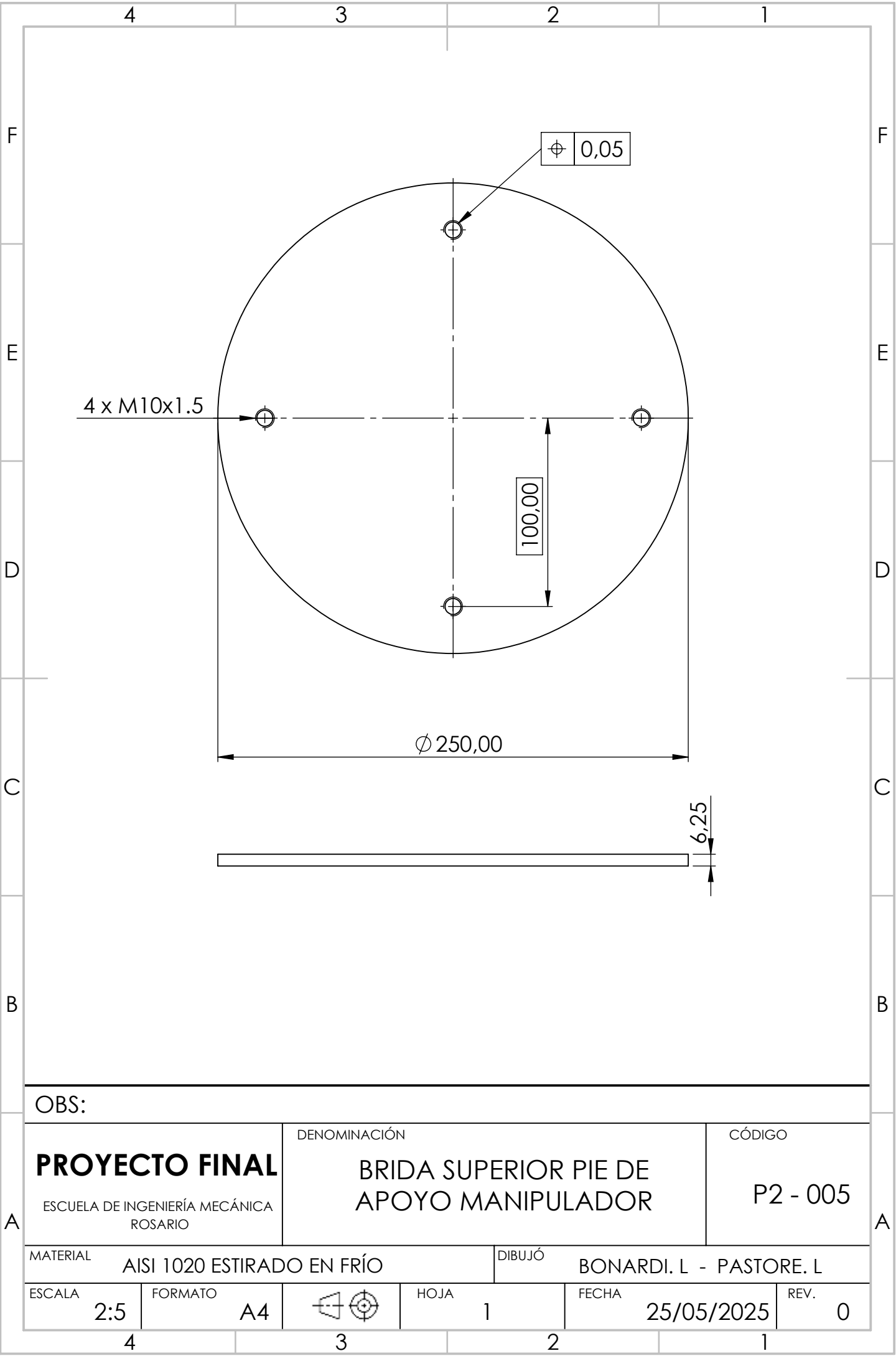
0

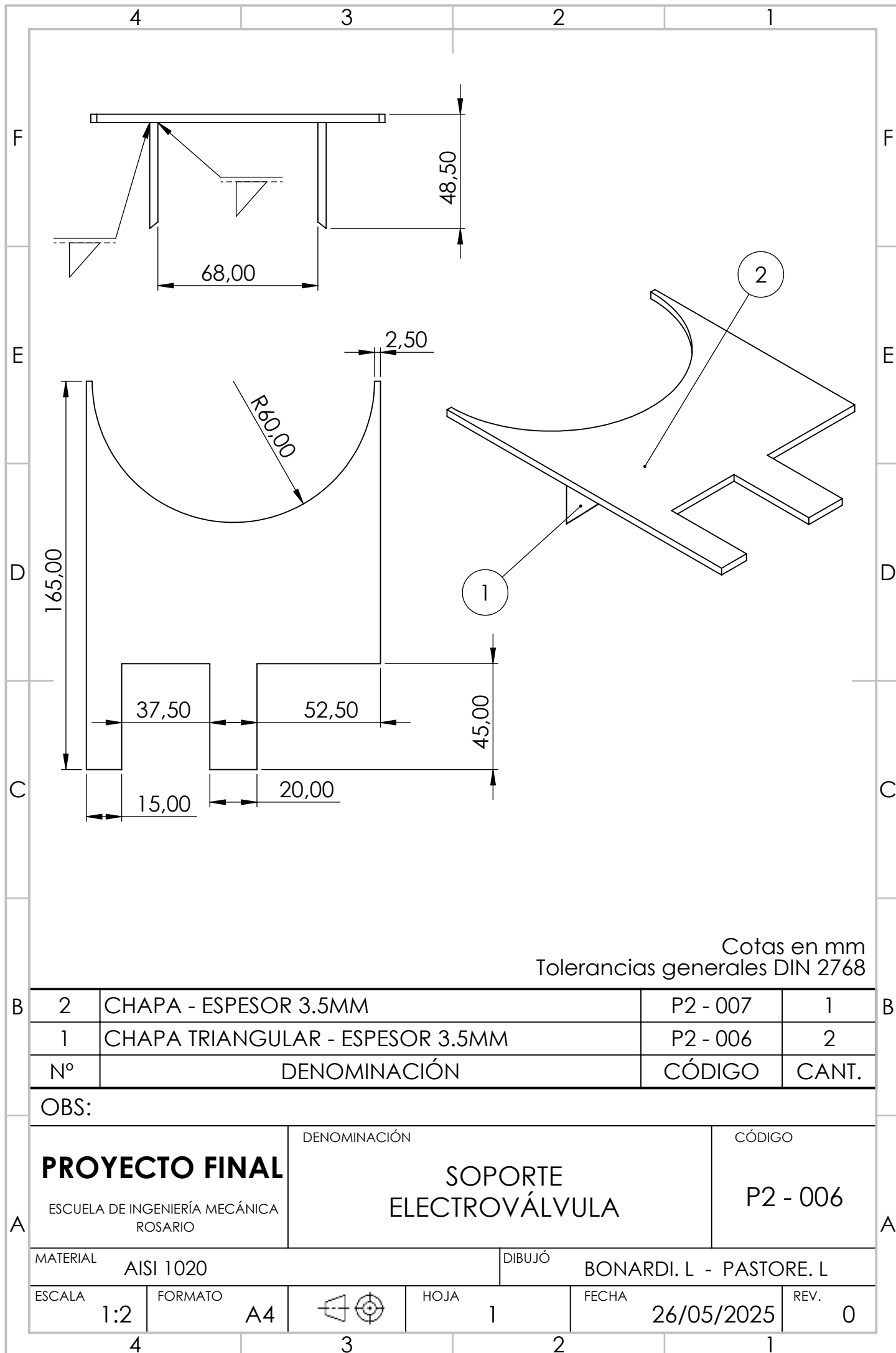


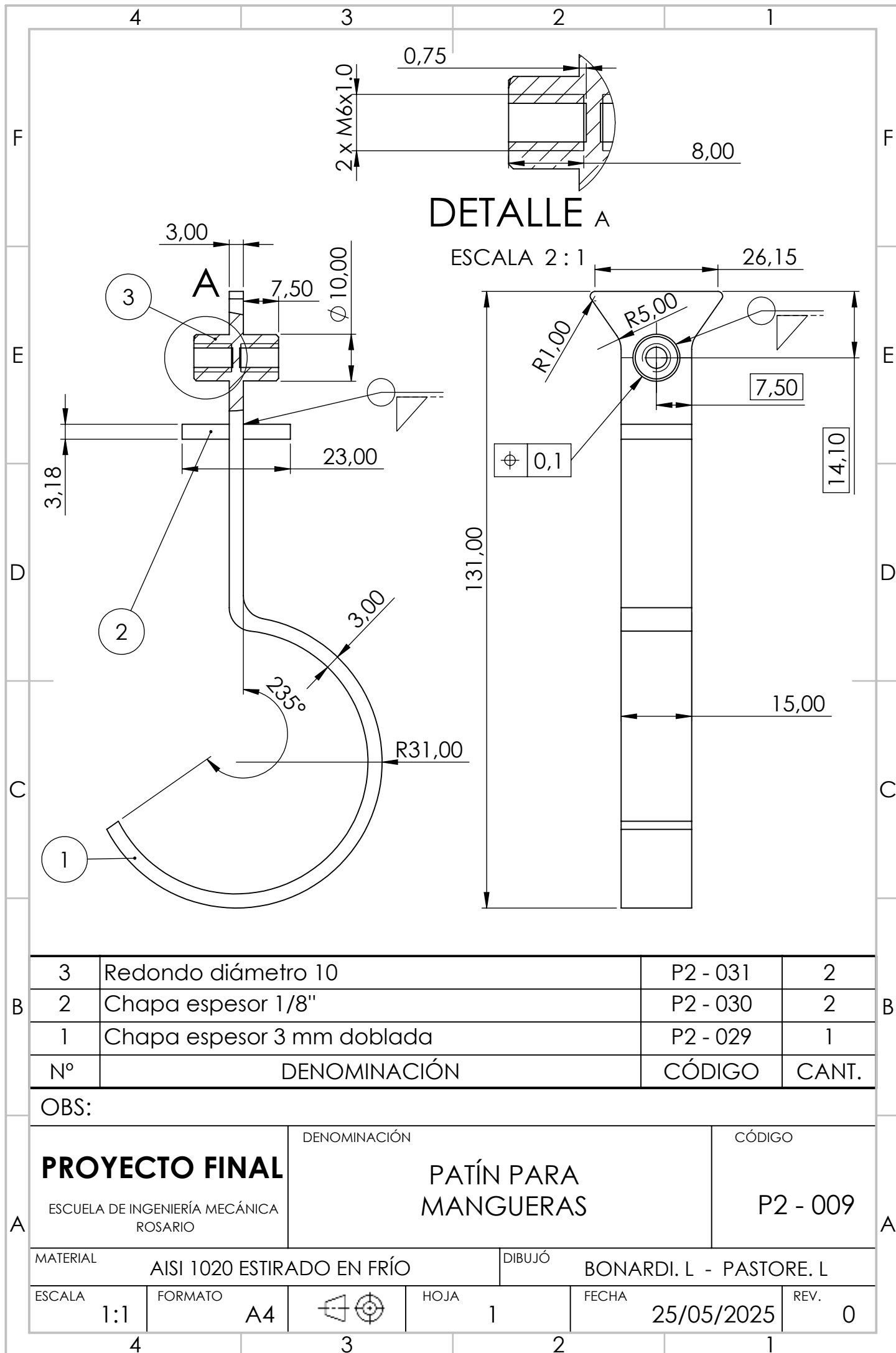
Cotas en mm
Tolerancias generales DIN 2768

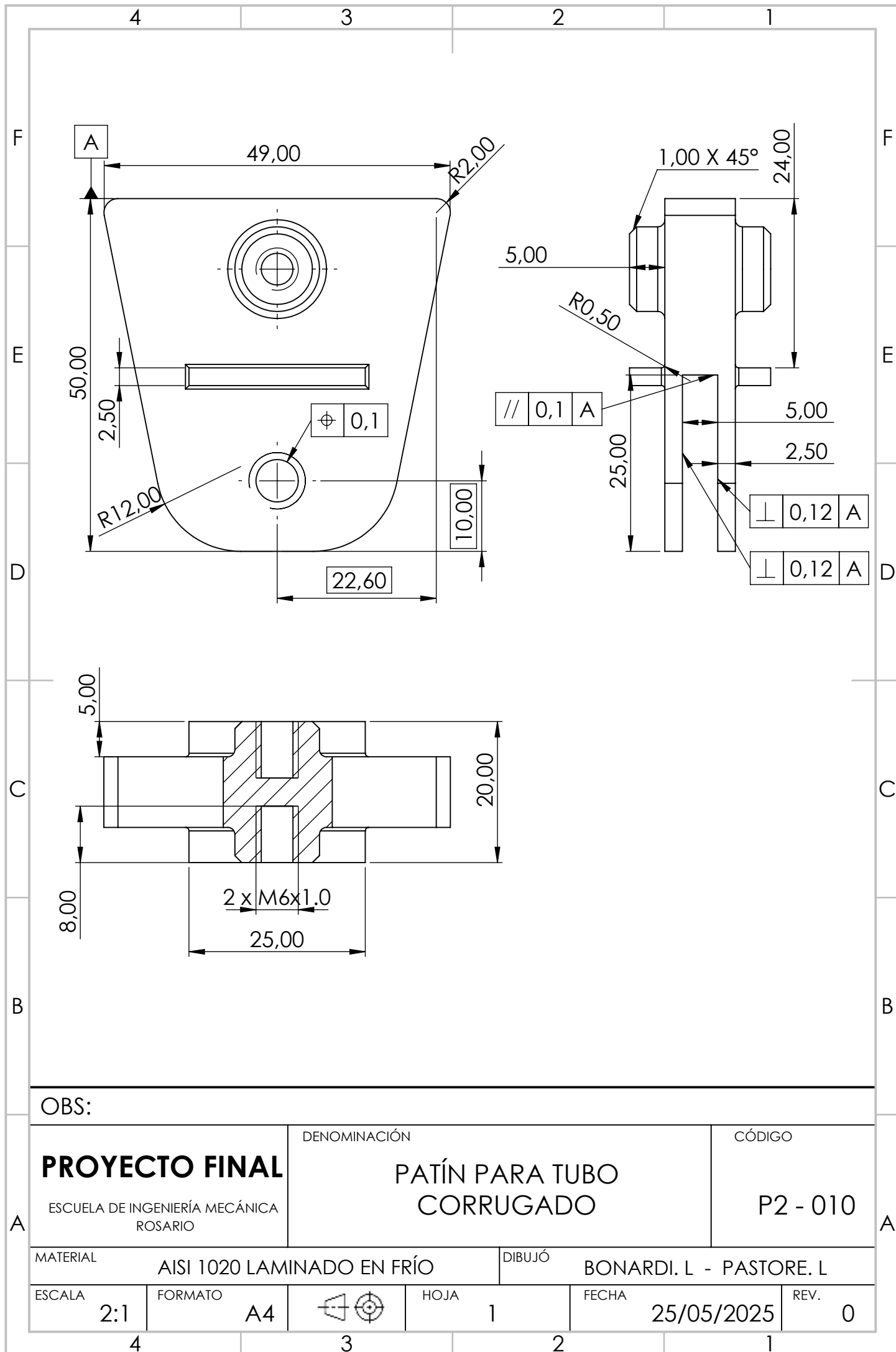
OBS:

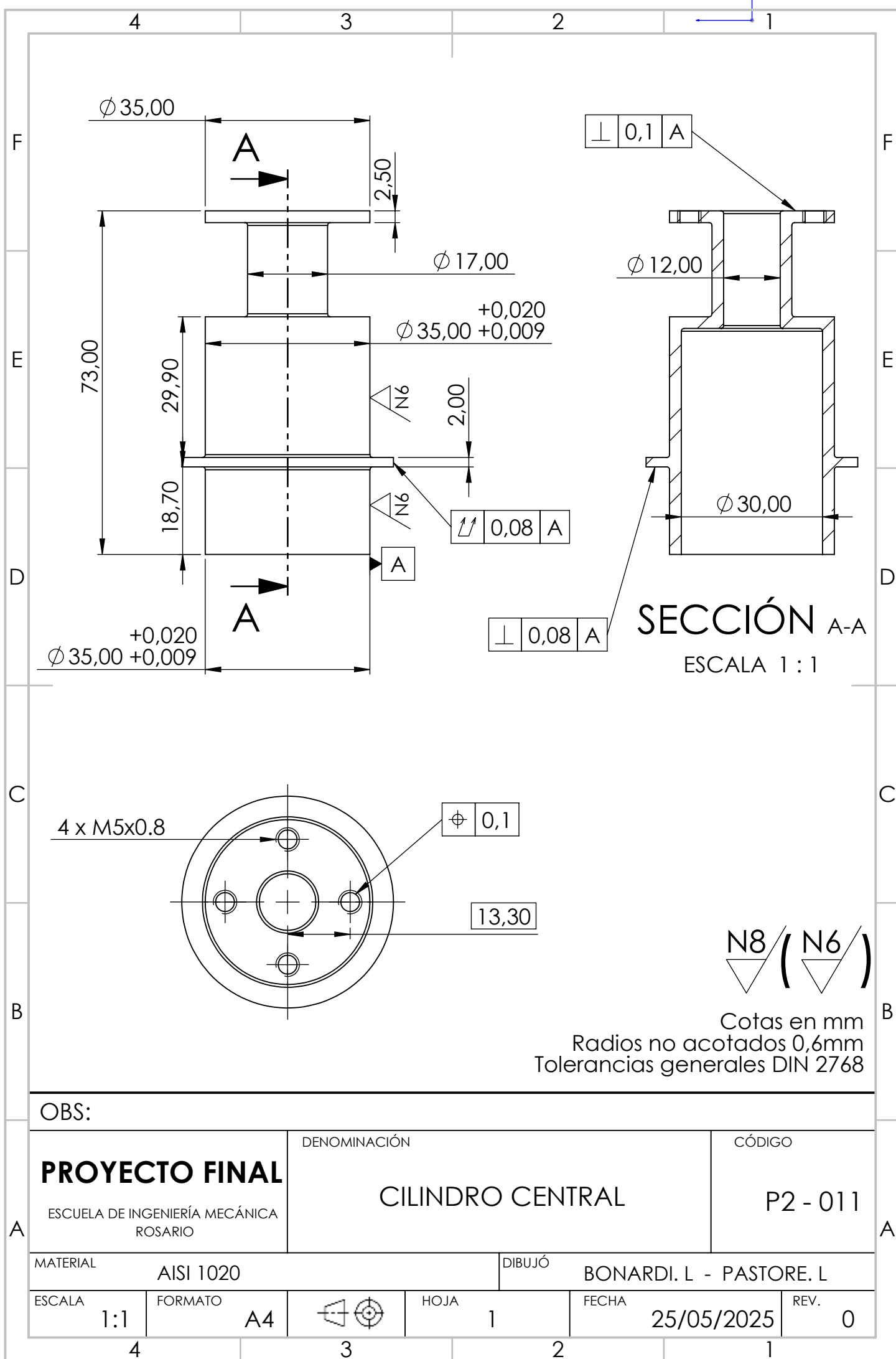
PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN BRIDA INFERIOR PIE DE APOYO MANIPULADOR			CÓDIGO P2 - 004	
MATERIAL AISI 1020 ESTIRADO EN FRÍO			DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L			
ESCALA 2:5	FORMATO A4		HOJA 1	FECHA 18/05/2025	REV. 0	

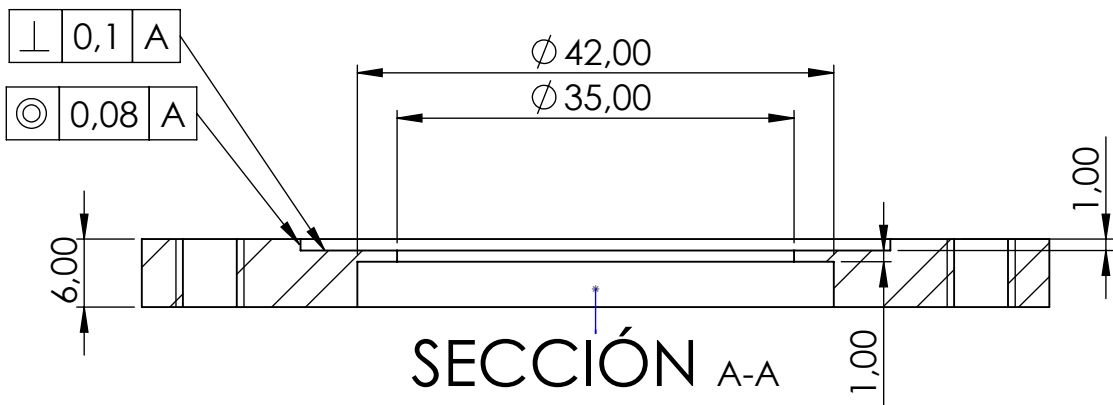
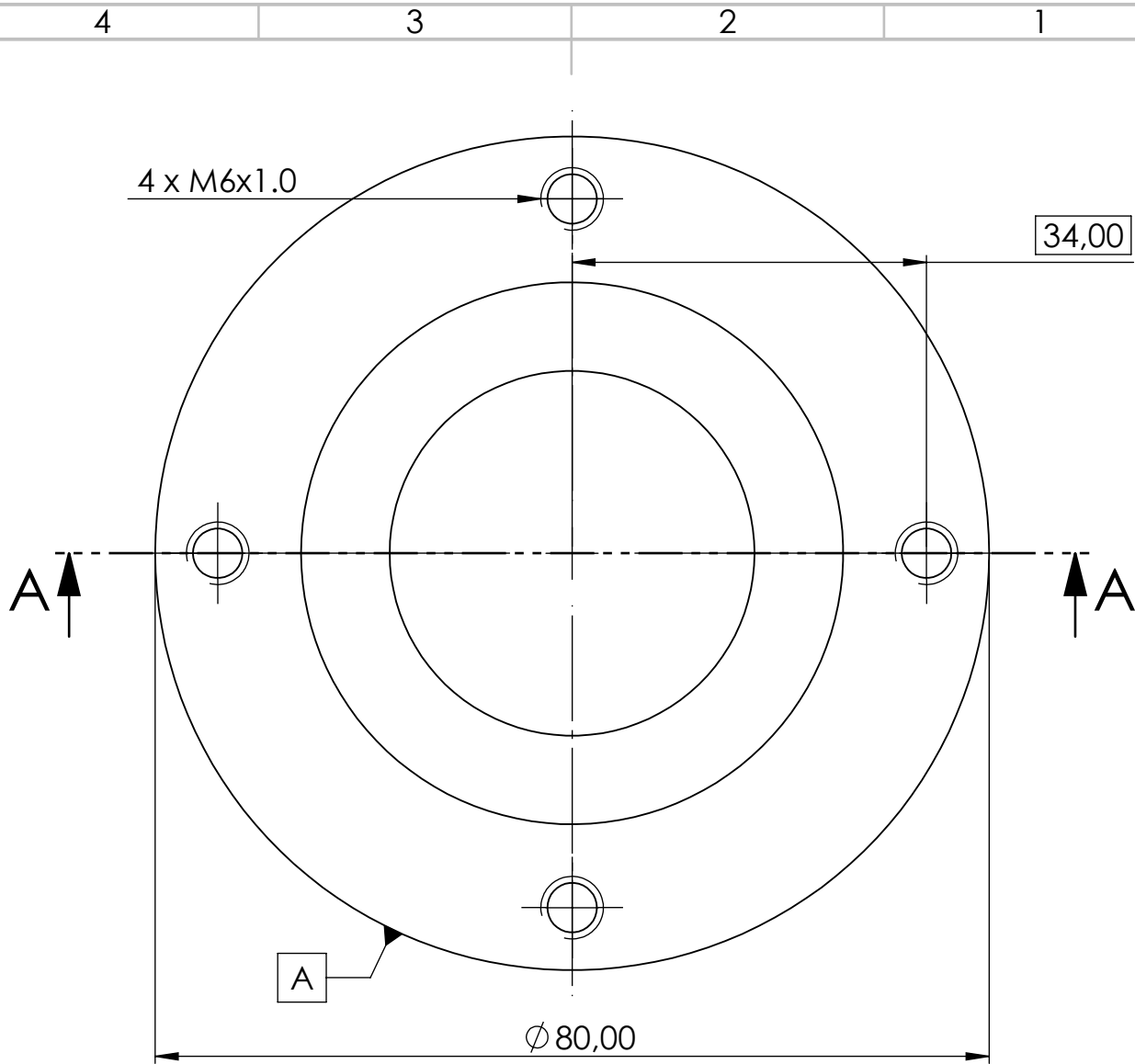






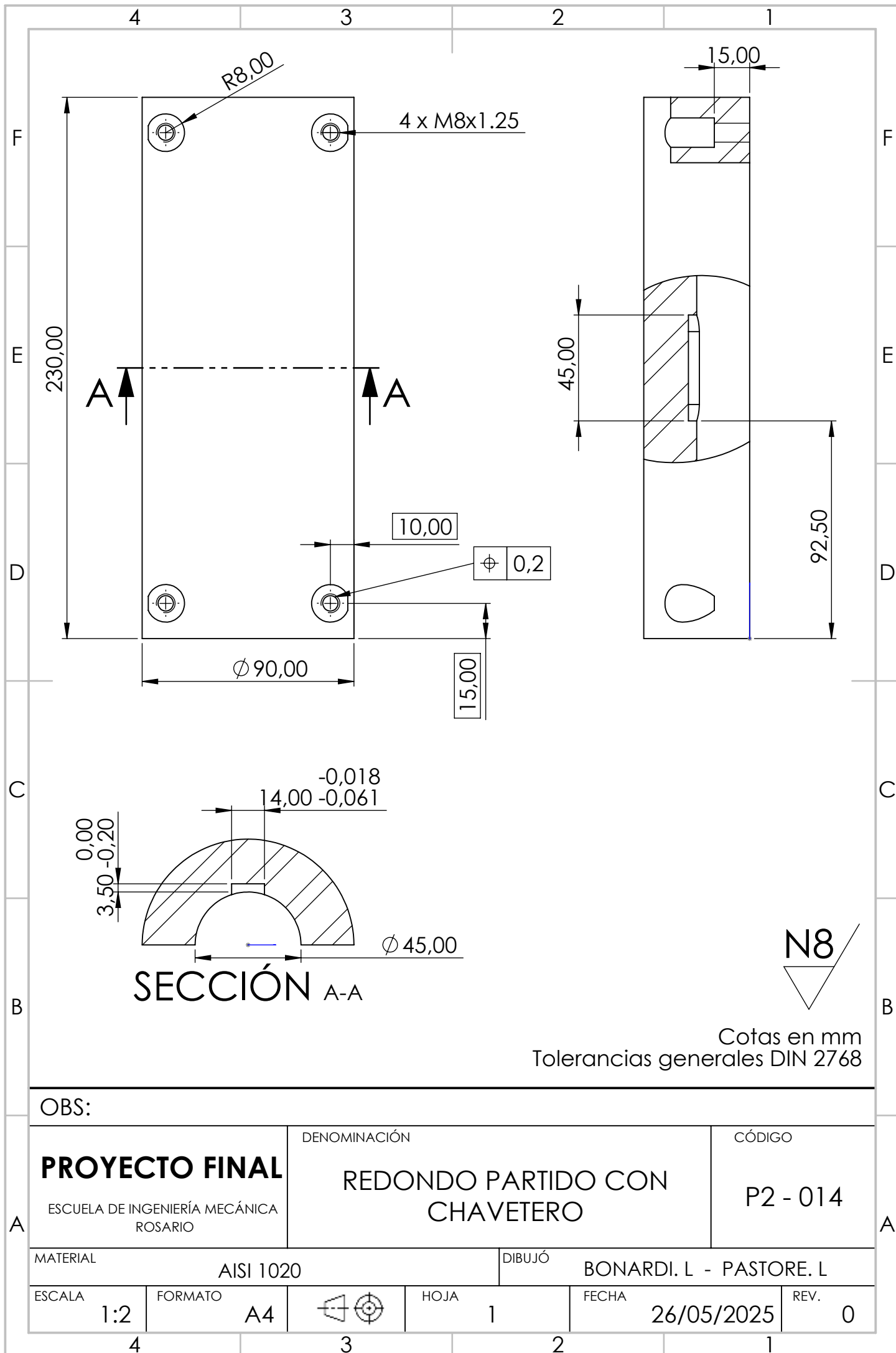


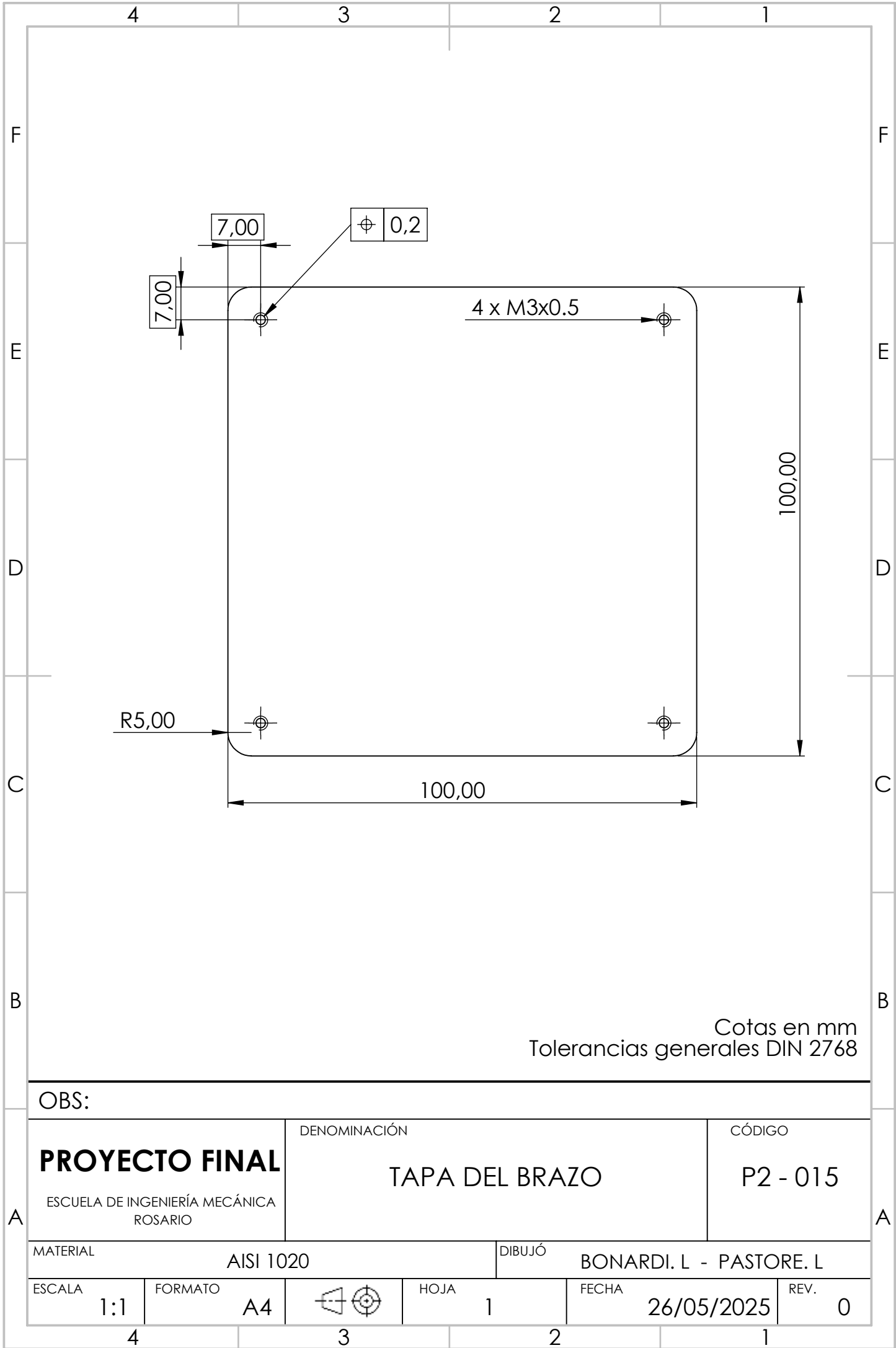




Cotas en mm
Tolerancias generales DIN 2768

OBS:			
PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN TAPA	CÓDIGO P2 - 012
MATERIAL AIS1 1020		DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L	
ESCALA 3:2	FORMATO A4	HOJA 1	FECHA 25/05/2025 REV. 0





OBS:

PROYECTO FINAL

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ROSARIO

DENOMINACIÓN

TAPA DEL BRAZO

CÓDIGO

P2 - 015

MATERIAL

AI SI 1020

DIBUJÓ

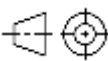
BONARDI. L - PASTORE. L

ESCALA

1:1

FORMATO

A4



HOJA

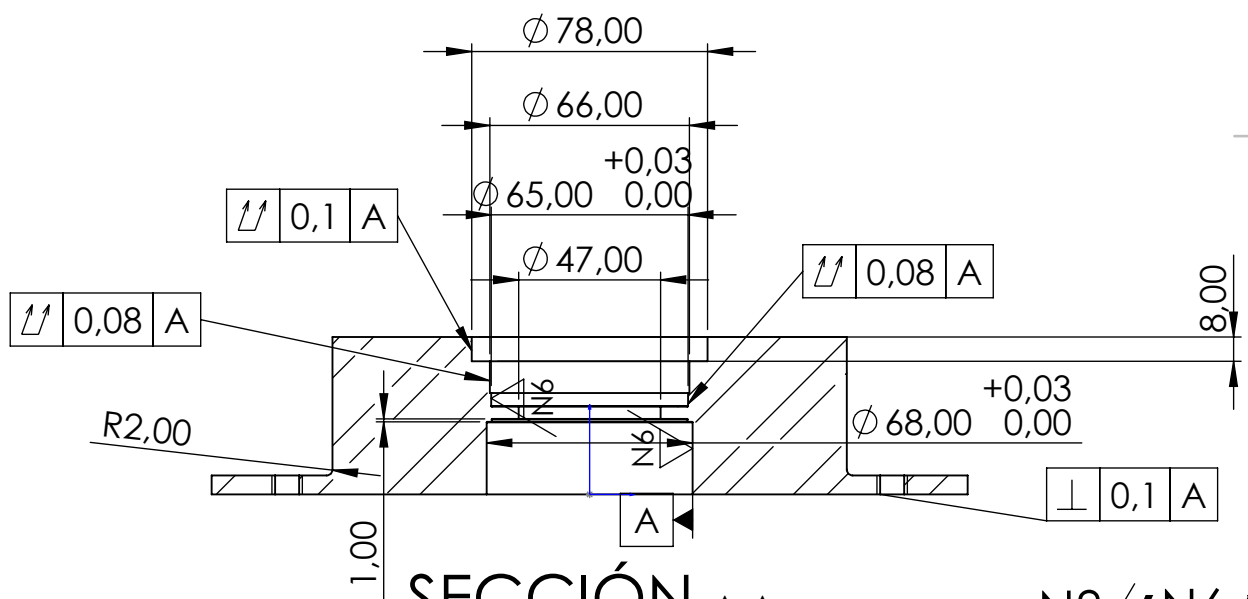
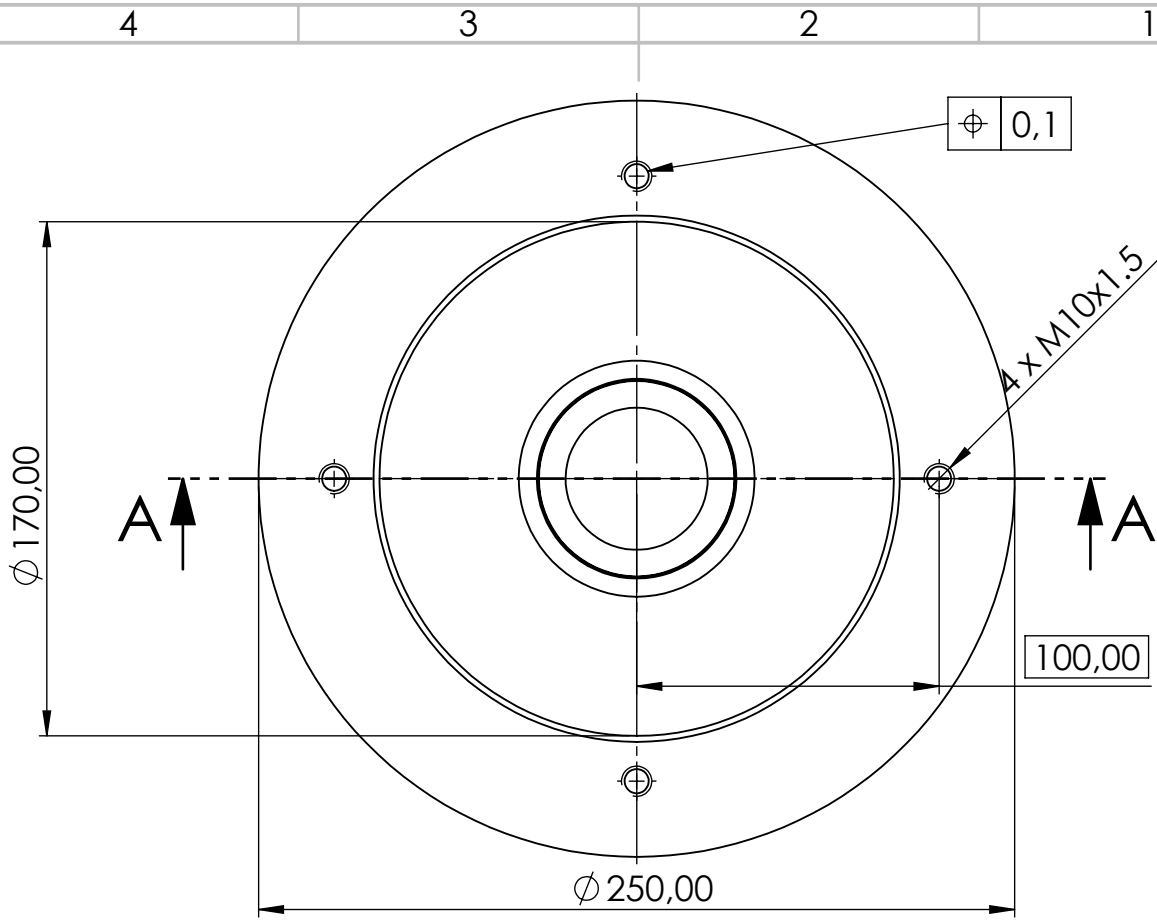
1

FECHA

26/05/2025

REV.

0



SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 5

N8 / (N6)

Cotas en mm
Tolerancias generales DIN 2768

OBS:

PROYECTO FINAL

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ROSARIO

DENOMINACIÓN

ALOJAMIENTO INFERIOR

CÓDIGO

P2 - 016

MATERIAL

ASI 1020

DIBUJÓ

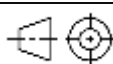
BONARDI. L - PASTORE. L

ESCALA

2:5

FORMATO

A4



HOJA

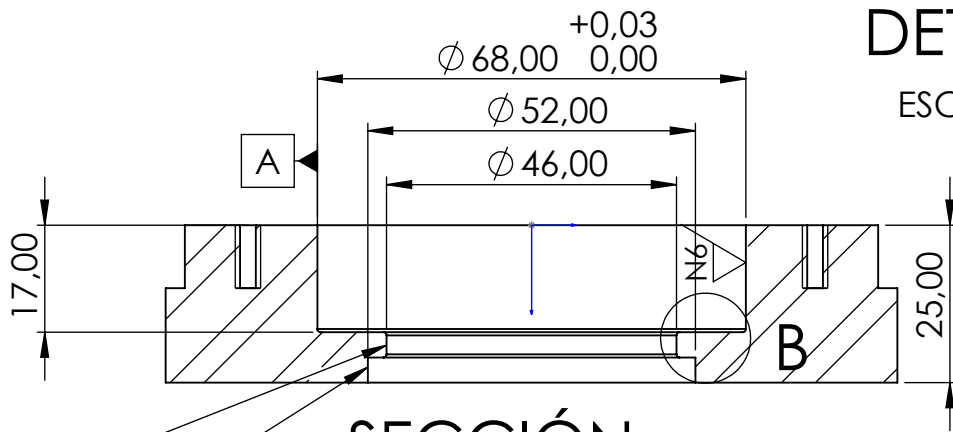
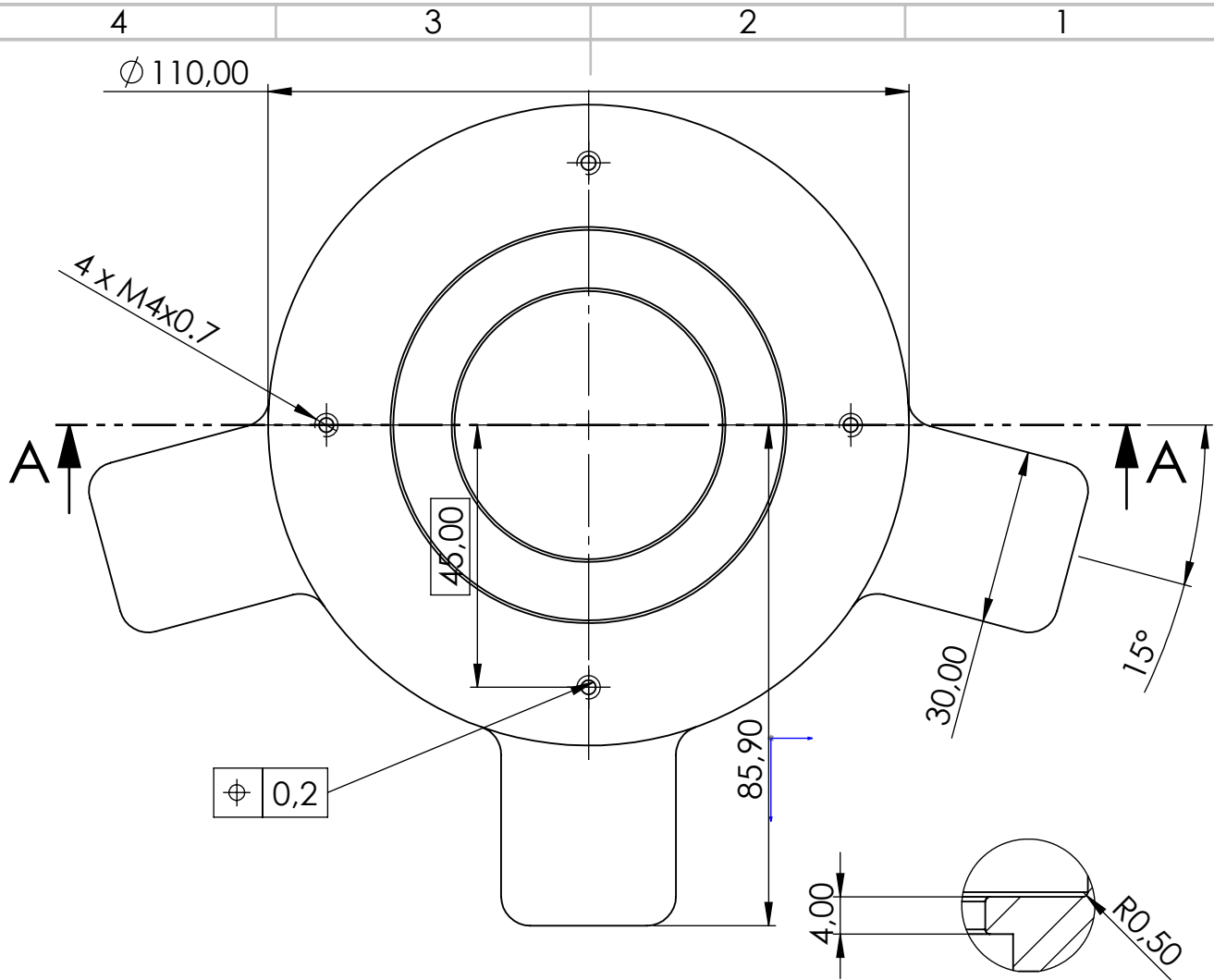
1

FECHA

27/05/2025

REV.

0

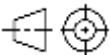


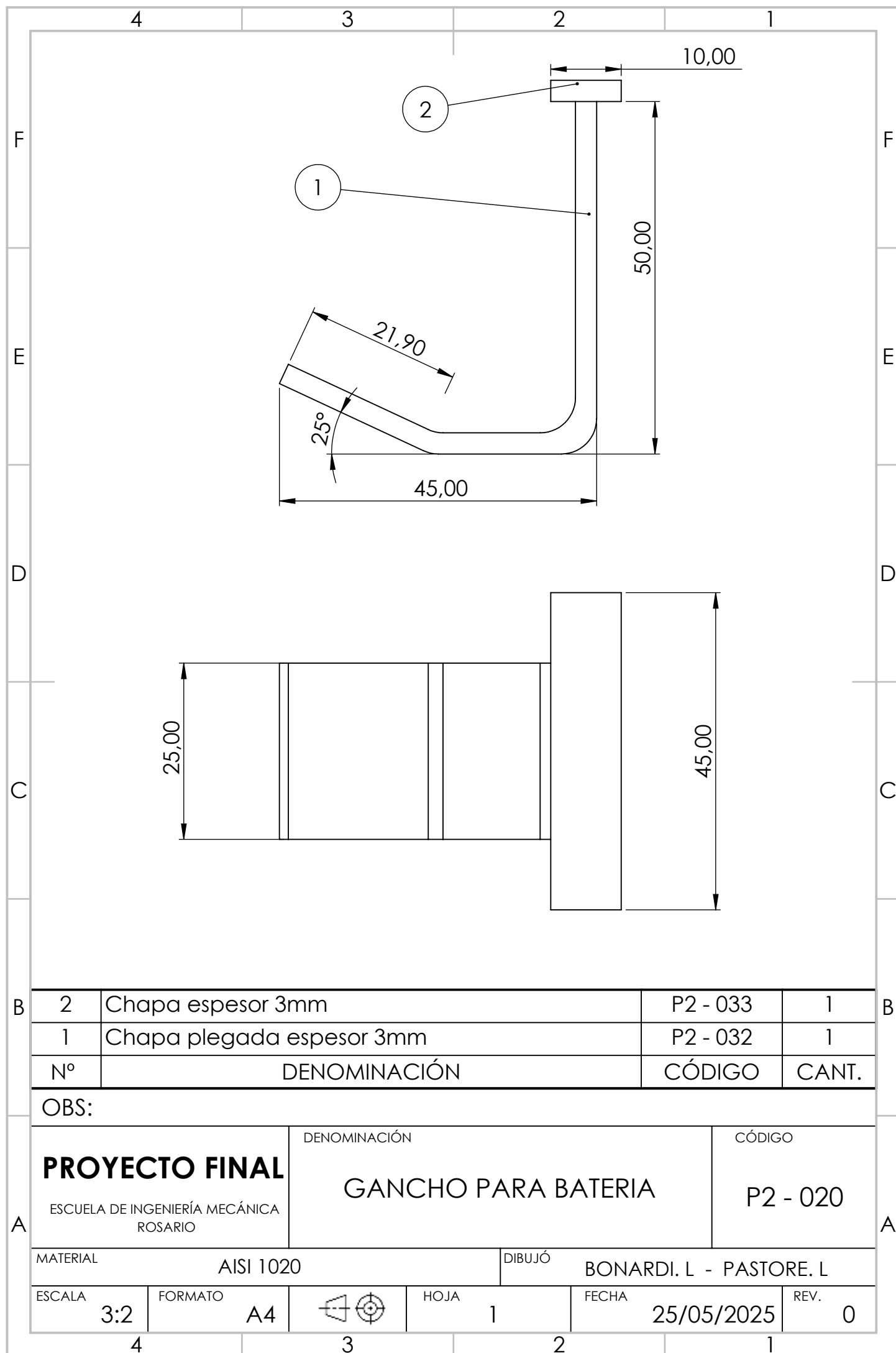
DETALLE B
ESCALA 4 : 3

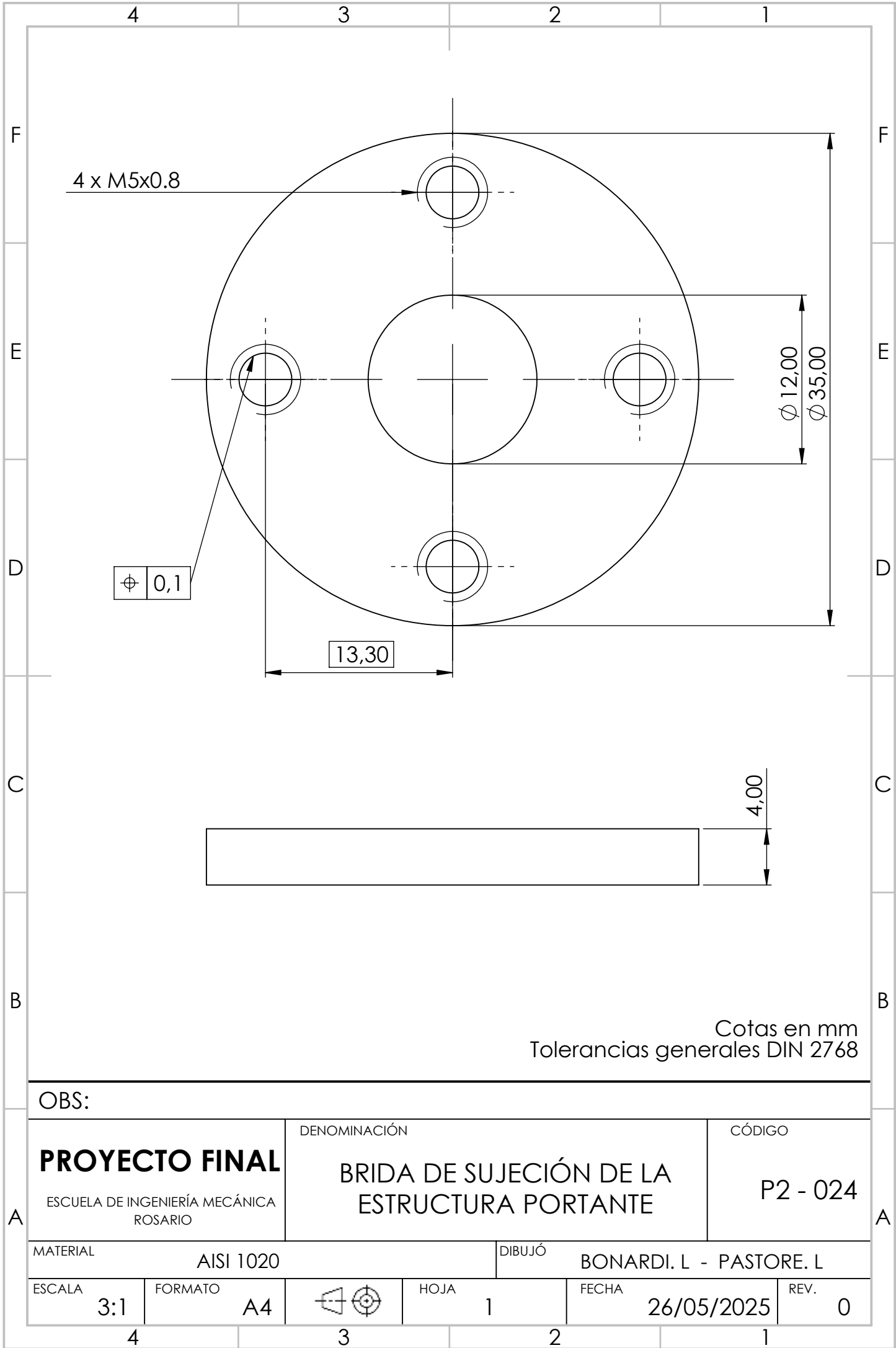
SECCIÓN A-A
ESCALA 2.5 : 3

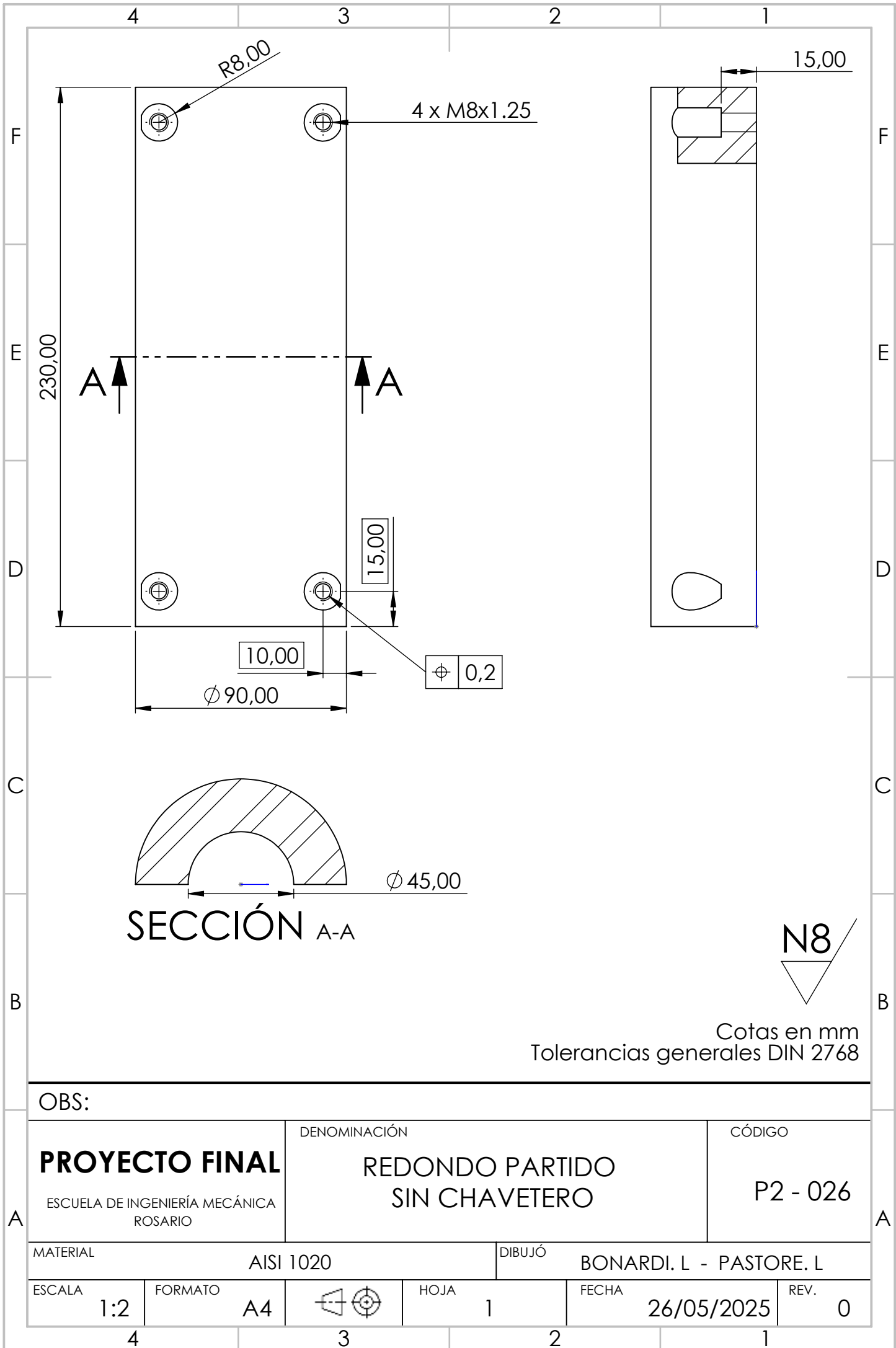
N8 / (N6 /)

Cotas en mm
Radios no acotados 5mm
Tolerancias generales DIN 2768

OBS:					
PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN ALOJAMIENTO SUPERIOR		CÓDIGO P2 - 018	
MATERIAL AISI 1020			DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L		
ESCALA 2.5:3	FORMATO A4		HOJA 1	FECHA 26/05/2025	REV. 0
4		3	2	1	







OBS:

PROYECTO FINAL

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ROSARIO

DENOMINACIÓN

**REDONDO PARTIDO
SIN CHAVETERO**

CÓDIGO

P2 - 026

MATERIAL

AISI 1020

DIBUJÓ

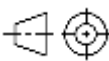
BONARDI. L - PASTORE. L

ESCALA

1:2

FORMATO

A4



HOJA

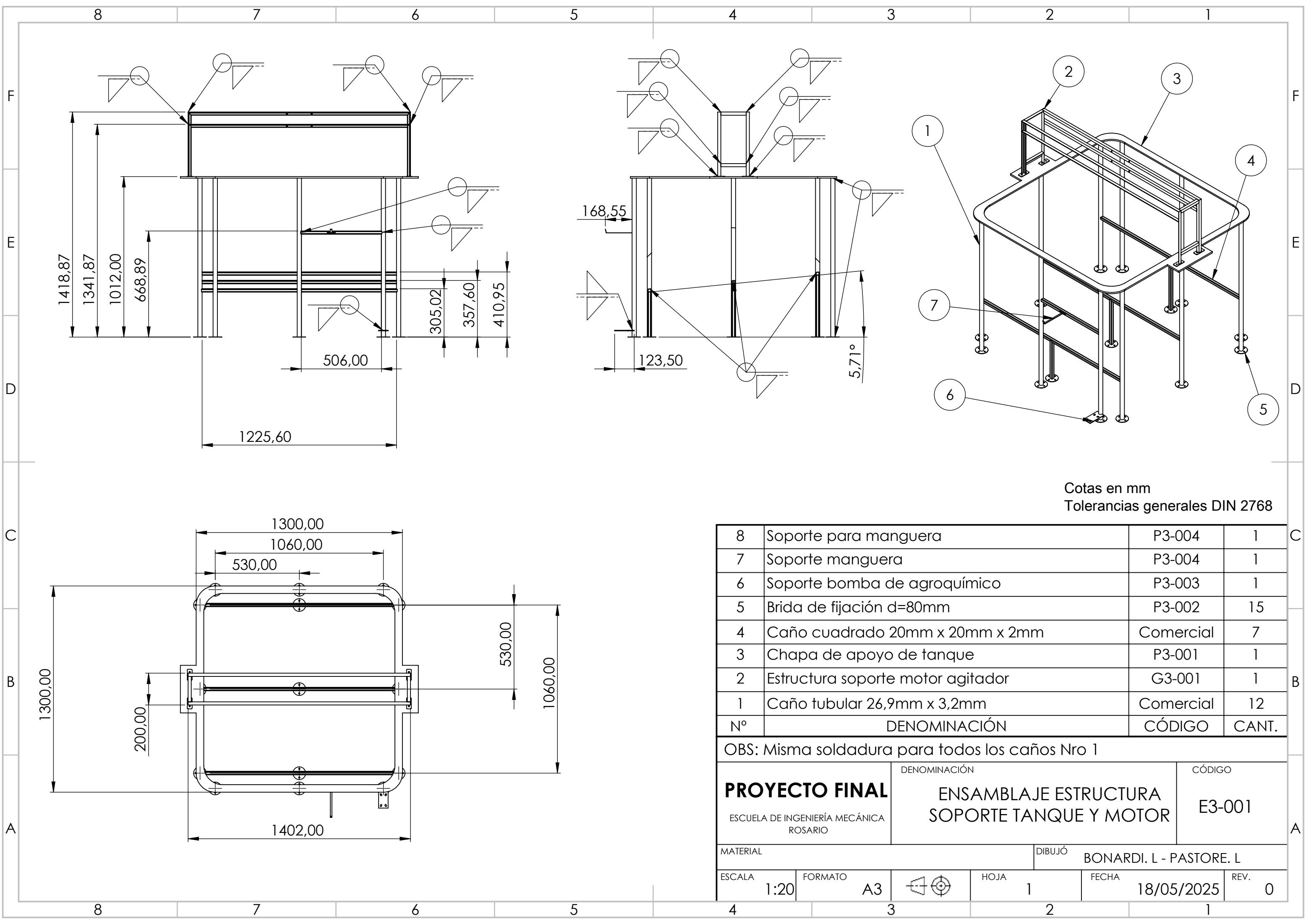
1

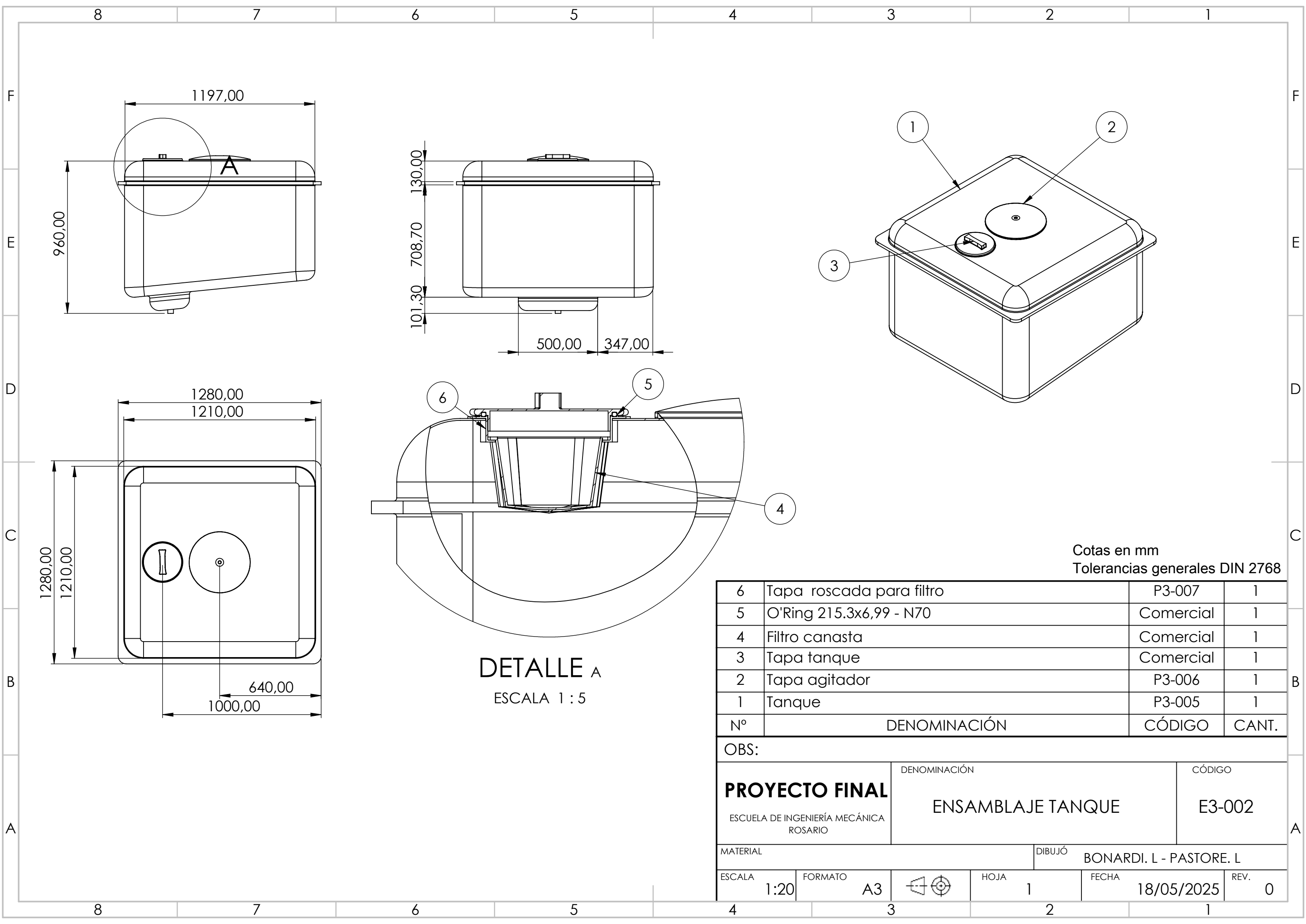
FECHA

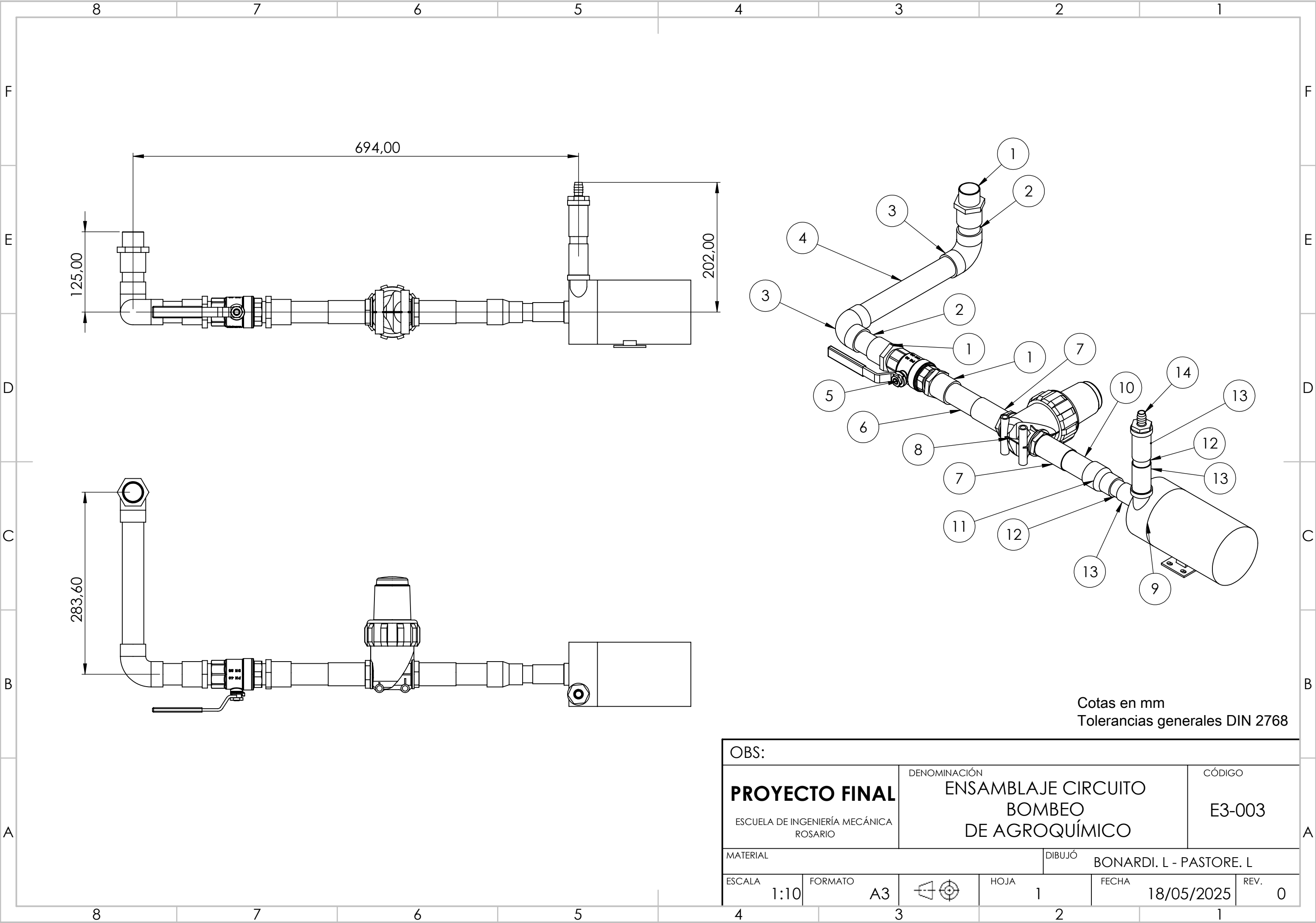
26/05/2025

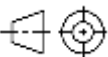
REV.

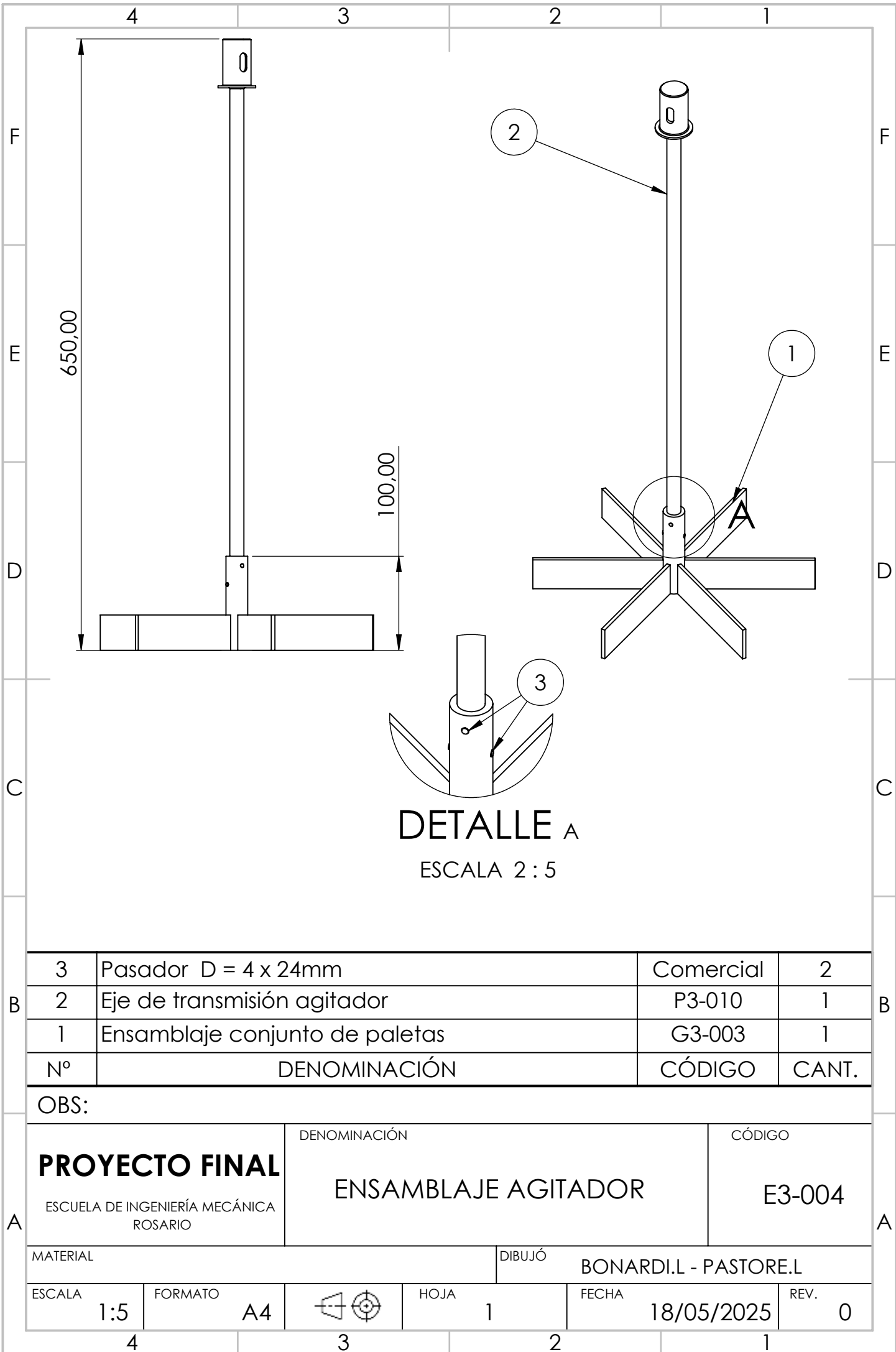
0







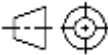
	4	3	2	1		
F					F	
E					E	
D					D	
C	14	Unión para manguera Parker 325HB-8-12N	Comercial	1	C	
	13	Acople FP PTS-020	Comercial	3		
	12	Caño UPVC CLASS E(PN 15) 3_4" L=60mm	Comercial	2		
	11	Acople FP RS-025 20	Comercial	1		
	10	Caño UPVC CLASS E (PN 15) L=100mm	Comercial	1		
	9	Bomba Qeehua MD-202	Comercial	1		
	8	Filtro Lechler S-GA4-100-53	Comercial	1		
	7	Acople FP PTS-025	Comercial	2		
	6	Caño UPVC CLASS E (PN 15) L=100mm	Comercial	1		
	5	Válvula Parker acero inoxidable doble hembra	Comercial	1		
B	4	Caño UPVC CLASS E (PN 15) L=225mm	Comercial	1	B	
	3	Codo FP EE -025T BINEPLAST	Comercial	2		
	2	Caño UPVC CLASS E (PN 15) L=60mm	Comercial	2		
	1	Unión FP VS - 25 BINEPLAST	Comercial	3		
	Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.		
OBS:						
A	PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN ENSAMBLAJE CIRCUITO BOMBEO DE AGROQUÍMICO		CÓDIGO E3-003	A
	MATERIAL		DIBUJÓ BONARDI.L - PASTORE.L			
	ESCALA 1:20	FORMATO A4		HOJA 1	FECHA 18/05/2025	
	4	3	2	1		

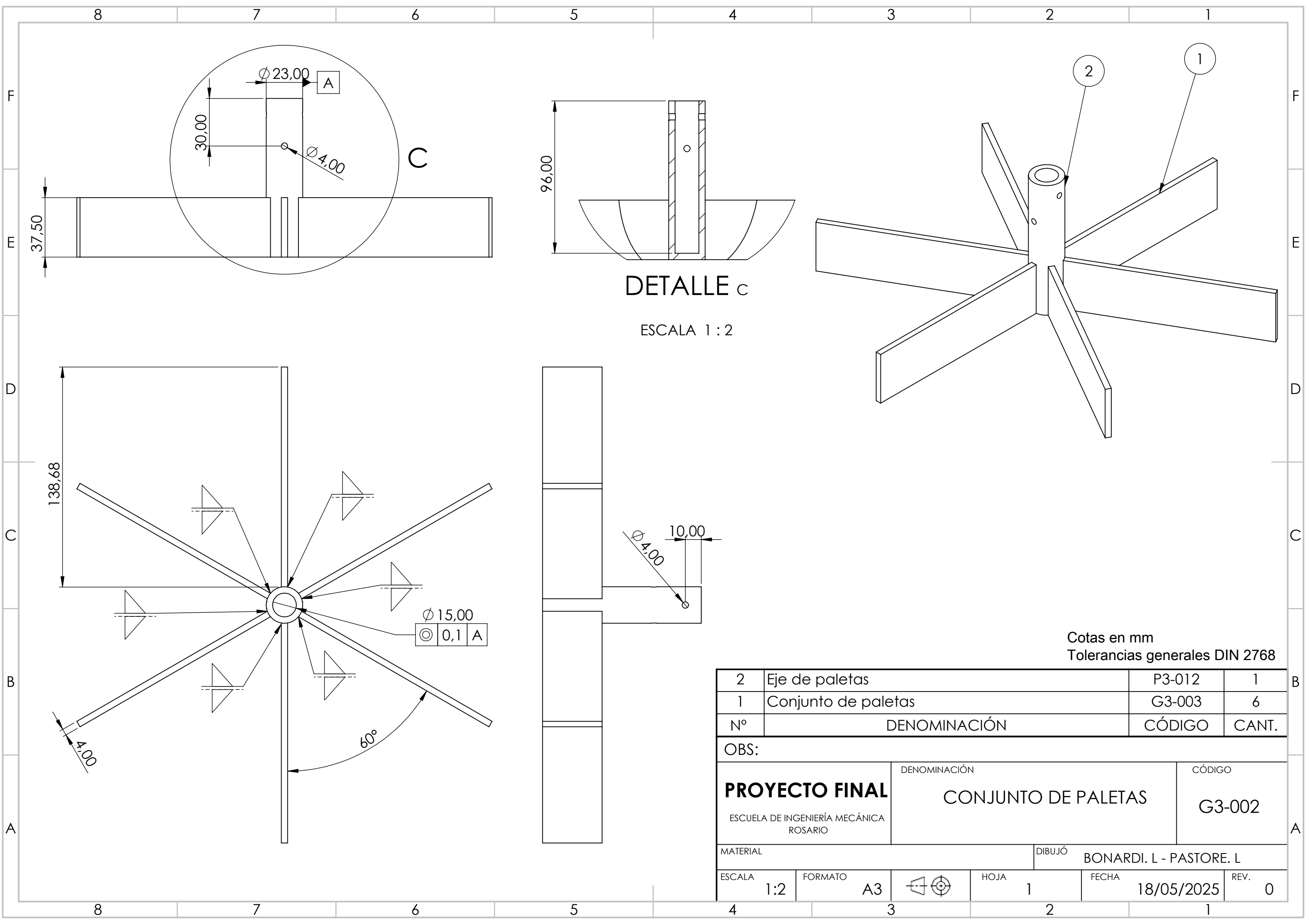


DETALLE A
ESCALA 2 : 5

3	Pasador D = 4 x 24mm	Comercial	2
2	Eje de transmisión agitador	P3-010	1
1	Ensamblaje conjunto de paletas	G3-003	1
Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.

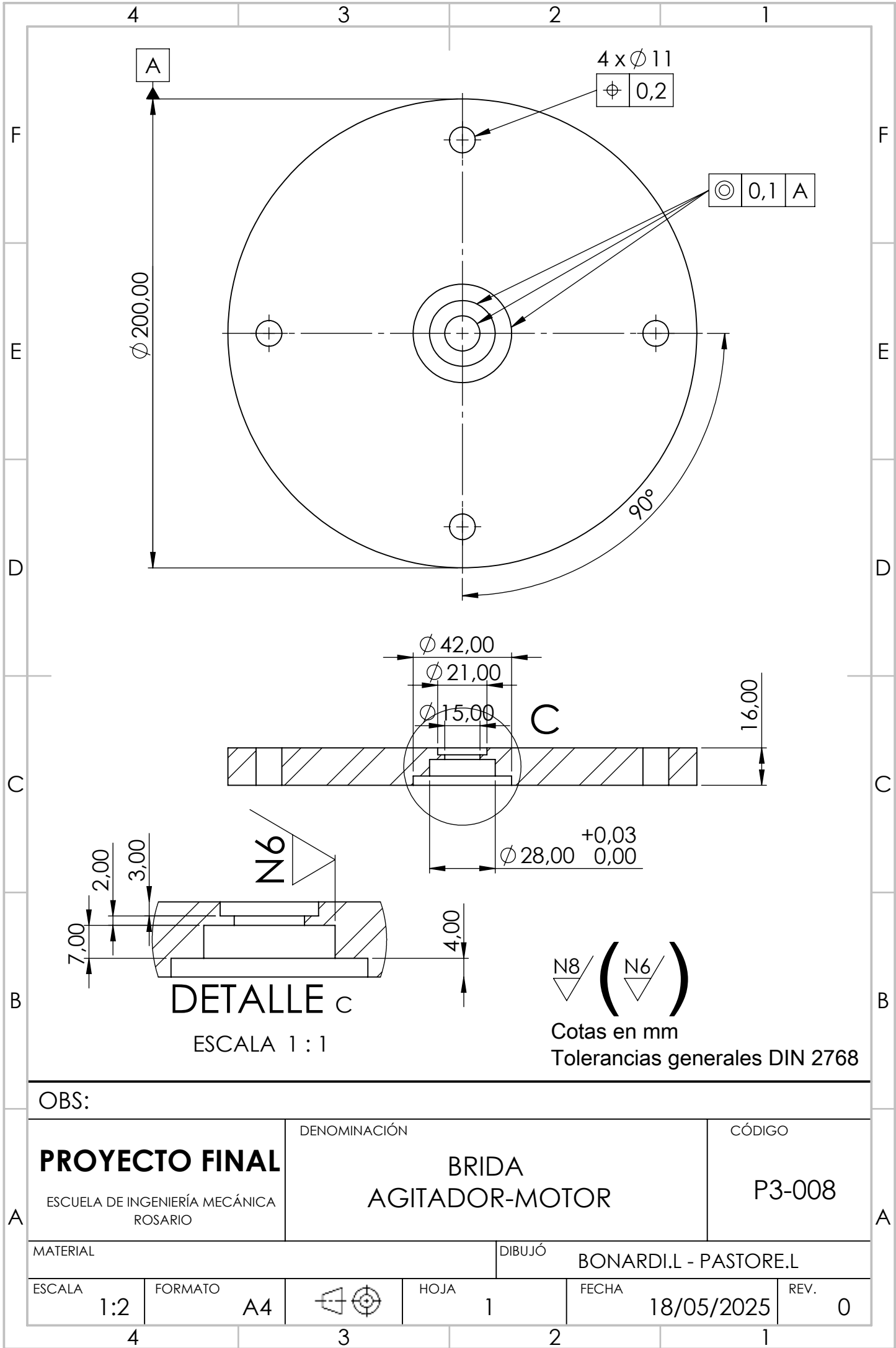
OBS:

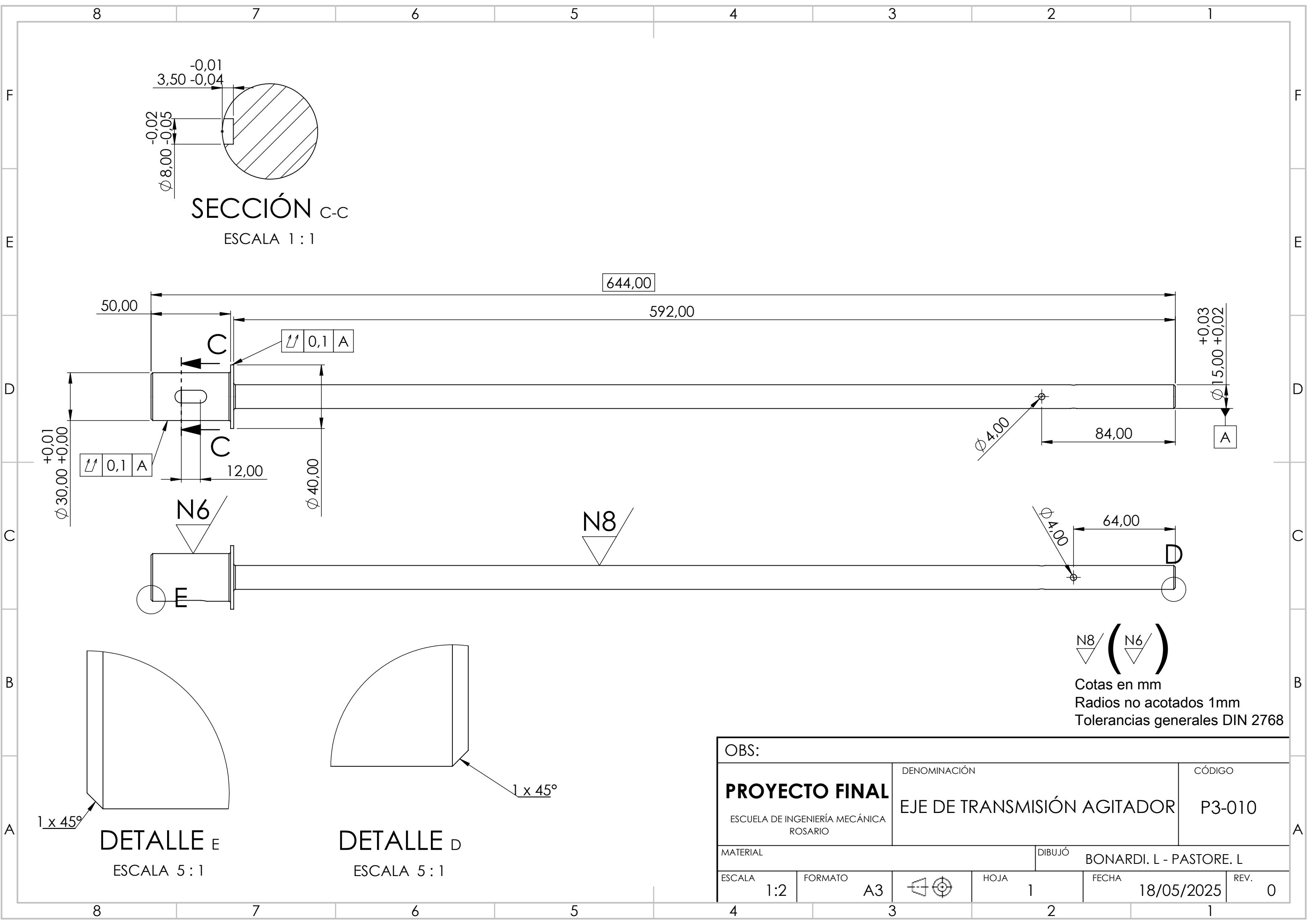
PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		DENOMINACIÓN ENSAMBLAJE AGITADOR			CÓDIGO E3-004	
MATERIAL				DIBUJÓ BONARDI.L - PASTORE.L		
ESCALA 1:5	FORMATO A4		HOJA 1	FECHA 18/05/2025	REV. 0	



Cotas en mm
Tolerancias generales DIN 2768

2	Eje de paletas	P3-012	1
1	Conjunto de paletas	G3-003	6
Nº	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANT.
OBS:			
PROYECTO FINAL		CONJUNTO DE PALETAS	
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO		G3-002	
MATERIAL		DIBUJÓ BONARDI. L - PASTORE. L	
ESCALA	FORMATO	HOJA	FECHA
1:2	A3	1	18/05/2025
		REV.	0





N8/ (N6/)
Cotas en mm
Radios no acotados 1mm
Tolerancias generales DIN 2768

OBS:									
PROYECTO FINAL ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ROSARIO			DENOMINACIÓN					CÓDIGO	
			EJE DE TRANSMISIÓN AGITADOR					P3-010	
MATERIAL						DIBUJÓ			
						BONARDI. L - PASTORE. L			
ESCALA		FORMATO			HOJA		FECHA		REV.
1:2		A3			1		18/05/2025		0

POTENCIA DE MOTOR		
Datos		
	Valor	Unidad
Peso Drone(máximo permitido para vuelo)	103	kg
Peso cinta + pista de aterrizaje	18.22	kg
Gravedad	9.81	m/s2
Velocidad mínima	0.3	m/s
Coeficiente de rozamiento cinta-metal	0.35	
Eficiencia	0.9	-
Fuerza de carga	416.2	N

Cálculos		
	Valor	Unidad
Potencia mínima	138.74	W
	0.1387	KW
	0.1860	HP
Potencia de motorreductor seleccionada	0.25	HP
Velocidad del motorreductor	96.00	RPM

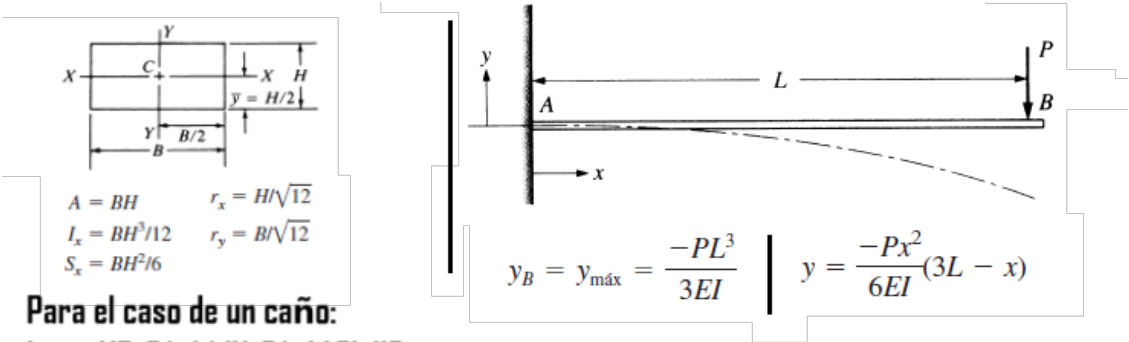
VELOCIDAD DE ROTACIÓN DE CILINDRO		
Datos		
	Valor	Unidad
Radio del cilindro	30	mm
Velocidad tangencial	300	mm/s
Velocidad angular	10.00	rad/s
	95.49	RPM
	96.00	RPM
Velocidad angular motor	675	RPM
Indice de reducción	7.1	-

Cálculos		
	Valor	Unidad
Índice de incremento/reducción	1	-
Diámetro de la polea reductor	60.00	mm

DEFLEXIÓN		
Datos		
	Valor	Unidad
Largo	1.5	m
Alto(B)	0.08	m
Ancho(H)	0.08	m
Espesor(e)	0.006	m
Módulo elástico	210000000000	N/m2
Inercia	0.000001632	m4
Peso en el extremo(bolsa + componentes varios)	735.75	N
Deflexión máxima	2.42	mm

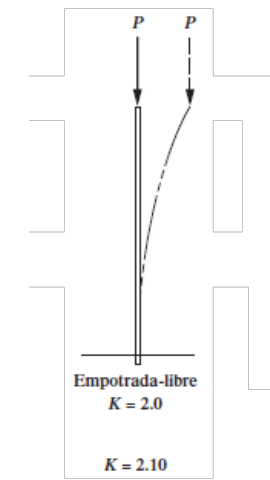
EJE MOTRIZ PRIMER BRAZO		
DATOS		
	Valor	Unidad
Masa del brazo	20	kg
Masa de ambas baterías/bolsa agroquímico	50	kg
Masas componentes extras	20	kg
Torque	1324.35	Nm
Momento flector	0	Nm
Tensión de fluencia Sy	690000000	N/m2
Designación del material	AISI 4140 OQT 1300	-
Diámetro mínimo	37.03	mm
Diámetro utilizado	45.00	mm

PANDEO(TUBO CIRCULAR)		
DATOS		
	Valor	Unidad
Longitud de la viga	2000	mm
Diámetro exterior	120	mm
Espesor caño	6.3	mm
Diámetro interior	107.4	mm
Area de la sección	0.002250354234	m2
Inercia	0.00000364764981	m4
Resistencia de fluencia	275	Mpa
Radio de giro	0.04026068181	m
Coficiente dependiente del extremo	2.1	-
Longitud efectiva	4200	mm
Relación de esbeltez	104.3201409	-
Constante de columna(Cc)	122.7744991	-
Fórmula de euler Carga crítica Pcr(si Relación esbeltez>Cc)	428581.6741	N
Factor de seguridad(N)	10	-
Carga admisible(Pa)	42858.17	N



Para el caso de un caño:
 $I_{xx} = ((B-2*e)*(H-2*e)^3)/12$

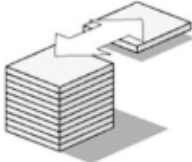
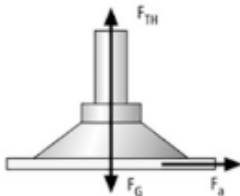
Designación del material (Número AISI)	Condición	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)	Dureza Brinell (HB)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
4140	Recocido	95	655	60	414	26	197
4140	OQT 1300	117	807	100	690	23	235
4140	OQT 1000	168	1160	152	1050	17	341
4140	OQT 700	231	1590	212	1460	13	461
4140	OQT 400	290	2000	251	1730	11	578



FUERZA DE VACIO PARA SUJETAR BOLSAS		
DATOS		
	Valor	Unidad
Masa bolsa agroquímico	50	kg
Gravedad	9.81	m/s2
Factor de seguridad	1.7	-
Aceleración instalación	5	m/s2
Coeficiente de fricción	0.6	-
Fuerza de ventosa	1542.183333	N
	157.21	kgf

VOLUMEN DE LA INSTALACIÓN		
DATOS		
	Valor	Unidad
Diámetro interior manguera conectada a la ventosa	16.2	mm
Largo	0.05	m
Volumen manguera conectada a la ventosa	0.000010	m3
Diámetro interior manguera corrugada	40.6	mm
Largo	3	m
Volumen manguera corrugada	0.00388	m3
Diámetro interior corrugado	140	mm
Largo	0.3	m
Volumen corrugado	0.00462	m3
Largo ventosas	265	mm
Ancho ventosas	157	mm
Alto ventosas	41.5	mm
Volumen ventosas	0.00173	m3
Volumen total	0.01024	m3

CAUDAL VOLUMÉTRICO		
DATOS		
	Valor	Unidad
Tiempo	2	s
	0.0005555555556	h
Volumen del sistema	0.01024	m3
Presión atmosférica	1013	mbar
Presión de vacío	200	mbar
Caudal volumétrico	498.34	L/min
	29.90	m3/h



$$F_{TH} = m \times (g + a / \mu) \times S$$

F_{TH} = Fuerza de retención teórica [N]

F_a = Fuerza de aceleración = m x a

m = Masa [kg]

g = Aceleración terrestre [9,81 m/s²]

a = Aceleración [m/s²] de la instalación (¡téngase en cuenta la situación de parada de emergencial!)

μ = Coef. de fricción

S = Factor de seguridad

The pumpdown time is calculated using the below equation, assuming the system is leak free, and the pump selected can achieve a vacuum level at least one decade lower than the required operating pressure, (i.e., $p_u < 0.1p_r$).

$$t = \frac{V}{S} \cdot \ln \frac{p_a}{p_r} = \frac{V}{S} \cdot \ln \frac{1013}{p_r}$$

(6-2)

where:

t = time [h, min, s],

V = system volume [m³, l],

S = effective pump speed [m³/h, l/min, l/s],

p_a = atmospheric or initial pressure [1013 mbar(a), etc.], and

p_r = operating pressure [mbar(a), etc.].

CAPACIDAD ESTIMADA DEL TANQUE		
DATOS		
	Valor	Unidad
Capacidad de carga del dron	40	L
Cantidad de tiempo operativo	7	min
Cantidad de hectareas trabajadas por tiempo operativo	2.5	ha
Caudal de carga del agroquímico	20	L/min
Tiempo muerto(cambio batería, recarga agroquímico, etc..)	2	min
Cantidad de hectareas trabajadas por hora de trabajo(sin tiempos muertos)	21.43	ha/hr
Cantidad de hectareas trabajadas por hora de trabajo(con tiempos muertos)	16.67	ha/hr
Ciclos de trabajo por hora(con tiempos muertos)	6.67	ciclos/hr
Ciclos de trabajo por hora(sin tiempos muertos)	8.57	ciclos/hr
Cantidad de litros por hora de trabajo(con tiempo muerto)	266.67	L
Cantidad de litros por hora de trabajo(sin tiempo muerto)	342.86	L
Jornada laboral	4	hr
Hectareas trabajadas en una jornada completa	66.67	ha
Capacidad del tanque de agroquímico para cubrir la jornada laboral	1066.67	L
	1.07	m3

DIMENSIONAMIENTO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO		
DATOS		
	Valor	Unidad
Densidad del agroquímico	1980	kg/m3
Viscosidad dinámica del caldo	0.00123	kg/ms
Caudal de la instalación	20	L/min
	0.00033	m3/s
Diámetro de las cañerías a implementar	0.0281	m
Área de cañerías	0.0006202	m2
Velocidad del fluido por la instalación	0.54	m/s
Re	24313.23	-
Presión en la superficie del líquido dentro del tanque(Patm)	101300.00	Pa
	101.30	kPa
Altura desde el nivel máximo de fluido en el tanque hasta el nivel de entrada de la bomba	1.00	m
Presión a la salida del tanque	120723.80	Pa
	120.72	kPa

Cloruro de potacio

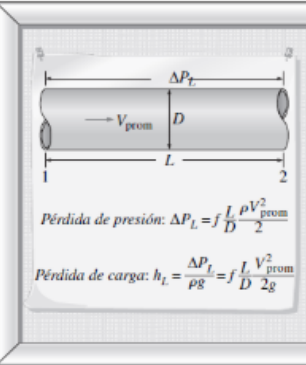
flujo turbulento

Ecuación de S.E. Haaland

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \cong -1.8 \log \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} \right]$$

FACTOR DE FRICCIÓN		
DATOS		
	Valor	Unidad
Material de la tubería	PVC	-
Rugosidad absoluta	0.003	mm
Diámetro exterior tubería	33.50	mm
Diámetro interior tubería	28.10	mm
Espesor de la tubería	2.70	mm
f(factor de fricción mediante ecuación de S.E. Haaland)	0.0247	*

PRESIÓN A LA ENTRADA DE LA BOMBA		
DATOS		
	Valor	Unidad
Metros de tubería	0.913	m
Pérdida de carga en tubería	0.012	m
Cantidad de codos en la instalación	2	-
Coeficiente de pérdidas localizadas de codos(Kl)	1	-
Pérdida de carga en codos	0.0265	m
Cantidad de uniones roscadas en la instalación	2	-
Coeficiente de pérdidas localizadas de uniones roscadas	0.08	-
Pérdida de carga en uniones roscadas	0.00236	m
Coeficiente de pérdidas localizadas - válvula globo, totalmente abierta(Kl)	10	-
Pérdida de carga en válvula globo totalmente abierta	0.147	m
Presión al ingreso de la bomba	117073	Pa
	117.07	kPa



Pérdida menor:

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$$

Válvulas

- Válvula de globo, totalmente abierta: $K_L = 10$
- Válvula de ángulo, totalmente abierta: $K_L = 5$
- Válvula de bola, totalmente abierta: $K_L = 0.05$
- Válvula de chamela: $K_L = 2$

- Válvula de compuerta, totalmente abierta: $K_L = 0.2$
- $\frac{1}{4}$ cerrada: $K_L = 0.3$
- $\frac{1}{2}$ cerrada: $K_L = 2.1$
- $\frac{3}{4}$ cerrada: $K_L = 17$

TABLA 8-4 (CONCLUSIÓN)

Codos y ramificaciones Codo suave de 90°: Embridado: $K_L = 0.3$ Roscado: $K_L = 0.9$	Codo esquinado de 90° (sin álabes directores): $K_L = 1.1$	Codo esquinado de 90° (con álabes directores): $K_L = 0.2$	Codo roscado de 45°: $K_L = 0.4$
Codo de retorno de 180°: Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 1.5$	Conexión en T (flujo deriv.): Embridado: $K_L = 1.0$ Roscado: $K_L = 2.0$	Conexión en T (flujo en línea): Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 0.9$	Unión roscada: $K_L = 0.08$

TABLA 8-2

Valores de rugosidad equivalentes para tuberías comerciales nuevas*

Material	Rugosidad ϵ	
	ft	mm
Vidrio, plástico	0 (liso)	
Concreto	0.003-0.03	0.9-9
Duela de madera	0.0016	0.5
Hule, alisado	0.000033	0.01
Tubería de cobre o latón	0.000005	0.0015
Hierro fundido	0.00085	0.26
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro forjado	0.00015	0.046
Acero inoxidable	0.000007	0.002
Acero comercial	0.00015	0.045

* La incertidumbre en estos valores puede ser hasta ±60 por ciento..

DIMENSIONAMIENTO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO		
DATOS		
	Valor	Unidad
Densidad del agroquímico	1980	kg/m3
Viscosidad dinámica del caldo	0.00123	kg/ms
Caudal de la instalación	20	L/min
	0.00033	m3/s
Diámetro de manguera a implementar	0.0125	m
Área de cañerías	0.0001227	m2
Velocidad del fluido por la instalación	2.72	m/s
Re	54656.14	-

Cloruro de potacio

flujo turbulento

FACTOR DE FRICCIÓN		
DATOS		
	Valor	Unidad
Material de la tubería	NBR	-
Rugosidad absoluta	0.004	mm
Diámetro exterior tubería	23.00	mm
Diámetro interior tubería	12.50	mm
Espesor de la tubería	5.25	mm
f(factor de fricción mediante ecuación de S.E.Haaland)	0.0213	*

Ecuación de S.E. Haaland

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \cong -1.8 \log \left[\frac{6.9}{\text{Re}} + \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} \right]$$

PRESIÓN MÍNIMA NECESARIA A SALIDA DE BOMBA		
DATOS		
	Valor	Unidad
Metros de manguera	2.144	m
Pérdida de carga en manguera	1.376	m
Altura tanque del drone	1.000	m
Presión mínima necesaria a salida de bomba	38845.472	Pa
Presión mínima necesaria a salida de bomba (metros de columna de líquido)	2.000	m
	0.300	bar

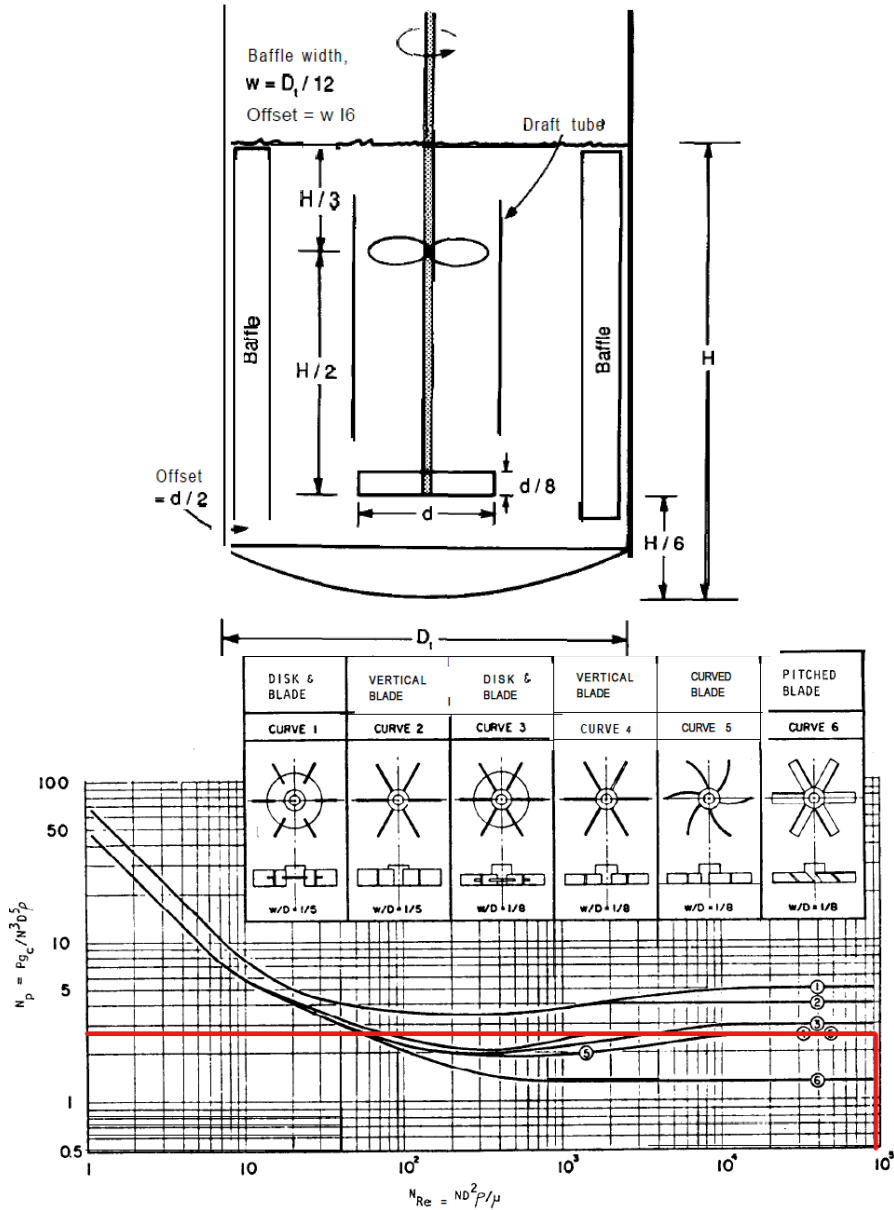
CÁLCULO DEL AGITADOR DEL TANQUE		
DATOS		
	Valor	Unidad
Densidad del agroquímico	1980	kg/m3
Viscosidad dinámica del caldo	0.00123	kg/ms
Velocidad del agitador	120	RPM
	2	rev/seg
Diámetro del tanque	1.2	m
Diámetro de la turbina	0.3	m
Número de Reynolds(Re)	289756.098	-
Numero Np AGITADOR TIPO 4	2.750	-
Potencia de cálculo(Na)	105.85	W
	0.14	HP
Rendimiento	0.900	-
Factor de servicio	1.15	-
Potencia efectiva(Ne)	0.18	HP
Indice de reducción(i)	11.67	-

Cloruro de potasio

flujo turbulento

DIÁMETRO DEL EJE DEL AGITADOR		
DATOS		
	Valor	Unidad
Factor de seguridad	2.5	-
Torque	8.423	Nmm
Tensión de fluencia(Sy)	414000000	Mpa
Diámetro mínimo(dmin)	0.008	m
	7.66	mm
Diámetro utilizado	15.00	mm

4140 recocido



Designación del material		Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)	Dureza Brinell (HB)
(Número AISI)	Condición	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
4140	Recocido	95	655	60	414	26	197
4140	OQT 1300	117	807	100	690	23	235
4140	OQT 1000	168	1160	152	1050	17	341
4140	OQT 700	231	1590	212	1460	13	461
4140	OQT 400	290	2000	251	1730	11	578

CÁLCULO DE VUELCO ESTÁTICO Y DINÁMICO		
DATOS		
	Valor	Unidad
Trocha del trailer/remolque	2276.5	mm
Altura del centro de masa	962.36	mm
ESTATICO		
Factor de estabilidad estática SRT	1.18	-
DINÁMICO		
Velocidad máxima en rutas provinciales	80.0	km/h
Radio mínimo de curva para circular a esa velocidad	42.56	m

CHAVETA ENTRE EJE MOTOR Y POLEA PARA CINTA TRANSPORTADORA			
DATOS			
Ancho chaveta	6	mm	AISI SAE 1045 LC
Alto chaveta	6	mm	
T. flu. material	315	Nmm2	
Momento torsor	12.49	Nm	
Diametro eje	20	mm	
Mult. de torque de arranque	2	-	
Long. min. compresión	1.3	mm	
Long. seleccionada	32.0	mm	

CHAVETA ENTRE MOTOR Y AGITADOR DEL TANQUE			
DATOS			
Ancho chaveta	8	mm	AISI SAE 1045 LC
Alto chaveta	7	mm	
T. flu. material	315	Nmm2	
Momento torsor	0.01	Nm	
Diametro eje	30	mm	
Mult. de torque de arranque	2	-	
Long. min. compresión	0.00051	mm	
Long. seleccionada	12.0	mm	

CHAVETA ENTRE EJE DE GIRO DEL MANIPULADOR Y EL BRAZO			
DATOS			
	Valor	Unidad	AISI SAE 1045 LC
Ancho chaveta	14	mm	
Alto chaveta	9	mm	
T. flu. material	315	Nmm2	
Momento torsor	1324.35	Nm	
Diametro eje	45	mm	
Mult. de torque de arranque	2	-	
Long. min. compresión	41.52	mm	
Long. seleccionada	45.00	mm	