

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Máquina Expendedora Modular y Automatizada de Suplementos
Farmacéuticos “Farmabot”**

**Leonardo Andrés Cornejo Coca
Nicole Tais Hermosa Capa
Sebastián Andony Insuasti Cando
Elías Ismael Romero Oñate
Franco Ariel Zamora Arias**

Ingeniería Mecánica

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniería Mecánica

Quito, 22 de diciembre de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Máquina Expendedora Modular y Automatizada de Suplementos
Farmacéuticos “Farmabot”**

**Leonardo Andrés Cornejo Coca
Nicole Tais Hermosa Capa
Sebastián Andony Insuasti Cando
Elías Ismael Romero Oñate
Franco Ariel Zamora Arias**

Nombre del profesor, Título académico

Alfredo Valarezo, Ph.D.

Quito, 22 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Leonardo Andrés Cornejo Coca

Código: 00205931

Cédula de identidad: 1722520382

Lugar y fecha: Quito, 22 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos:	Nicole Tais Hermosa Capa
Código:	00206544
Cédula de identidad:	1004449490
Lugar y fecha:	Quito, 22 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Sebastián Andony Insuasti Cando

Código: 00206546

Cédula de identidad: 1726007774

Lugar y fecha: Quito, 22 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Elías Ismael Romero Oñate

Código: 00206129

Cédula de identidad: 1727157909

Lugar y fecha: Quito, 22 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos:	Franco Ariel Zamora Arias
Código:	00205517
Cédula de identidad:	1720895448
Lugar y fecha:	Quito, 22 de diciembre de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El manejo de inventarios y los horarios de disponibilidad de suplementos médicos son una de las principales problemáticas que enfrentan centros de salud, hospitales y clínicas del país. Además, debido a la pandemia de Covid-19 se demostró que existen casos en que la necesidad del distanciamiento social en las actividades hospitalarias se maximiza con el fin de precautelar la salud de la población. Como solución, en años anteriores se realizó el diseño de una máquina expendedora con un sistema de dispensación por gravedad y un robot de dos ejes para la recolección de implementos, sin embargo, el diseño presenta varias oportunidades de mejora referentes a su portabilidad y eficiencia operacional. En el presente trabajo se elaboró el rediseño de una máquina modular expendedora de suplementos médicos (Farmabot) aplicando consideraciones de diseño y análisis mecánico, con el fin de optimizar el diseño anterior. El diseño final contempla una reducción de las dimensiones de la máquina a 1 [m] x 1.85 [m] x 1 [m], con un peso total de 393.2 [kg], 48 bandas diseñadas para soportar un peso máximo de 2.1 [kg] de producto y un rango de climatización interna de 20 [°C], que cumplen con los objetivos establecidos en la propuesta inicial. Asimismo, el diseño actual incorpora un método de movilidad mediante llantas tipo garruchas, facilitando así el transporte del dispositivo dentro de cualquier establecimiento médico. Por otra parte, el tiempo de entrega de dos productos se redujo a 49 segundos, una mejora con respecto al diseño previo (sin embargo, el objetivo original fue de 30 segundos). De igual manera, a pesar de que se logró reducir notablemente el peso de la versión anterior a 393.2 [kg], no se alcanzó el requerimiento ingenieril de 300 [kg]. Tanto el parámetro insatisfecho previo, como la no fabricación de los subsistemas de refrigeración y aislamiento propuestos en este documento, responden al limitado presupuesto. El trabajo futuro contempla la implementación de un sistema de control electrónico más preciso para complementar el componente mecánico que se encuentra dentro del alcance de este

proyecto. Además, es necesario implementar una interfaz humano-máquina que se acople a las necesidades de los establecimientos de salud. Finalmente, se sugiere buscar el financiamiento económico completo para manufacturar en su totalidad el diseño propuesto en este documento.

Palabras clave: Insumos médicos, modular, máquina expendedora, bandas transportadoras, elevador, máquina automatizada.

ABSTRACT

Inventory management and availability schedules of medical supplements are one of the main problems faced by health centers, hospitals, and clinics in the country. In addition, due to the Covid-19 pandemic, it was demonstrated that there are cases in which the need for social distancing in hospital related activities is maximized to protect the health of the population. As a solution, in previous years, the design of a vending machine for medical supplies with a gravity dispensing system and a two-axis robot for the collection of implements was conducted; however, the design presented several opportunities for improvement regarding its portability and operational efficiency. In the present work, the redesign of a modular medical supplement vending machine (Farmabot) was elaborated by applying design considerations and mechanical analysis, in order to optimize the previous design. The final design contemplates a reduction of the machine dimensions to 1 [m] x 1.85 [m] x 1 [m], with a total weight of 393.2 [kg], 48 belts designed to support a maximum weight of 2.1 [kg] of product, and an internal air conditioning range of 20 [°C], which meet the objectives established in the initial proposal. Likewise, the current design incorporates a method of mobility by means of tires, facilitating the transport of the device within any medical facility. On the other hand, the delivery time of two products was reduced to 49 seconds (target originally to 30 seconds). A significant reduction in weight from the previous version was achieved at 393.2 [kg] (the original engineering requirement of 300 [kg] was not met). The cooling and isolation subsystems are proposed in this document but were not build due to limited budget. Future work contemplates the implementation of a more precise electronic control system to complement the mechanical component that is within the scope of this project. In addition, it is necessary to implement a human-machine interface that fits the needs of the health facilities. Finally, it is suggested to seek full economic funding to fully manufacture the design proposed in this document.

Key words: Medical supplements, modular, vending machine, conveyor, elevator, automated machine.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	17
Materiales y Métodos.....	37
Resultados y discusiones.....	46
Referencias bibliográficas	67
Anexo A: Resultados del método de evaluación de soluciones.....	70
Anexo B: Gestión del Proyecto.....	72
Anexo C: Plan de manufactura.....	76
Anexo D: Análisis de ingeniería.....	79
Anexo E: Manual de operaciones y Mantenimiento	130
Anexo F: Evidencia	148
Anexo G: Código de funcionamiento de la Farmabot.....	164
Anexo H: Planos de la Farmabot	172

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evaluación del peso de cada criterio con respecto al sistema de dosificación	24
Tabla 2. Conclusiones del sistema de dosificación.....	26
Tabla 3. Evaluación del peso de cada criterio con respecto al sistema de transporte y entrega	30
Tabla 4. Conclusiones del sistema de transporte y entrega	32
Tabla 5. Diagrama de Gantt propuesto para la fabricación de la Farmabot	33
Tabla 6. Presupuesto para la construcción de la Farmabot.....	34
Tabla 7. Justificación de componentes y la selección de materiales de la parte mecánica.....	37
Tabla 8. Justificación de componentes y la selección de materiales de la parte eléctrica	38
Tabla 9. Lista de piezas del conveyor con sus respectivas tecnologías de fabricación	40
Tabla 10. Cronograma de fabricación.....	43
Tabla 11. Resumen de los análisis de los componentes críticos del Farmabot.....	53
Tabla 12. Análisis de riesgos presentes en el desarrollo del proyecto.....	60
Tabla 13. Número de éxitos y tiempo de un ciclo	62
Tabla 14. Evaluación del peso específico del sistema de dosificación de insumos médicos criterio 1: Alta confiabilidad	70
Tabla 15. Evaluación del peso específico del sistema de dosificación de insumos médicos criterio 2: Bajo precio.....	70
Tabla 16. Evaluación del peso específico del sistema de dosificación de insumos médicos criterio 3: Mayor versatilidad.....	70
Tabla 17. Evaluación del peso específico del sistema de transporte y entrega criterio 1: Alta confiabilidad.....	71
Tabla 18. Evaluación del peso específico del sistema de transporte y entrega criterio 2: Alta versatilidad	71
Tabla 19. Evaluación del peso específico del sistema de transporte y entrega criterio 3: Bajo precio.....	71
Tabla 20. Evaluación del peso específico del sistema de transporte y entrega criterio 4: Bajo tiempo de entrega	71
Tabla 21. Diagrama de Gantt propuesto al inicio del proyecto	72
Tabla 22. Tabla de costos inicial.....	72
Tabla 23. Presupuesto total para la construcción de la Farmabot.....	73
Tabla 24. Resumen de las variables divididas en suposiciones y en variables críticas	128
Tabla 25. Subsistemas presentes en la Farmabot.....	131
Tabla 26. Lista de subsistemas con sus respectivas piezas y códigos de planos	137
Tabla 27. Lista de mantenimiento de los subsistemas de la Farmabot	144
Tabla 28. Reuniones realizadas a lo largo del proyecto.....	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de dosificación por banda transportadora estilo oruga	22
Figura 2. Sistema de dosificación por banda transportadora lisa.....	22
Figura 3. Sistema de dosificación por gravedad	23
Figura 4. Sistema de dosificación por helicoides.....	23
Figura 5. Sistema de transporte y entrega por elevador.....	27
Figura 6. Sistema de transporte y entrega por la plataforma con 2 grados de libertad.....	28
Figura 7. Sistema de transporte y entrega por caída libre.....	28
Figura 8. Circuito diseñado para el funcionamiento de la Farmabot.....	38
Figura 9. Diagrama de flujo de fabricación de un conveyor.....	41
Figura 10. Hoja de proceso del eje motriz	45
Figura 11. Diagrama del eje del conveyor	46
Figura 12. Simulación estática del torque cargado por el motor y con la carga común de 2 [kg] por productos	49
Figura 13. Simulación estática de la carga que va a ejercer el motor reductor a la transmisión de los engranes	52
Figura 14. Resultados de la medición del ruido.....	64
Figura 15. Hoja de proceso del eje motriz	77
Figura 16. Hoja de proceso del eje conducido	77
Figura 17. Hoja de proceso del eje guía conducido	78
Figura 18. Diagrama de la banda transportadora	79
Figura 19. Diagrama de la distribución de engranajes- m (engrane motor) y M (engrane eje)	82
Figura 20. Diagrama de la barra que sostiene la bandeja del elevador.....	83
Figura 21. Centro de Gravedad de la Bandeja sin productos [Inventor]	84
Figura 22. Diagrama de Torque resistivo del motor paso a paso del elevador.....	85
Figura 23. Curva torque velocidad para un motor NEMA 23	87
Figura 24. Obtención de Propiedades Geométricas de la Columna del Elevador [Inventor] ..	88
Figura 25. Diagrama de fuerzas en el sistema del elevador.....	89
Figura 26. Diagrama del elevador en su posición de trabajo.....	90
Figura 27. Diagrama con valores de fuerzas y momento.....	92
Figura 28. Diagrama sección AC.....	92
Figura 29. Diagrama sección CB	93
Figura 30. Propiedades Geométricas de la sección transversal de la bandeja [Inventor]	98
Figura 31. Diagrama de fuerzas para la bandeja del elevador	99
Figura 32. Corte sección AC bandeja	100
Figura 33. Corte sección CB bandeja	101
Figura 34. Esfuerzo de Von Mises simulada en la bandeja del elevador	105
Figura 35. Deflexión simulada en la bandeja del elevador	106
Figura 36. Esquema descriptivo del cajón	106
Figura 37. Distribución de perfiles en el cajón	107
Figura 38. Diagrama de fuerzas para el cajón.....	109
Figura 39. Corte sección AC cajón	110
Figura 40. Corte sección CB cajón	111
Figura 41. Ajustes de la malla para simulación del cajón.....	115
Figura 42. Mallado, condiciones de borde y carga aplicada en el cajón	115
Figura 43. Esfuerzos de Von Mises presentes en el cajón.....	116

Figura 44. Deflexión simulada del cajón	117
Figura 45. Esquema representativo de las resistencias térmicas presentes en el sistema de refrigeración	118
Figura 46. Diagrama T – s del ciclo de refrigeración	119
Figura 47. Resultados del análisis térmico del sistema de refrigeración realizado en EES... 127	
Figura 48. R134A 220-240V/50-60Hz Lbp Refrigerator Compressor 1/16HP to 2/5HP Cooling Capacity 63W to 323W at Ashrae Conditon (Hangzhou Purswave Technology Co., s/f).....	129
Figura 49. Rango de Potencial Posible Dependiendo del Refrigerante Utilizado	129
Figura 50. Plano de ensamble de la Farmabot	132
Figura 51. Teclado del control remoto.....	133
Figura 52. Orden de enumeración de los productos dentro de la Farmabot	134
Figura 53. Plano de ensamble de la Farmabot	143
Figura 54. Cálculos de esfuerzos en el eje	149
Figura 55. Cálculos del motor de bandas	150
Figura 56. Cálculos del motor del robot	151
Figura 57. Cálculo del pandeo de las columnas del robot	152
Figura 58. Cálculos de la deflexión del cajón.....	153
Figura 59. Continuación de los cálculos de la deflexión del cajón.....	154
Figura 60. Determinación de las ecuaciones de deflexión del cajón	155
Figura 61. Boceto del sistema de tensión del conveyor.....	156
Figura 62. Boceto del eje conducido.....	156
Figura 63. Engranaje eje motriz.....	156
Figura 64. Acople engranaje - eje motriz.....	157
Figura 65. Sistema de transmisión por engranajes tipo herringbone	157
Figura 66. Sistema de transmisión por engranajes tipo recto	157
Figura 67. Sistema de tensión lateral del conveyor 1	157
Figura 68. Sistema de tensión lateral del conveyor 2	158
Figura 69. Facturas de las compras realizadas en el mes de octubre	158
Figura 70. Facturas de las compras realizadas en el mes de noviembre - Parte 1	159
Figura 71. Facturas de las compras realizadas en el mes de noviembre - Parte 2	160
Figura 72. Facturas de las compras realizadas en el mes de diciembre - Parte 1	160
Figura 73. Facturas de las compras realizadas en el mes de diciembre - Parte 2	161
Figura 74. Carpeta general del proyecto	162
Figura 75. Carpeta de diseños 3D y planos de la Farmabot.....	162
Figura 76. Carpeta de los textos realizados a lo largo del proyecto	163
Figura 77. Carpeta de las facturas de los gastos del proyecto	163

INTRODUCCIÓN

Las máquinas expendedoras son herramientas que permiten la adquisición de objetos a personas sin la necesidad de la interacción con un intermediario. Estas máquinas son utilizadas en diferentes campos como bebidas, comida, suplementos farmacéuticos, etc. La pandemia generada por el virus Covid-19 demostró que pueden existir momentos en los que será necesario el distanciamiento social con el fin de reducir la propagación de un virus. Los vendedores de las farmacéuticas son las personas más vulnerables a estar expuestos a un patógeno de riesgo. Es por eso que en la pandemia se promovió el uso de máquinas expendedoras de medicina con el fin de reducir el número de contagiados y el tiempo de duración de la pandemia (Jankovic et al., 2020). En la actualidad, las máquinas expendedoras industriales se las relaciona con el beneficio de una mejor organización en la gestión del inventario. Además, se las caracteriza por mejorar la relación entre comprador-proveedor en el sector sanitario (Kros et al., 2019). Sistemas verticales de organización para dispensar productos se han desarrollado desde empresas como Coca Cola Company (Rudick et al., 2001), sin embargo, estos no cuentan con divisiones horizontales, lo cual limita la cantidad de productos posibles. De igual manera, sistemas de autorización con distintos niveles de acceso aplicados a máquinas dispensadoras se han incluido en iniciativas como la expuesta en la patente de Amir Dabiri (Dabiri, 2019). Dichas publicaciones permiten comprender el alcance, uso y versatilidad de las máquinas expendedoras.

Las máquinas expendedoras se utilizan actualmente en el campo médico con el fin de mejorar la eficiencia, seguridad y calidad sanitaria de los suplementos y fármacos como jeringas, guantes, medicamentos comunes, etc., (Otiashvili et al., 2022). Estas máquinas son implementadas en lugares alejados en los que no se encuentran farmacias como una opción de acceso rápido (Penna et al., 2017). Las máquinas expendedoras de medicina representan una

fácil comunicación e interpretación con personal médico para la búsqueda y adquisición de fármacos. Además, se las caracteriza por poseer un módulo de seguridad y control por parte de instituciones que poseen la información previa sobre el control de posibles enfermedades o padecimientos por mal uso de dichos implementos (Penna et al., 2017). Adicionalmente existen varios proyectos que ya muestran el desarrollo de sistemas para dispensar medicamentos, como la publicación “Pharmacy robotic dispensing and planogram analysis using association rule mining prescription data” en la cual se plantea la creación de un sistema de entrega de medicamentos con el que se busca reducir las tareas repetitivas y al mismo tiempo mejorar la calidad de la atención hacia los pacientes (Khader et al., 2016). De igual manera se encarga de la administración de datos por medio de la minería de datos con lo cual se llevan registros más precisos sobre la distribución de estos (Khader et al., 2016).

En Ecuador en los tiempos que corren se han experimentado diversas crisis enfocadas al abastecimiento de fármacos y equipos médicos, de los cuales, diversos factores socio – económicos han influenciado. Esto ha hecho que se presenten diversas propuestas por parte del Ministerio de Salud Pública del Ecuador que se concentran en la compra de suplementos médico (Ministerio de Salud Pública, 2022) s. Sin embargo, una de dichas propuestas se centra en la tercerización de la compra de fármacos en farmacias particulares, lo cual, para una máquina expendedora concentrada en medicinas y suplementos pueden aliviar el proceso de obtención del servicio médico, así agilizando el proceso de abastecimiento entre público – privado. Estos sistemas automatizados adquieren importancia en la reducción de errores humanos debido a que impactan directamente al cuidado de pacientes y pueden causar 1 de cada 131 muertes de pacientes afuera del ámbito hospitalario y de 1 a 854 dentro de los hospitales. Además, existen estudios en los que se evalúan a 808 pacientes y 2087

medicamentos, obteniendo resultados que demuestran una reducción de error del 64.7% y, de esa manera, ahorrando €4.5 miles de millones (Bagattini et al., 2022).

El objetivo del proyecto es rediseñar una máquina expendedora de insumos médicos mediante la aplicación de los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecánica para optimizar el funcionamiento de una versión anterior de la Farmabot con el fin de ser utilizada en un futuro en SIME. El proyecto abarca el diseño del mecanismo, el sistema de control electrónico y el diseño exterior de la máquina expendedora. Con unas dimensiones aproximadas de 1 [m] x 1.85 [m] x 1 [m] y un peso de la maquina completa de 300 [kg]. Teniendo como objetivos cuantitativos de tiempos de entrega menores a 30 [segundos], funcionando a 110 [V] las 24 horas al día, con ruido del orden de 40 [dB] y un rango de climatización de 20 [°C]. La máquina expendedora permite mucha versatilidad para los productos que puede dispensar, pudiendo dispensar desde productos pequeños y frágiles como frascos de medicina hasta productos más grandes y pesados como kits completos de primeros auxilios, teniendo cuidado que la carga sobre cada banda no supere el peso máximo de aproximadamente 2.1 [kg]. En lo referente a pastillas, el enfoque del proyecto no es diseñar una máquina dispensadora de píldoras como muchos diseños utilizados en esta industria, sino más bien dispensar blíster o cajas de pastillas. Para optimizar el reabastecimiento de productos se cuenta con una interfaz para manipular los productos a dispensar y los pisos consisten en cajones deslizables que pueden recorrer para facilitar la labor de colocar los productos al operador. Una característica importante del proyecto es su replicabilidad, por lo que se utiliza materiales y productos de fácil acceso en el territorio ecuatoriano. Además, se elaborará un manual de operación con el objetivo de resolver dudas de su uso y configuración. Se espera que el diseño final de la máquina expendedora ayude a maximizar el rendimiento del equipo al cumplir con los criterios de mejora como tamaño, peso y velocidad de funcionamiento con

respecto al modelo anterior, convirtiéndose en una herramienta importante para reducir los problemas de manejo de inventario en los centros de salud. Adicionalmente puede contar con la opción de poder implementar a futuro sistemas complementarios como los de refrigeración y control de inventario.

En este informe se podrá encontrar las consideraciones y requisitos de diseño del producto, las opciones de diseño discutidas para los distintos sistemas, los cálculos mecánicos requeridos, las simulaciones de esfuerzos de la estructura, los planos de los distintos subsistemas y de ensamble, el proceso de manufactura seguido, un análisis del desempeño del producto, conclusiones y sugerencias de mejora. Al final del informe se adjunta el manual del usuario que detallará cómo operar el sistema y sugerencias de mantenimiento de este. No forman parte de este informe el diseño del circuito eléctrico y de control ni el diseño de la interfaz con el usuario.

Alternativas de diseño y selección

Se propuso diferentes diseños para el sistema de dosificación y el sistema de transporte y entrega. Para la elección del sistema más eficaz, del “Método de evaluación de soluciones”, se aplicó el “Método ordinal corregido de criterios ponderados”. En este método se deben proponer las alternativas para la solución del problema y definir los criterios que se utilizarán para evaluar dichas alternativas. En una tabla, cada criterio (o la solución para un criterio determinado-columnas) se compara con los otros criterios (o soluciones-filas), asignando los siguientes valores (Riva, 2002):

- Se asigna 1 si el criterio/solución de la fila es de mayor importancia ($>$) que el de las columnas.
- Se asigna 0.5 si el criterio/solución de la fila es de igual importancia ($=$) al de las columnas.

- Se asigna 0 si el criterio/solución de la fila es de menor importancia ($<$) que el de las columnas.

Después, se suman los valores establecidos, para cada criterio/solución, respecto a los criterios/soluciones restantes. Se añade una unidad y en la otra columna se calculan los valores ponderados de cada criterio/solución. La evaluación final se calcula como la suma de los productos de cada peso específico de las soluciones respecto a sus criterios (Riva, 2002). Se presentan una serie de soluciones a los sistemas mencionados junto con sus correspondientes criterios.

A. Sistema de dosificación

El problema que presenta el anterior diseño de la Farmabot es que su sistema de dosificación funciona por medio de barras de aluminio inclinadas en las que los productos se deslizan por efecto de la gravedad, generando el riesgo de atascamiento. Para solucionar este problema, se presentaron cuatro alternativas:

- **Alternativa de solución A (Banda transportadora estilo oruga):** Con este método se pretende proporcionar movimiento lineal al producto con dirección al frente para que pueda ser recibido de manera más suave por el elevador. Por medio de las elevaciones con las que cuentan las bandas se busca implementar divisiones para asegurar la caída de un solo producto y proporcionar una superficie de agarre para que avancen y no se deslicen los productos. En la siguiente figura se puede observar el sistema de dosificación por banda transportadora estilo oruga.

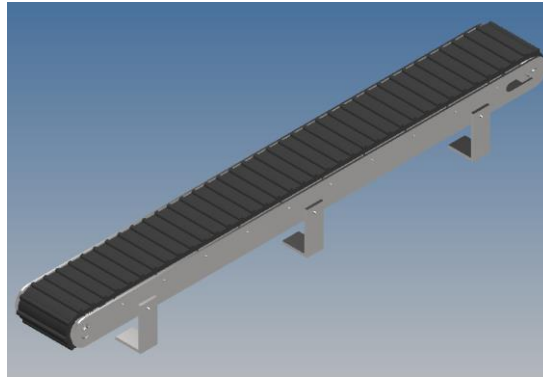


Figura 1. Sistema de dosificación por banda transportadora estilo oruga

- **Alternativa de solución B (Banda transportadora lisa):** Sigue los mismos principios de funcionamiento que la opción de bandas tipo oruga, sin embargo, esta requiere de la ubicación individual de los productos por parte del operador encargado siendo el mismo quien decide el espacio entre cada producto. En la figura 2 se puede observar el sistema de dosificación por banda transportadora lisa.

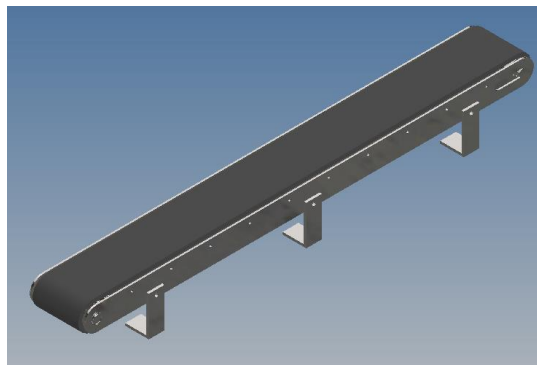


Figura 2. Sistema de dosificación por banda transportadora lisa

- **Alternativa de solución C (Gravedad):** La base de este sistema es garantizar la llegada del producto hasta el elevador aprovechando el efecto de la gravedad por medio del uso de perfiles que se instalan con cierto grado de inclinación que aseguran el movimiento hacia abajo. Sin embargo, este sistema requiere de un sistema adicional con el cual se pueda parar los productos en la parte frontal de la guía para que no se caigan. El sistema de gravedad se puede observar en la siguiente figura:

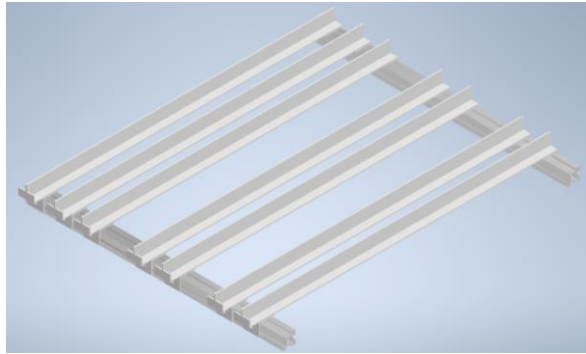


Figura 3. Sistema de dosificación por gravedad

- **Alternativa de Solución D (Helicoide):** Este es uno de los sistemas más usados en máquinas expendedoras y consiste en mover los elementos por medio de un sistema de helicoides que giran y mueven el producto hacia adelante pasando por cada una de sus hélices. En la siguiente figura se puede observar el sistema por helicoides.

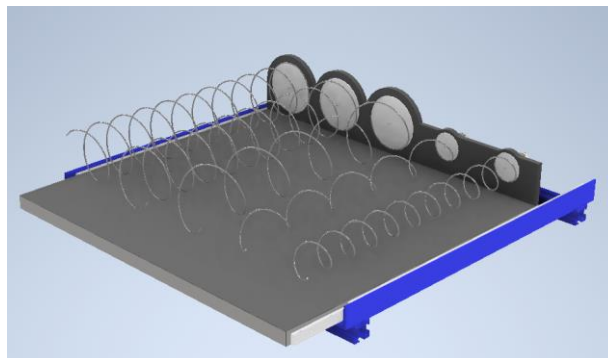


Figura 4. Sistema de dosificación por helicoides

Los criterios que se establecieron para evaluar las alternativas son:

- **Confiabilidad:** Para este parámetro se tuvo en cuenta la certidumbre de que se cumpla el ciclo de entrega en el transporte de productos, por lo cual en otras palabras este criterio mide que tan bien se cumple el trabajo de la transportación de los productos de donde se almacena al sistema de entrega.
- **Precio moderado:** Este criterio mide la importancia relacionada al costo monetario que la máquina tendrá por los equipos y materiales integrados con respecto a la solución a ponderar.

- **Versatilidad para mover productos:** En este apartado se mide la necesidad cubierta por la solución que permita dispensar productos de dimensiones más variadas sin tener que realizar adecuaciones.

A continuación, se presenta la evaluación de cada criterio considerando el razonamiento que se describe a continuación para cada punto.

1. Evaluación del peso de cada criterio

Se evaluó la importancia de cada criterio y se concluyó que el más relevante es la confiabilidad, pues sin una operación perfecta cada vez que sea utilizada, la Farmabot no es comercializable. Además, se decidió establecer la misma importancia al precio y a la versatilidad debido a que es necesario un equilibrio entre la capacidad de entregar varios productos y el precio que significa incrementar esta característica, por lo cual se busca una solución que optimice estos dos parámetros. (confiabilidad > versatilidad = precio). En la siguiente tabla se puede observar la evaluación.

Tabla 1. Evaluación del peso de cada criterio con respecto al sistema de dosificación

CRITERIO	Confiabilidad	Precio	Versatilidad	Suma+1	Ponderado del Criterio
Confiabilidad		1	1	3	0.50
Precio	0		0.5	1.5	0.25
Versatilidad	0	0.5		1.5	0.25
				6	1

2. Evaluación del peso específico del sistema de dosificación de insumos médicos

criterio 1: Alta confiabilidad

Para evaluar el sistema de dosificación en base a la confiabilidad tenemos que las bandas transportadoras lisas son la alternativa más confiable ya que movilizan eficazmente el producto, presentando la menor cantidad de posibles imprevistos en la orientación y posición de los productos. A continuación, con la misma puntuación,

tenemos las bandas tipo oruga y los tornillos helicoidales, porque se sabe que los sistemas de helicoides sufren de problemas como atascamientos y las bandas tipo oruga requieren una posición muy específica entre los relieves para movilizar adecuadamente los productos. Por último, se tiene a la solución de organización por gravedad donde los productos pueden nunca llegar al siguiente sistema por fricción entre productos y el mismo sistema. El orden de peso de las soluciones se puede representar de la siguiente manera (solución B > solución D = solución A > solución C). (Referencia de matriz de decisión Anexo A.1).

3. Evaluación del peso específico del sistema de dosificación de insumos médicos
criterio 2: Bajo precio

Para la evaluación de precios tenemos que la solución seleccionada es la de la organización por gravedad. En esta solución se tiene un arreglo de perfiles estructurales para sostener productos de todo tipo. Como siguiente opción se consideran a los helicoides por su relativa simplicidad la cual consta de un alambre en forma de resorte, una placa divisora y un pequeño motor. Después se tendrían las bandas lisas y estilo oruga con la diferencia de la forma de la banda la cual encárese al estilo de oruga (solución C > solución D > solución B > solución A) (Referencia de matriz de decisión Anexo A.1).

4. Evaluación del peso específico del sistema de dosificación de insumos médicos
criterio 3: Mayor versatilidad

En esta evaluación se tiene dos soluciones que permiten la mayor diversidad de productos. Dichas soluciones son con bandas, pues tanto la banda lisa y estilo oruga solo requieren de una superficie capaz de sostenerse en la banda. Después de las bandas tenemos a la solución de organización por gravedad, ya que esta al igual que

la primera solución no tiene requerimientos especiales excepto caber en los perfiles estructurales, pero por el hecho de que el requerimiento es dimensional puede ser menos amigable con mucha variedad de productos no considerados. Por último, se tiene a la solución de los helicoides que es la menos versátil por su necesidad de cambiar los helicoides dependiendo del material dispensado (solución A = solución B > solución C > solución D) (Referencia de matriz de decisión Anexo A.1).

Conclusión:

Después de realizar el análisis respectivo y las matrices de selección se concluyó que el sistema que mejor se acopla a lo requerido y el de mayor prioridad es el de bandas lisas, seguido en prioridad por el sistema de bandas tipo oruga, luego el de helicoides y finalmente el de gravedad. En la siguiente tabla se puede observar los resultados del análisis y la prioridad de cada solución propuesta.

Tabla 2. Conclusiones del sistema de dosificación

CRITERIO	Ponderado del Criterio 1	Ponderado Calificación Criterio 1: CONFIABILIDAD	Producto	Ponderado del Criterio 2	Ponderado Calificación Criterio 2: PRECIO	Producto	Ponderado del Criterio 3	Ponderado Calificación Criterio 3: VERSATILIDAD	Producto	SUMA DE LOS PRODUCTOS	PRIORIDAD
Solución A	0.5	0.25	0.200	0.25	0.10	0.025	0.25	0.35	0.088	0.24	2
Solución B	0.5	0.40	0.125	0.25	0.20	0.050	0.25	0.35	0.088	0.34	1
Solución C	0.5	0.10	0.050	0.25	0.40	0.100	0.25	0.20	0.050	0.20	4
Solución D	0.5	0.25	0.125	0.25	0.30	0.075	0.25	0.10	0.025	0.23	3

B. Sistema de transporte y entrega

El problema que presentaba el anterior diseño de la Farmabot era que su sistema de transporte y entrega era por medio de una plataforma con dos grados de libertad, generando altos tiempos de espera en la entrega del insumo médico. Para solucionar este problema, se presentaron tres alternativas:

- **Alternativa de solución A (Elevador):** Este sistema consiste en un robot unidimensional que utiliza un sistema de bandas para trasladarse verticalmente hasta llegar al nivel deseado. Requiere un solo actuador y control de posición de un eje. Puede recoger múltiples productos a la vez por niveles. En la siguiente figura se puede observar el sistema con elevador.

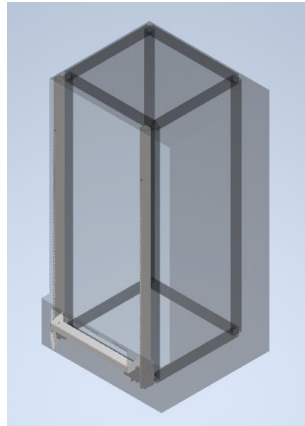


Figura 5. Sistema de transporte y entrega por elevador

- **Alternativa de solución B (Plataforma con 2 grados de libertad):** Este sistema consiste en un robot bidimensional que utiliza dos sistemas de bandas para trasladarse tanto verticalmente como horizontalmente. Requiere dos motores y control de posición de dos ejes. Para recoger los productos debe hacerlo uno a la vez llevándolos hasta la zona de recolección. En la siguiente figura se puede observar el sistema con la plataforma con 2 grados de libertad.

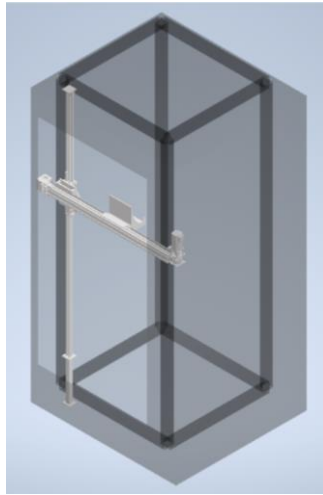


Figura 6. Sistema de transporte y entrega por la plataforma con 2 grados de libertad

- **Alternativa de solución C (Caída libre):** Con este método se busca replicar el sistema utilizado mayoritariamente en las máquinas expendedoras de bebidas y snacks, en las cuales el producto luego de salir de la etapa de dosificación cae directamente a la zona de entrega. Para reducir el impacto de la caída se coloca un material acolchonado en la bandeja de recolección para evitar que los productos sean afectados. En la siguiente figura se puede observar el sistema por caída libre:

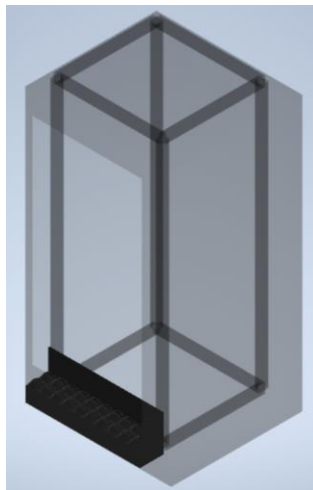


Figura 7. Sistema de transporte y entrega por caída libre

Los criterios que se establecieron para evaluar las alternativas son:

- **Confiabilidad:** Ahora, el criterio de confiabilidad se transformará en la medida en la cual la solución probada sea menos propensa a errores traducidos en atrancamientos en el trayecto de entrega al consumidor y asegure la llegada de este en buena condición.
- **Versatilidad para transportar productos:** En este criterio se evalúa la capacidad del sistema de transportar productos de distintas resistencias y geometrías, asegurando su condición para la entrega al consumidor.
- **Precio moderado:** En cambio, para el margen de este criterio, se sigue probando el sistema que completa el trabajo objetivo con el menor costo maquinaria por los materiales y partes implementados.
- **Tiempo de entrega:** Este criterio considera como mejor opción al sistema que utilice la menor cantidad de tiempo en transportar los productos desde el sistema de dosificación hasta la entrega final al cliente.

A continuación, se presenta la evaluación de cada criterio considerando el razonamiento que se describe a continuación para cada punto.

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Para definir cuál criterio tiene más peso entre las alternativas, se analizó la importancia del transporte y entrega de productos, y se concluyó que la prioridad es llevar el producto deseado con seguridad al cliente. Por esta razón, la confiabilidad es el criterio de mayor peso. Se estableció la versatilidad como el segundo criterio de mayor importancia, debido a que los productos que se espera manejar poseen tamaños y geometrías variadas, por lo cual un sistema que se adapte a las diferencias mencionadas es necesario para un funcionamiento eficaz de Farmabot. Por otro lado, el precio tiene un menor peso que la versatilidad debido a que una máquina que no cumple con su objetivo, a pesar de tener un bajo costo, no justifica su fabricación. Por último, el tiempo

de entrega es el criterio que se consideró con menor peso para la evaluación, pues la diferencia de tiempos de entrega entre los sistemas es mínima, y asegurar que el producto llegue al cliente en condiciones adecuadas, sin importar la forma del producto, con la menor inversión posible es más relevante (confiabilidad > versatilidad > precio > tiempo). La siguiente tabla contiene la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 3. Evaluación del peso de cada criterio con respecto al sistema de transporte y entrega

CRITERIO	Confiabilidad	Versatilidad	Precio	Tiempo	Suma+1	Ponderado del Criterio
Confiabilidad		1	1	1	4	0.4
Versatilidad	0		1	1	3	0.3
Precio	0	0		1	2	0.2
Tiempo	0	0	0		1	0.1
					10	1

2. Evaluación del peso específico del sistema de transporte y entrega criterio 1: Alta confiabilidad

Se elige al sistema del elevador como la alternativa más confiable ya que se asegura de llevar los productos de forma segura, aunque tenga la posibilidad de quedarse atrancado si existe algún fallo en el mecanismo. Como segunda alternativa se elige el robot en dos dimensiones ya que es más propenso a tener errores debido a que su mecanismo es más complejo y hay más variables que podrían fallar si no se realiza el mantenimiento adecuado. Como última alternativa se considera la gravedad, ya que, aunque asegura que el producto llegue al consumidor, no se puede tener un control sobre su condición, por lo que objetos frágiles como frascos de vidrio podrían romperse si el sistema de amortiguamiento no es suficiente (solución A > solución B > solución C) (Referencia de matriz de decisión Anexo A.2).

3. Evaluación del peso específico del sistema de transporte y entrega criterio 2: Alta versatilidad

Se elige el sistema del elevador y el de caída libre como los más versátiles ya que ambos no tienen restricciones específicas en cuanto a las dimensiones del producto. Por otro lado, el sistema en dos dimensiones sería el menos versátil, ya que, mientras más ancho sea el producto, más grande se debería hacer la bandeja (solución A = solución C > solución B) (Referencia de matriz de decisión Anexo A.2).

4. Evaluación del peso específico del sistema de transporte y entrega criterio 3: Bajo precio

Se elige el sistema de caída libre como el más económico ya que no se necesita realizar un mecanismo y solo requiere de la compra del material que amortigüe la caída. Se selecciona como segunda opción el elevador ya que requiere de un sistema con un solo actuador. Como última alternativa, se coloca el sistema en dos dimensiones que requiere de realizar un mecanismo más complejo con dos actuadores y varios sistemas de guías (solución C > solución A > solución B) (Referencia de matriz de decisión Anexo A.2).

5. Evaluación del peso específico del sistema de transporte y entrega criterio 4: Bajo tiempo de entrega

Se elige el sistema de caída libre como el sistema que utiliza el menor tiempo en entregar los productos, debido a que el producto cae directamente a la compuerta de entrega, sin necesidad de esperar por el funcionamiento de otro subsistema. Como segunda alternativa se elige el elevador debido a que solo requiere desplazarse en una dirección para entregar el producto al consumidor. Como última alternativa, se considera la plataforma con 2 grados de libertad debido a que este debe realizar movimientos en dos direcciones, haciendo el tiempo de espera mayor al momento de entregar un producto.

Además, esta solución, a diferencia de las previas, únicamente puede entregar productos de manera individual, es decir, si se realiza una orden con múltiples productos, tiene que realizar movimientos de entrega para cada uno (solución C > solución A > solución B) (Referencia de matriz de decisión Anexo A.2).

Conclusión:

Después de realizar el análisis respectivo y las matrices de selección se concluyó que el sistema que mejor se acopla a lo requerido y el de mayor prioridad es el del elevador, seguido en prioridad por el sistema de caída libre y en último puesto el sistema del robot en dos dimensiones. En la siguiente tabla se puede observar los resultados del análisis y la prioridad de cada solución propuesta.

Tabla 4. Conclusiones del sistema de transporte y entrega

CRITERIO	Ponderado del Criterio 1	Ponderado Calificación Criterio 1: CONFIABILIDAD	Producto	Ponderado del Criterio 2	Ponderado Calificación Criterio 2: VERSATILIDAD	Producto	Ponderado del Criterio 3	Ponderado Calificación Criterio 3: PRECIO	Producto	Ponderado del Criterio 4	Ponderado Calificación Criterio 4: TIEMPO	Producto	SUMA DE LOS PRODUCTOS	PRIORIDAD
Solución A	0,4	0,50	0,200	0,3	0,42	0,125	0,2	0,33	0,067	0,1	0,33	0,033	0,43	1
Solución B	0,4	0,33	0,133	0,3	0,17	0,050	0,2	0,17	0,033	0,1	0,17	0,017	0,23	3
Solución C	0,4	0,17	0,067	0,3	0,42	0,125	0,2	0,50	0,100	0,1	0,50	0,050	0,34	2

Administración del proyecto

Para desarrollar el proyecto, se propuso el siguiente diagrama de Grant que especifica las tareas que se deben realizar con sus respectivos lapsos de tiempo. Este diagrama es la versión final ya que el tiempo planeado para algunas actividades resultaron mayores que otras y viceversa. La versión inicial se encuentra en el Anexo B.1.

Tabla 5. Diagrama de Gantt propuesto para la fabricación de la Farmabot

Actividades	Mes																
	Agosto	Septiembre					Octubre				Noviembre				Diciembre		
	Semanas del Semestre																
	8/22/2022-8/28/2022	8/29/2022-9/4/2022	9/5/2022-9/11/2022	9/12/2022-9/18/2022	9/19/2022-9/25/2022	9/26/2022-10/2/2022	10/3/2022-10/9/2022	10/10/2022-10/16/2022	10/17/2022-10/23/2022	10/24/2022-10/30/2022	10/31/2022-11/6/2022	11/7/2022-11/13/2022	12/14/2022-11/20/2022	11/21/2022-11/27/2022	11/28/2022-12/4/2022	12/5/2022-12/11/2022	12/12/2022-12/18/2022
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Definición y Problemática (Requerimientos)																	
Desmantelamiento y Evaluación de partes antiguas																	
Diseño de la Fachada																	
Estructura																	
Sistemas de Dispensadores																	
Sistema de Entrega y Recolección																	
Organización Interna																	
Sistema de HVAC																	
Sistemas de Electrónico																	
Prototipado Estructuras																	
Prototipado Actuadores																	
Identificación, prueba de subsistemas y modificaciones																	
Ensamble final (incluye la adición de la parte electrónica)																	
Pruebas, revisiones y reparaciones (de ser necesario) para el ensamblado final																	
Entrega final																	

Una vez definido los tiempos de trabajo, se planteó el presupuesto para llevar a cabo el proyecto. Cabe señalar que, para el alcance de este proyecto, se planteó construir la estructura principal, el elevador, dos conveyors, el cajón y el circuito eléctrico. Tomando en cuenta los materiales y herramientas necesarias, para llevar a cabo el proyecto, se determinó que el costo sería de \$774.13. Este costo se puede ver detallado en la siguiente tabla. El costo presentado

es el que se obtuvo después de realizar la construcción de la Farmabot. En la sección de Anexo B.2 se encuentra el presupuesto inicial estimado y en la sección de Anexo B.3 se encuentra el presupuesto para construir completamente la Farmabot.

Tabla 6. Presupuesto para la construcción de la Farmabot

Ítem	Código (si aplica)	Descripción	Qty	Qty comprar	Costo Unitario	Costo Maquina total
1	C01 - 01	Lateral Conveyor 1	1	2	4.96	9.91
2	C02 - 01	Lateral Conveyor 2	1	2	4.96	9.91
3	C03 - 01	Eje Motriz Conveyor	1	2	6.99	13.98
4	C04 - 00	Ensamble Eje4 Conducido	1	2	6.99	13.98
5	C04 - 01	Rodillo Eje Conducido	1	2	6.99	13.98
6	C04 - 02	Eje Guía Conducido	1	2	6.99	13.98
7	C05 - 01	Unión entre Laterales Conveyor	4	8	1.24	9.91
8	C06 - 01	Unión para Soporte del Motor	1	2	4.96	9.91
9	C07 - 01	Pieza de Tensión	2	4	2.48	9.91
10	C08 - 01	Eje de Engranajes	1	2	6.99	13.98
11	C09 - 01	Plancha de Acrílico	1	2	4.96	9.91
12	C13 - 01	Engranaje de Transmisión 1	1	2	3.00	6.00
13	C12 - 01	Engranaje de Transmisión 2	1	2	3.00	6.00
14	C14 - 01	Banda lisa	1	2	9.97	19.94
15	1004002031	Ángulos L 20x3[mm]	5	5	6.36	31.80
16	1004014003	Varillas 6[mm] Acero A36	1	1	2.76	2.76
17	1004014010	Varillas 25[mm] Acero A36	1	1	27.87	27.87
18	625-2rs	Rodamientos	2	4	8.02	32.08
19	AS 1420 - 1973 - M5X12	Perno tipo Allen (Hexagonal)	10	20	0.11	2.27
20	AS 1427 - M4X10	Perno avellanado	5	10	0.10	1.00
21	AS 1420 - 1973 - M3X8	Perno tipo Allen (Hexagonal)	3	6	0.03	0.18
22	AS 1112 - M3 tipo 5	Tuerca hexagonal	5	10	0.01	0.11
23	AS 1112 - M4 tipo 5	Tuerca hexagonal	5	10	0.02	0.22
24	AS 1112 - M5 tipo 5	Tuerca hexagonal	11	22	0.02	0.47
25	M DIN965 304(A2) 4X16	Perno M4	16	16	0.06	0.96
26	M DIN965 304(A2) 6X16	Perno M6	10	10	0.13	1.30
27	N934 304(A2) 4X0.70	Tuerca M4	16	16	0.03	0.48
28	N934 304(A2) 6X1.00	Tuerca M6	10	10	0.05	0.50
29	A4988	Driver A4988	2	2	5.36	10.72
30	Cargador 5V 2A	Cargador	1	1	4.46	4.46
31	Micromotor 30rpm 12V	Motorreductor	1	2	7.14	62.50
32	E-E001	Estructura Soporte Cajones	1	1	215.00	215.00
33	RIEL EXTENSIÓN TNN24"	Correderas	2	2	10.28	20.56
34	RIEL 3644	Riel para base Robot/Elevador	2	2	25.00	50.00

35	Bandeja Robot	Bandeja Robot	1	1	22.00	22.00
36	3171062046-N	Fuente de Poder 12V 5A	1	1	12.94	12.94
37	Hc-sr04	Sensor Ultrasónico	1	1	2.68	2.68
38	Hx711	Modulo Hx711	1	1	2.68	2.68
39	Capacitor	Capacitor 100mΩ	2	2	0.27	0.54
40	DIO023	Fotodiodo Receptor	1	1	0.63	0.63
41	DIO025	Fotodiodo Emisor	1	1	0.63	0.63
42	H&B	Resistencias 1/2W	8	8	0.29	2.29
43	DIO024	Foto transmisor	1	1	3.13	3.13
44	CORREADE	Correa dentada gt2	2	7	3.25	22.75
45	Riel 3646	Riel CEDAL Rinox	2	2	44.64	89.28
				Total		786.13

Normas de estandarización aplicadas

Para la construcción, fue necesario investigar normas que se puedan aplicar para el diseño y fabricación de la Farmabot. Algunas de las normas identificadas fueron:

- Guidance for Industry #5 - Drug Stability Guidelines (US Food and Drug Administration, 2008).
- CPE INEN 003: Código de dibujo técnico, mecánico (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1989).
- NSF/ANSI 25-2021: Vending Machines for Food and Beverages (Kelechava, 2021).
- ASME B31T - 2021: Standard Toughness Requirements for Piping (The American Society of Mechanical Engineers, 2021).
- ANSI/ASHRAE Standard 34-2022: Designation and Safety Classification of Refrigerants (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2022).

De las cuales, las normas aplicadas fueron:

- **Guidance for Industry #5 - Drug Stability Guidelines:** Esta norma se aplicó para determinar el rango de temperatura en la que deben estar los medicamentos dentro de la Farmabot. La temperatura ideal se encuentra en el rango de 20 [°C].

- **CPE INEN 003:** Se aplicó esta norma para realizar los planos de los sistemas, subsistemas y piezas de la Farmabot.
- **ASME B31T - 2021:** Esta norma se aplicó para el diseño de las tuberías del sistema de refrigeración de los insumos médicos que lo necesiten.
- **ANSI/ASHRAE Standard 34-2022:** Esta norma se aplicó para definir el tipo de refrigerante a usar en el sistema de refrigeración. El refrigerante recomendado a utilizar cuando se encuentran cerca productos alimenticios o farmacéuticos es el R-22.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de materiales y componentes

Para la selección de los materiales y componentes de la Farmabot, se realizaron diversos cálculos con el fin de determinar los más eficientes. Se tomó en cuenta dimensiones, geometrías, cálculos de esfuerzo, factores de seguridad y deflexión. Además, se realizaron simulaciones que justificaron las elecciones. El análisis se realizó a las piezas más críticas del sistema (se considera como piezas críticas a las que soportan el peso de los productos).

Tabla 7. Justificación de componentes y la selección de materiales de la parte mecánica

Subsistema	Componente	Justificación
Conveyor	Ejes Conveyor	Se determinan los diámetros del eje motriz y conducido del conveyor de manera que la pieza no falle con una carga de 2 [kg] por flexión ocasionada por la fuerza vertical o por la torsión que le transmite el motor (revisar punto 1 de la sección “Informe de diseño”). La simulación realizada demostró que el mayor esfuerzo al que se somete al eje es de 11.18 [MPa] al seleccionar el acero A36 ya que tiene un esfuerzo de fluencia de 250 [MPa] (por disponibilidad) (Beer et al., 2014), demostrando ser más que suficiente para el diseño de esta pieza (revisar punto 2 de la sección “Informe de diseño”).
	Engranaje	Se determina el material del engranaje en función del esfuerzo cortante máximo siguiendo el proceso de diseño de piñones en Shigley (revisar punto 3 de la sección “Informe de diseño”). La simulación demostró que el mayor esfuerzo al que se somete a los engranajes es de 4.185 [MPa] al seleccionar el acero A36, lo que satisface al diseño (revisar punto 4 de la sección “Informe de diseño”).
Elevador	Bandeja	Se determina la geometría de la bandeja en función de la deflexión máxima permisible de manera que no sea perceptible a la vista y de su esfuerzo de Von Mises (revisar Anexo D.2.4). La simulación demostró que la deflexión máxima es de 1.14 [mm] al seleccionar el acero A36 (por disponibilidad), satisfaciendo al diseño ya que la deflexión es ínfima (revisar Anexo D.2.5).
	Cajón	Se determina la geometría del cajón en función de la deflexión máxima permisible de manera que no sea perceptible a la vista y de su esfuerzo de Von Mises. Anexo D.3. La simulación demostró que la deflexión máxima es de 0.18 [mm] al seleccionar el acero A36 (por disponibilidad), satisfaciendo al diseño ya que la deflexión es mínima (revisar Anexo D.3.1).

Para la selección de los componentes eléctricos de la Farmabot, se diseñó un circuito (en el programa Fritzing) que permitiera funcionar a la Farmabot. Se implementaron los componentes que permiten el ingreso de la orden, que el elevador suba y se detenga en el nivel seleccionado, que el motor del conveyor traslade al insumo médico a la bandeja del elevador y que el elevador regresé al momento de detectar al producto en la bandeja.

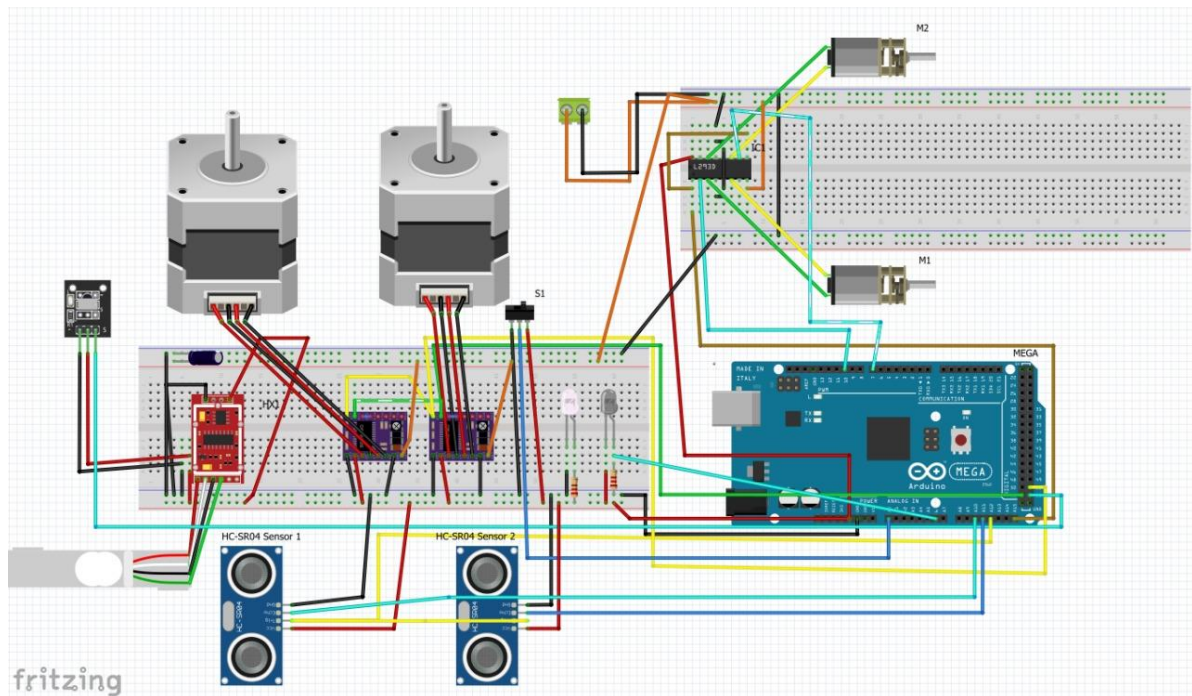


Figura 8. Circuito diseñado para el funcionamiento de la Farmabot

En la siguiente tabla se puede observar los componentes eléctricos seleccionados para el funcionamiento de la Farmabot. En estos se centra la categoría a la que pertenece el componente y su respectiva justificación de selección.

Tabla 8. Justificación de componentes y la selección de materiales de la parte eléctrica

Categoría	Componente	Justificación
Fuente de Poder	Fuente de 12 [V] y 5 [A]	Se eligió este componente porque la mayoría de los dispositivos utilizados se pueden alimentar con 12 [V] sin requerir un circuito de reducción de voltaje de alto amperaje (que puede significar pérdidas energéticas en forma de calor). Adicionalmente, la potencia que provee esta fuente es suficiente para los consumos (2

		motores paso a paso de 1 [A] y 3 motorreductores a la vez de 0.3 [A]).
Controlador	Arduino MEGA	Se eligió un sistema de Arduino porque permite realizar sistemas con múltiples funciones de forma simple y cuenta con una gran variedad de sensores y actuadores. La versión MEGA se eligió porque permite administrar la cantidad de entradas digitales y analógicas requeridas para esta aplicación (53 señales digitales y 11 analógicas). En el Anexo G se puede observar el código utilizado.
Actuadores	Micromotor reductor de 12 [V] y 30 [rpm] con su driver L293D	Provee una velocidad rotacional que cumple los requerimientos considerados para el funcionamiento de los conveyors manteniendo un buen torque, permitiendo mover una carga de más de 2 [kg] como se muestra en los cálculos (revisar Anexo D.1).
	Motores Paso a Paso Nema 23 de 8.6 [V] con su driver A4988	Se eligió estos motores para poder controlar la posición del elevador debido a la disponibilidad de los componentes. Adicionalmente, al poner a funcionar los motores en paralelo, se satisface los criterios de torque requeridos para mover una carga en la bandeja de 2 [kg] como se muestra en los cálculos (revisar Anexo D.2.1).
Sensores	Sensores de Distancia HC-SR04	Se elige estos componentes para comprobar de forma determinística que el elevador se encuentra en la ubicación deseada, teniendo un mejor control sobre su ubicación. Se utiliza sensores de tipo ultrasonido debido a su rápida velocidad de respuesta y a sus dimensiones compactas.
	Diodo Emisor de Luz con Foto Transistor	Se elige este tipo de sistema para crear un sistema de barrera óptica que es un método determinístico que permite conocer con gran fiabilidad cuando el producto sale de la banda y entra en la bandeja debido a su alta velocidad de respuesta.
	Receptor de Señales Infrarrojas	Se elige un módulo receptor de infrarrojo ya que permite utilizar un control remoto para realizar los pedidos de los productos a distancia usando un control con la frecuencia apropiada.
	Celda de Carga y HX711	Se elige este componente ya que permite determinar si la bandeja se encuentra libre de productos o de fuerzas externas, siendo una medida de seguridad adicional en el mecanismo.

Diseño de manufactura

En la presente sección se explica y detalla el plan de manufactura para la producción de uno de los componentes del Farmabot, el componente seleccionado es el conveyor. Para esto, se detallan las tecnologías de fabricación necesarias para la producción de las piezas. Además, se estableció un calendario de fabricación. También se implementó un sistema de dimensionamiento de fabricación y un plan de verificación de las tolerancias dimensionales. Por último, se desarrolló una hoja de trabajo del proceso de fabricación.

Las piezas que componen los conveyors son varias. Desde los rodillos hasta placas laterales, cada pieza requiere de un proceso en específico para su fabricación. En la siguiente tabla se puede observar las piezas que componen el subsistema con sus respectivas tecnologías de fabricación. Cabe destacar que existen piezas que no requieren de un proceso para su fabricación y solo es necesaria su compra y por lo tanto no se encuentran en este listado. También se presenta un detalle de los costos de la materia prima haciendo mención del valor por unidad y del costo total de lo que se consumió en cada parte para que se tenga una mejor perspectiva del valor que podría llegar a tener el componente que se está fabricando.

Tabla 9. Lista de piezas del conveyor con sus respectivas tecnologías de fabricación

Subsistema	Componentes	Qty	Materiales	Costo Unitario	Costo Total	Proceso de manufactura
Conveyor	Lateral conveyor	2	Plancha de acero (1220x1440) de negro A36	\$ 30.00	\$ 3.33	Corte láser
	Eje motriz	1	Varilla redonda lisa 24.5 [mm] x 6 [m]	\$ 27.87	\$ 27.87	Torneado, fresado
	Pieza unión laterales	5	Plancha de acero (1220x1440) de negro A36	\$ 30.00	\$ 0.19	Corte láser y doblado

Pieza tensión	2	Plancha de acero (1220x1440) de negro A36	\$ 30.00	\$ 0.02	Corte láser
Superficie acrílica	1	Plancha de acrílico	\$ 52.00	\$ 4.05	Corte láser
Soporte para motor	1	Plancha de acero (1220x1440) de negro A36	\$ 30.00	\$ 0.10	Corte láser y doblado
Engranaje Transmisión 1	1	Varilla redonda lisa 24.5 [mm] x 6 [m]	\$ 27.87	\$ 27.87	Torneado y fresado
Engranaje Transmisión 2	1	Varilla redonda lisa 24.5 [mm] x 6 [m]	\$ 27.87	\$ 27.87	Torneado y fresado
Rodillo conducido	1	Duralón	\$ 9.00	\$ 9.00	Torneado
Eje conducido	1	Varilla redonda lisa 6 [mm] x 6 [m]	\$ 2.76	\$ 2.76	Torneado

Para una mejor visualización del proceso de fabricación y ensamble de las piezas del conveyor, se realizó un diagrama de flujo de fabricación en el que se puede observar los pasos que debe seguir cada pieza. En la siguiente figura se puede observar el diagrama de flujo:

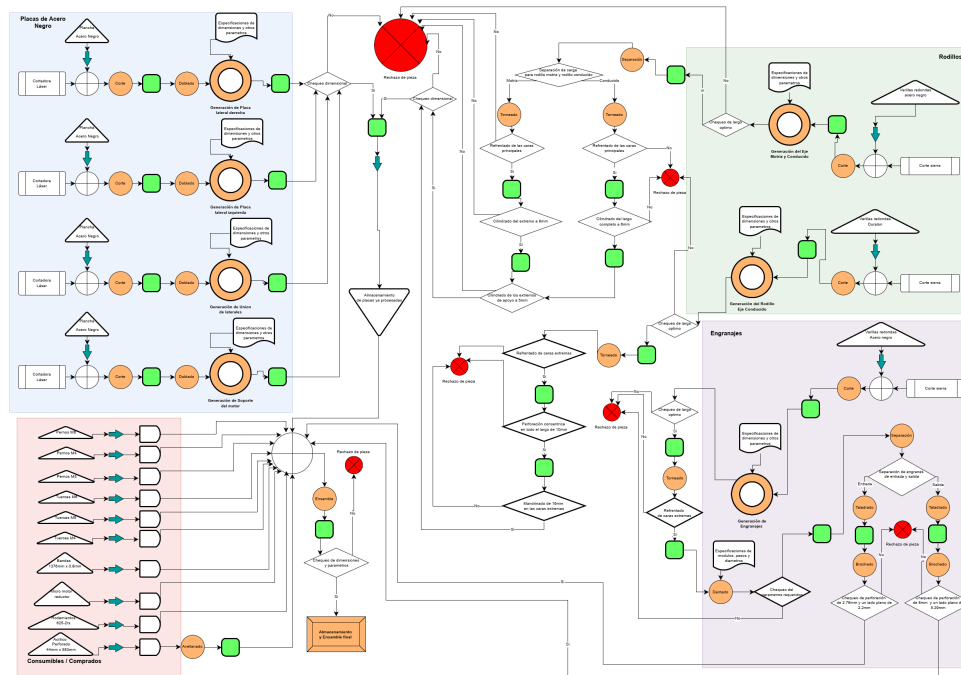


Figura 9. Diagrama de flujo de fabricación de un conveyor

En el diagrama de flujo de la Figura 8 (y en el Anexo C.1 en mayor magnificación) se observa que el proceso comienza con la fabricación de las diferentes placas de acero negro, las cuales sirven de estructura para el conveyor, donde se comparte un proceso inicial el cual parte de una plancha de acero negro que es cortada con láser para luego doblar sus caras destinadas a ser la base a los laterales, cada placa será destinada a la fabricación de estructuras como los laterales, las uniones, y el soporte del motor. Cada una de estas se deben ser verificadas dimensionalmente dependiendo de la documentación pertinente, como son los planos. Aparte de esto, en paralelo se procederá con el mecanizado de rodillos motrices y conducidos donde empieza a partir de varillas redondas de acero negro que serán cortadas del largo estipulado y cuya dimensión debe ser verificada en la documentación de planos, teniendo en cuenta que estos cilindros creados se deben separar en dos grupos. Los grupos para los rodillos serán los rodillos motrices y los rodillos conducidos donde se procederá a hacer un torneado para cada uno teniendo en cuenta que el primero tendrá solo los extremos maquinados y el conducido irá adentro de un rodillo de duralón el cual es un polímero. Para la fabricación del rodillo de duralón se empieza con el corte de la longitud marcada para después verificar sus longitudes, al tener la longitud deseada se perfora para luego mandrilar las caras extremas. Por último, para el mecanizado de los engranajes se parte de varillas de acero negro que serán cortadas según la longitud necesaria marcada en los planos, para luego ser redimensionado al diámetro necesario para trabajar la pieza y empezar un proceso de torneado el cual comienza con el refrentado de caras externas seguido del proceso de dentado en el cual se tiene en cuenta dimensiones, módulos y pasos importantes. Luego del chequeo pertinente, se separa en dos grupos de engranes de entrada o motriz y de salida o conducido para taladrar y realizar las conexiones con el motor reductor e incorporarlo al sistema junto el rodillo motriz. Ahora teniendo todas las partes mecanizadas se hace un chequeo dimensional final para trasladarlo a un almacenamiento esperando por la llegada de consumibles ya fabricados como pernos,

rodamientos, bandas y motores. Finalmente teniendo todo esto se procede a juntar todo para iniciar el proceso de ensamble y realizar un chequeo dimensional final, pero del subsistema y se almacena para ensamblar en la maquina final.

Para el calendario de fabricación, considerando que se seleccionó al conveyor como el componente representativo del sistema, se realizó un cronograma en el cual se detalla con fechas el proceso de construcción de este, de esta manera también se puede llevar un registro del tiempo de fabricación el cual en un futuro servirá como un aproximado de tiempo dado el caso de producción en serie del componente.

Tabla 10. Cronograma de fabricación

		Responsable	Fechas						
			Noviembre					Diciembre	
			10/31/2022-11/16/2022	11/7/2022-11/13/2022	11/14/2022-11/20/2022	11/21/2022-11/27/2022	11/28/2022-12/4/2022	12/5/2022-12/11/2022	12/12/2022-12/18/2022
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
CONVEYOR	Compra materiales para las piezas de corte laser.	L.C	X						
	Corte y doblado de Laterales	L.C	X						
	Corte y doblado de la pieza unión laterales	L.C	X						
	Corte Pieza tensión	L.C	X						
	Corte y doblado soporte motor	L.C	X						
	Corte placa de acrílico	L.C	X						
	Compra de materiales para ejes y engranes	L.C			X				

Maquinado del eje motriz	L.C			X				
Compra duralón	L.C			X				
Maquinado rodillo conducido	L.C				X			
Maquinado eje conducido	L.C				X			
Maquinado "Spur Gear" 1	L.C						X	X
Maquinado "Spur Gear" 2	L.C						X	X
Ensamble final del componente	L.C							X

Con el objetivo de explicar de mejor manera el proceso de manufactura para la parte del conveyor se elabora una hoja de procesos en la cual se detalla el proceso de fabricación de la pieza por etapas. De la misma manera, se especifican tiempos de uso del equipo y el tiempo de maniobra en el equipo para elaborar la pieza. En lo que respecta al proceso en sí, se habla sobre el equipo usado, la herramienta que porta para cada paso, así como también la herramienta con la que se realiza la comprobación de medidas luego del proceso de maquinado.

En la hoja de procesos de la Figura 9 (y en el Anexo C.2 en mayor magnificación) se describe el proceso de fabricación del eje motriz para el sistema del conveyor. El proceso comienza con una barra de 25 [mm] de diámetro hecho de acero A36, las medidas de esta pieza son de 25 [mm] de diámetro y una longitud de 70 [mm]. Primero se debe realizar una limpieza de la pieza para mayor facilidad en el maquinado, para esto se realiza refrentado para las caras de la pieza y un cilindrado muy superficial para igualar la zona, posterior a esto comienza el proceso de cilindrado para formar las superficies A y B que son cilindros de 8 [mm] de diámetro. Ahora del lado de la superficie A se realiza una nueva reducción del eje a 5 [mm] y en el mismo se realiza una cara plana por medio de un proceso de fresado.

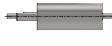






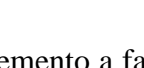
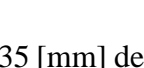
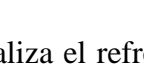
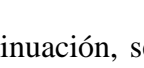
USFQ		Hoja de proceso																			
Sub sistema		Componente	Materia	Acero																	
Código plano		Dimensiones en bruto		Acabado por																	
Nombre		L. Dimaggio		L. Dimaggio																	
Fecha		13/03/2022		13/03/2022																	
Etapa	Forma	Esquema	N. Operación	Descripción	Proceso	Tipo	Superficie	Herramienta de control	Herramienta de mecanizado				Tiempo de trabajo en máquina (s)								
									Numero	Pesado (mm)	Velocidad (RPM)	Avance (mm/Min)	Tempo de arranque	Tempo de cambio de posiciones	Tempo de cambio de herramienta	Tempo de verificación	Tempo de preparación (s)	Costo por hora de uso	Costo		
Eje motriz	1		1	Remoción de material para eliminar imperfecciones del material base.	Refrentado	Debate	G	Calibrador	Buñ calibrado corte izquierdo 15 grados	20	0.25	1200	250	62.5	45	60	0	15	120	10	0.88
	2		1	Dimensionado del diámetro del cilindro hasta la dimensión de diámetro más grande del eje 25 mm	Cilindrado	Debate	D	Calibrador	Buñ calibrado corte izquierdo 15 grados	4	0.25	1000	250	62.5	45	60	0	15	45	20	1.26
Rodillo	3		2	Dimensionado del diámetro a 5 mm en la superficie A y de la longitud al cilindro	Cilindrado	Debate	E	Mandrinado	Buñ calibrado corte izquierdo 15 grados	40	0.25	1000	250	76.92268	1	30	0	30	60	20	1.10
	4		3	Dimensionado del diámetro a 8 mm en la superficie B	Cilindrado	Debate	B	Calibrador	Buñ calibrado corte izquierdo 15 grados	34	0.25	1000	250	147.1354	1	0	0	15	45	20	1.16
	5		4	Dimensionado del diámetro a 5 mm en la superficie A	Cilindrado	Debate	A	Mandrinado	Buñ calibrado corte izquierdo 15 grados	15	0.1	1000	250	21.69462	1	0	0	30	60	20	0.83
	6		5	Maquinado radios de acuerdo superficie F	Torneado	Acabado	F	Calibrador	Buñ calibrado corte izquierdo 15 grados	4	0.1	1000	250	1.922077	1	0	0	0	45	20	0.27
	7		6	Maquinado radios de acuerdo superficie F	Torneado	Acabado	F	Calibrador	Buñ calibrado corte izquierdo 15 grados	4	0.1	1000	250	1.922077	45	30	0	0	45	20	0.51
Eje motriz	8		7	Torneado	Acabado	F	Calibrador	Calibrador	Buñ calibrado corte izquierdo 15 grados	4	0.1	1000	250	1.922077	45	30	0	0	45	20	0.68
	9		1	Maquinado sección recta a 1 mm de profundidad desde el exterior de la superficie C	Fresado	Debate	C	Calibrador	Broca	4	0.25	780	120	8	30	0	0	30	15	20	0.28

Figura 10. Hoja de proceso del eje motriz

El segundo elemento a fabricar es el rodillo del eje conducido, se fabrica a partir de cilindros de duralón de 35 [mm] de diámetros. De estos cilindros se sacan cortes de 30 [mm] de longitud, primero se realiza el refrentado de los laterales y la reducción de diámetro de 35 [mm] a 25 [mm]. A continuación, se encuentra el proceso de perforado en el centro de la cara B del cilindro, este agujero es de 10 [mm]. Para finalizar se realiza el proceso de mandrinado para ambos lados, el diámetro de estos es de 16 [mm] y la profundidad se puede apreciar en el Anexo C.3.

En última instancia se tiene el eje guía conducido, el proceso es muy similar al del eje motriz. Primero se comienza con una varilla de 6 [mm] de diámetro por 70 [mm] de longitud se realiza un refrentado de los laterales para igualar la superficie. Luego se procede a realizar el proceso de cilindrado para formar la superficie C, a continuación, se realiza el torneado para la superficie B y D con las dimensiones de longitud marcadas en el plano. Finalmente queda el proceso de cilindrado de los extremos para las superficies E y A, junto a su respectivo proceso de roscado. La hoja de proceso se puede observar en el Anexo C.4.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Informe de diseño

1. Cálculo de los ejes

El primer análisis que se realizó fue de los ejes del conveyor mediante un análisis de diseño mecánico con el fin de encontrar las medidas adecuadas para su fabricación que cumplan con los estándares que le permitan desempeñar su función adecuadamente. Para esto, se toma en cuenta las siguientes suposiciones asumiendo un caso crítico. El eje mayor de 23.5 [mm] de diámetro y un eje menor de 5 [mm] de diámetro debe resistir un peso ejercido por 1.5 [kg] (3 [kg] de producto que se reparten entre los dos rodillos) y un torque de 0.1952 [Nm] ejercido por el motor (obtenido en los cálculos de torque del motor DC). En la siguiente figura se puede observar el diagrama del eje.

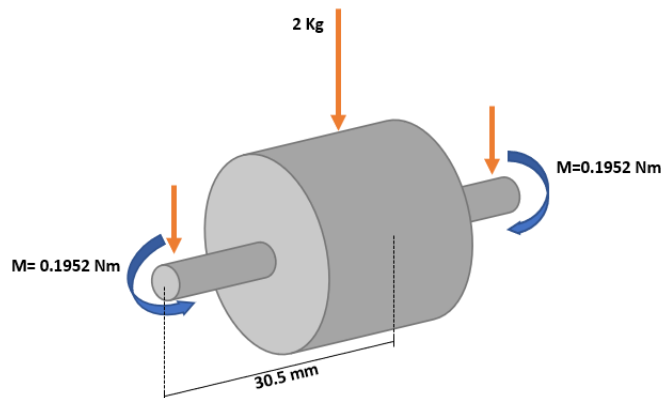


Figura 11. Diagrama del eje del conveyor

Considerando las condiciones del ejercicio, se tiene que los momentos flectores medios y amplitud son los siguientes:

$$M_a=0 \text{ (No hay fatiga)}$$

$$M_m=(30.5 \times 10^{-3} [m])(1.5 [kg]) \left(9.8 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right) = 0.4484 [Nm]$$

$$T_a=0 \text{ (No hay fatiga)}$$

$$T_m = 0.1952 \text{ [Nm]}$$

Lo primero es determinar los parámetros D/d y r/d para determinar la concentración de esfuerzos tanto ante cargas flectoras (K_t) como ante cargas de torsión (K_{ts}).

$$\frac{D}{d} = \frac{23.5 \text{ [mm]}}{5 \text{ [mm]}} = 4.7$$

$$\frac{r}{d_r} = \frac{1 \text{ [mm]}}{5 \text{ [mm]}} = 0.2$$

A partir de estos valores en la figura A-15-9 del libro de diseño mecánico de Shigley (Budynas & Nisbett, 2015), se tiene que el valor correspondiente es el siguiente $K_t = 1.5$. En la figura A-15-8 del libro de diseño mecánico de Shigley (Budynas & Nisbett, 2015) se tiene: $K_{ts} = 1.25$. Continuando con el proceso, por medio del análisis del caso se sabe de antemano que no se contará con cargas axiales y tampoco con cargas intermitentes, en su lugar se tendrá una carga constante lo cual permite deducir que no habrá fatiga en el eje. Las ecuaciones usadas para encontrar los esfuerzos fluctuantes de Von Mises se muestran a continuación:

$$\sigma_a' = (\sigma_a^2 + 3\tau_a^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_m' = (\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{\frac{1}{2}}$$

Por el análisis presentado en el párrafo anterior, se sabe que el componente amplitud tendrá un valor de 0, por lo tanto $\sigma_a' = 0$ [MPa]. Por otra parte, para el componente medio, la ecuación corresponde a:

$$\sigma_m' = (\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{\frac{1}{2}} = \left[\left(K_t \frac{32 M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(K_{ts} \frac{16 T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_m' = \left[\left(1.5 \frac{32 (0.4484)}{\pi (0.005)^3} \right)^2 + 3 \left(1.25 \frac{16 (0.1952)}{\pi (0.005)^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 57.45 \text{ [MPa]}$$

Considerando un factor de seguridad de $\eta=1.5$:

$$\eta = \frac{SF}{\sigma_m}$$

$$SF = \eta * \sigma_m = 1.5 * (57.45 \text{ MPa}) = 83.55 \text{ [MPa]}$$

Esto nos indica que se debe seleccionar un material con un $SF > 83.55 \text{ [MPa]}$. Sin embargo, si se desea modificar los radios de acuerdo y se los disminuye a un valor de 0.5 [mm] , los resultados cambiarían a:

$$\frac{r}{d} = \frac{0.5}{5} = 0.1$$

De la Figura A-15-9 se obtiene que $K_t=1.8$. De la Figura A-15-8 se obtiene que $K_{ts}=1.45$.

Con estos datos, calculando el esfuerzo medio se obtiene:

$$\sigma_m' = \left[\left(1.8 \frac{32 (0.4484)}{\pi (0.005)^3} \right)^2 + 3 \left(1.45 \frac{16 (0.1952)}{\pi (0.005)^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 68.73 \text{ [MPa]}$$

Calculando la fluencia máxima:

$$SF = \eta * \sigma_m = 1.5 * (68.73 \text{ MPa}) = 103.095 \text{ MPa}$$

Se selecciona como material acero negro 1018 HR, el cual de la Tabla A-20 tiene una resistencia de:

$$S_y = 220 \text{ [MPa]}$$

Calculando el factor de seguridad para el material elegido:

$$\eta = \frac{SF}{\sigma_m} = \frac{S_y}{\sigma_m} = \frac{220}{68.73} = 3.2$$

Por lo que el diseño es satisfactorio.

2. Simulación de los ejes

En la siguiente figura se muestra el efecto que tendrá a partir de un torque inducido por el motor con reducción de 0.1952 [Nm] y con una carga radial la cual se entiende como el peso considerado común de 2 [kg]. Aquí se simulo en el software “Inventor Autodesk”. En la figura se puede observar que la mayor concentración de esfuerzos es de 11.18 [MPa]. Por lo tanto, el factor de seguridad de toda la pieza es excesivamente alto debido a que el material acero A36 cuenta con un esfuerzo de fluencia de 250 [MPa], por lo que no es necesario realizar un análisis de los resultados de factor de seguridad de la simulación.

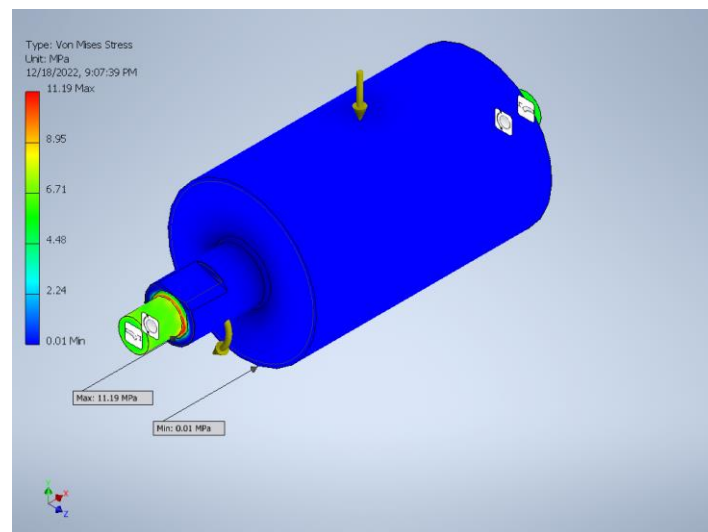


Figura 12. Simulación estática del torque cargado por el motor y con la carga común de 2 [kg] por productos

3. Cálculo de engranajes

Datos:

Se tiene un juego de engranajes con transmisión 1:1, módulo de 1[mm] ([m]), 18 [mm] de diámetro primitivo (d), 18 dientes, un ángulo de presión de 20°, un ancho de contacto de 6[mm]

(F) que son movidos por un motor N20 capaz de generar un torque de 2.5 [kgf-cm] a una velocidad angular de 30 [rpm]. para los cuales se quiere calcular el esfuerzo máximo resultado de transmitir la potencia. Otras variables importantes para los cálculos son:

$$n = 30 \text{ [rpm]} * \frac{2\pi \text{ [rad]}}{1 \text{ [rev]}} * \frac{1 \text{ [min]}}{60 \text{ [s]}} = 3.1416 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

$$T = 2.5 \text{ [kgf-cm]} * \frac{9.8 \text{ [N]}}{1 \text{ [kgf]}} * \frac{1 \text{ [m]}}{100 \text{ [cm]}} = 0.245 \text{ [Nm]}$$

Se aplica la metodología de Lewis para determinar el esfuerzo máximo que resisten los engranajes utilizando el procedimiento descrito en el libro de Shigley (Budynas & Nisbett, 2015).

Se calcula la velocidad lineal a la que entran en contacto los engranajes (Pitch line velocity):

$$V = \frac{d}{2} n = \frac{18 \text{ [mm]}}{2} * 3.1416 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] = 28.2744 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

$$V(\text{ft/min}) = 28.2744 \frac{\text{[mm]}}{\text{[s]}} * \frac{60 \text{ [s]}}{1 \text{ [min]}} * \frac{1 \text{ [ft]}}{304.8 \text{ [mm]}} = 5.5658 \left[\frac{\text{ft}}{\text{s}} \right]$$

Se calcula el “velocity” factor para acero maquinado con la siguiente expresión y el valor de la velocidad en pies por minuto:

$$k_v = \frac{1200 + v}{1200} = \frac{1200 + 5.568}{1200} = 1.0046$$

Se determina el Factor de Lewis a partir de la Tabla 14-2 para 18 dientes del libro de diseño mecánico de Shigley (Budynas & Nisbett, 2015). Este valor es $Y = 0.309$. Ahora, se calcula la potencia transmitida por el motor:

$$P = T * n = 0.245 \text{ [Nm]} * 3.1416 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] = 0.7697 \text{ [W]}$$

Se determina la carga o fuerza transmitida entre los dientes:

$$W_t = \frac{P}{V} = \frac{0.7696 \left[\frac{\text{Nm}}{\text{s}} \right]}{28.2744 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]} = 27.2225 \text{ [N]}$$

Se calcula el esfuerzo:

$$\sigma = \frac{k_v * W_t}{F * m * y} = \frac{1.0046 * 27.2225 \text{ [N]}}{6 \text{ [mm]} * 1 \text{ [mm]} * 0.309 \text{ [mm]}} = 14.75 \text{ [MPa]}$$

Se considera un factor de seguridad de 2, con lo que se determina el esfuerzo de fluencia mínimo del material:

$$S_f = \eta * \sigma = 2 * 14.75 \text{ MPa} = 29.5 \text{ [MPa]}$$

Por lo tanto, se requiere un material con un esfuerzo de fluencia mayor a 29.5 [MPa] para que la pieza no falle al transmitir la potencia con el otro engranaje. También es importante considerar la dureza del material, para evitar que el eje del motor pueda desgastar internamente al engranaje, lo que podría desacoplar la transmisión, por lo que el material debe tener una dureza similar a la del acero. Por estos motivos se decide utilizar engranajes metálicos y utilizar grasa para lubricarlos.

Se comprueba que el número de dientes elegido para los engranajes de tipo Herring-bone no cause interferencia, para lo cual se determina el mínimo número de dientes con la siguiente ecuación del libro de Shigley (Budynas & Nisbett, 2015) para una transmisión 1:1:

$$N_p = \frac{2k}{3 \sin^2 \phi} \left(1 + \sqrt{1 + 3 \sin^2 \phi} \right)$$

Donde k es el tipo de diente que para este caso de dientes completos es k=1 y ϕ es el ángulo de presión, que se elige igual a 20°.

$$N_p = \frac{2(1)}{3 \sin^2(20)} \left(1 + \sqrt{1 + 3 \sin^2(20)} \right) = 12.3 = 13 \text{ dientes}$$

Por lo que el mínimo número de dientes debe ser 13. Para corregir ligeramente el diámetro de los engranajes de manera que no obstruyan la rotación de la banda se elige un valor de 18 dientes.

4. Simulación de engranajes

En la siguiente simulación se presenta un torque originado en el motor reductor (el cual es de 0.245 [Nm]). La presente simulación se realizó en el software “Fusion 360 Autodesk” por la facilidad de simular cuerpos múltiples en un ensamble. En la simulación se puede observar que el máximo esfuerzo es de 4.185 [MPa]. Como en el caso de la simulación del eje del conveyor y que el material es acero A36, su factor de seguridad es demasiado alto, por lo tanto, no es necesario realizar un análisis de los resultados de factor de seguridad de la simulación.

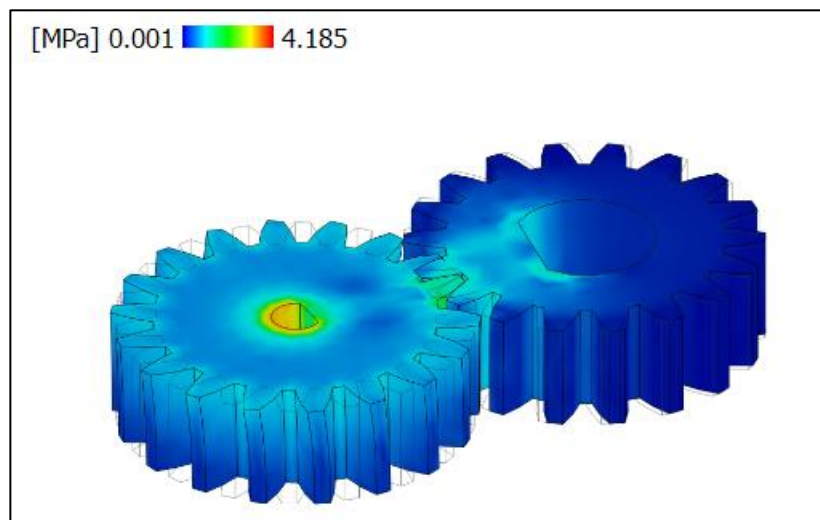


Figura 13. Simulación estática de la carga que va a ejercer el motor reductor a la transmisión de los engranes

En la siguiente tabla se puede observar un resumen de los análisis realizados en componentes críticos de la Farmabot y los resultados obtenidos. Los detalles de los que no se mencionaron en esta sección se encuentran en la sección de Anexo D.

Tabla 11. Resumen de los análisis de los componentes críticos del Farmabot

Componentes	Análisis	Resultados
Eje del conveyor	Análisis de esfuerzo de Von Mises	Se determinó que el factor de seguridad para el eje diseñado en acero A36 es de 3.2, lo que resulta en un diseño satisfactorio.
Engranajes	Análisis de esfuerzo cortante	Se determinó que se necesita un metal (debido a su dureza) con un esfuerzo de fluencia mayor a 29.5 [MPa].
Bandeja (Anexo D.2.4)	Análisis de deflexión máxima	La deflexión teórica para la bandeja en Acero A36 es de 0.037 [mm], lo que resulta en un diseño satisfactorio.
Cajón (Anexo D.3)	Análisis de deflexión máxima	La deflexión teórica para el cajón cargado de producto en sus 8 conveyors elaborado en Acero A36 es de 0.599 [mm], lo que resulta en un diseño satisfactorio.

Seguridad a través del diseño

En todo proyecto siempre es necesario realizar un análisis de riesgo con el fin proponer ideas que solventen dichos riesgos. Existen diferentes tipos de riesgos, entre los más comunes se encuentran los económicos, técnicos, ambientales, políticos, culturales, legales, seguridad industrial, manejo de recursos, etc. Una vez identificado el riesgo, se define el nivel de impacto del riesgo y la probabilidad de que suceda en una escala de 1 a 5 (siendo 1 el de menor peso y 5 el de mayor peso). Se multiplica el impacto por la probabilidad y el resultado es el nivel de la prioridad que tiene el riesgo analizado. Los riesgos se clasifican por su prioridad en los siguientes rangos: riesgo bajo (1 – 4), riesgo medio (5 – 10) y riesgo alto (12 – 25) (Fujiyama, 2011; Lester, 2014). Para el presente proyecto, se identificaron los siguientes riesgos:

1. Demora por parte de los proveedores en la entrega de bandas

El presente riesgo se encuentra dentro del área técnica. La demora por parte de los proveedores en la entrega de bandas es considerada un riesgo debido a que retrasa el proceso de ensamble de la Farmabot y es uno de los subsistemas más importantes. Se definió la probabilidad de que suceda esto con un 3 debido a que se está importando las bandas a través de un proveedor

chino. Además, se definió al impacto con un 5, ya que, sin las bandas la Farmabot no tiene un sistema de dosificación de los productos. Por lo tanto, la prioridad es de 15 que se define como un riesgo alto. Se identificó como responsable externo al proveedor y como responsable interno al responsable de compras, cargo que es ocupado por Franco Zamora. La decisión que se tomó para mitigar el riesgo es diversificar el pedido con varios proveedores con el fin de contar con más opciones en caso de tener retrasos con algunos de ellos.

2. Mano del consumidor atrapada en la compuerta de la entrega de productos por el desplazamiento del elevador

El presente riesgo se encuentra dentro del área de seguridad industrial y hace referencia a que la mano del consumidor se quede atrapada entre la compuerta y el sistema elevador al momento en que este se encuentra bajando para realizar la entrega del pedido. Este acontecimiento es considerado un riesgo debido a que produce daños al consumidor y de igual manera puede causar daños a los motores del elevador. Se definió la probabilidad de que suceda como un 2 porque en estos casos no es muy común que se presenten estas situaciones, y ocurren solo cuando se realiza un mal uso de la Farmabot. Además, se definió al impacto con un 4 debido a que daña la integridad física del consumidor y los actuadores (motor) del elevador. Por lo tanto, la prioridad es de 8 y tiene un riesgo medio. Se identificó como responsable interno al responsable del diseño, puesto que se encuentra ocupado por Sebastián Insuasti. La decisión que se tomó para corregir dicho riesgo es de implementar un sistema de bloqueo en la compuerta que impida el ingreso de objetos extraños al interior del equipo mientras el elevador se encuentra en movimiento y por otra parte también se encuentra la señalética de advertencia en el exterior de la máquina.

3. Caída de productos por movimientos o vibraciones que afecten o sean producidos por la banda.

Este riesgo se encuentra dentro del área de diseño y mecánica. Se habla de la posibilidad de la caída de los productos debido a la fuerza que se transmite por medio de la banda al momento en el que se enciende el motor para transportar al producto hasta el robot elevador, dicha situación se considera que tiene una probabilidad de ocurrencia de 2 y un impacto de 3 ya que no se daña el producto pero no se puede completar la orden y si el producto es líquido se podría dañar la parte interna, obteniéndose como resultado un 6 de prioridad que equivale a un rango medio. Al producirse esta situación se considera como responsable en primera instancia al fabricante en especial las áreas de diseño y construcción de las cuales son responsables Sebastián Insausti y Leonardo Cornejo respectivamente. Por otra parte, como responsable externo se encuentra el operador ya que es el encargado de ubicar los productos dentro del equipo. Para poder dar solución a este problema se plantea colocar una base sólida por la cual se mueva la banda y también adicionar separadores que garanticen la estabilidad del producto durante su movimiento.

4. Estropear el producto al pasarlo de las bandas transportadoras a la bandeja del elevador.

Este riesgo se encuentra dentro del área de diseño. En este se piensa en la posibilidad de causarle daños al producto durante su transporte desde la banda hasta la bandeja del elevador. Al hablar de daños se hace referencia a golpes graves que causarían imperfecciones considerables que ponen en peligro o dañan totalmente la calidad y funcionalidad del producto en el mismo. Por lo descrito anteriormente se asume que tiene una probabilidad de 1 ya que el traspaso de productos será suave y un impacto de 3 puesto que si llega a ocurrir causaría varios inconvenientes tanto al consumidor como al responsable de mantenimiento. Por lo tanto, se

obtiene que este suceso tiene una prioridad 3 y se encuentra en concordancia con la situación ya que la mayor parte de medicamentos tendrán protecciones como cajas. Al momento de ocurrir el suceso se tendría como responsable directo al fabricante del producto y en específico el área de diseño la cual se encuentran a cargo de Sebastián Insausti. Para dar solución a este problema se pensó en colocar un material que amortigüe el cambio de superficie, así como los golpes en caso de que el producto se caiga en la plataforma del elevador.

5. Quedarse sin el presupuesto necesario para culminar el proyecto.

Se clasifica el riesgo dentro del área financiera. Dentro del presupuesto de diseño se consideró una tolerancia del 12.5% para gastos adicionales, sin embargo, existe la posibilidad de que surjan situaciones inesperadas que requieran de más capital como rediseños de los mecanismos durante las pruebas, que podrían causar que el capital inicial no sea suficiente, por lo que se coloca este riesgo con una probabilidad media dando un valor de 3. Para el impacto de este riesgo se considera que sin el capital no sería posible culminar con los cambios y adaptaciones del proyecto requeridas para cumplir con los requisitos y criterios de diseño, por lo que se le otorga un valor de 4. Por lo tanto, la prioridad del riesgo es de 12, que representa un riesgo alto. No existen responsables externos ya que toda la responsabilidad recae sobre los responsables internos del proyecto, específicamente en su capacidad de administración y manejo adecuado de recursos. Si a medida que avance la ejecución del proyecto se considera que la posibilidad de que esto suceda aumenta, se planea buscar financiamiento externo como patrocinios que apoyen la idea y estén dispuestos a contribuir esta iniciativa.

6. Incumplir con ciertas regulaciones referentes al manejo y almacenaje de fármacos.

Se clasifica este riesgo dentro del área legal. En el Ecuador existen instituciones como el Instituto Nacional de Investigación en Salud [INSPI] o la Agencia Nacional de Regulación,

control y Vigilancia Sanitario [ARCSA] que se encargan de regular el manejo de fármacos, por lo que es necesario revisar normativa y reglamentaciones vigentes en el país para tomar las precauciones necesarias en el diseño e implementación del proyecto, ya que el dispositivo será el responsable de almacenar insumos médicos. Como se espera que toda la reglamentación sea encontrada previo a la ejecución del proyecto se considera la probabilidad de que existan problemas de regulación en un valor de 3. El impacto de este escenario sobre el proyecto sería crítico ya que directamente llamaría a rediseños o la invalidación del uso del proyecto para este fin, por lo que las metas iniciales del proyecto se verían gravemente afectadas, razón por la que se le da un impacto de 5. Por lo tanto, la prioridad del riesgo es de 15, que representa un riesgo alto. El responsable externo de este riesgo serían las instituciones que regulan el almacenamiento de fármacos como la ARCSA y el responsable interno es Ismael Romero que como responsable de textos, tiene la responsabilidad de revisar la documentación pertinente para el proyecto. Para mitigar los efectos de este riesgo a futuro se planea buscar asesoramiento legal, de manera que se pueda tomar decisiones previo a la finalización del proyecto.

7. Los consumidores no se adaptan a utilizar esta tecnología.

Se clasifica este riesgo dentro de la categoría cultural. En la actualidad es común que las últimas generaciones sean ágiles para aprender a usar la tecnología, sin embargo, en el caso de generaciones pasadas aún existe rechazo a los avances tecnológicos y a su incorporación en actividades cada vez más triviales. El presente riesgo analiza la posibilidad que este rechazo a la tecnología genere la subutilización de Farmabot, limitando los beneficios potenciales que este producto ofrece a centros de servicios médicos. La probabilidad de que personas con aversión a nuevas tecnologías eviten utilizar Farmabot es alta estableciéndose en 5, ya que la mayoría de los equipos de enfermeras, quienes constituyen un alto porcentaje de los potenciales usuarios, se encuentran en un rango etario de riesgo y además carecen de inducción al uso de

varias tecnologías emergentes. El impacto posible es la subutilización del equipo, lo cual reduce las ventajas de la inclusión de esta tecnología dentro de los establecimientos médicos, limita su promoción e incrementa los costos operativos; por estas razones se asignó el 3 para impacto, dando una calificación de riesgo total de 15, que representa riesgo alto. Para solucionar esta eventualidad, se propone realizar talleres de inducción y entrenamiento para familiarizar las ventajas del uso del sistema, así como su manejo de manera práctica. Además, el desarrollo de una interfaz amigable y con una curva de aprendizaje rápida es responsabilidad del equipo de sistemas designado.

8. Errores del operador al manejar el equipo.

Se clasifica este riesgo en la categoría técnica, evalúa la posibilidad de que los operadores configuren la máquina de forma equivocada y esto genere una falla en el funcionamiento o el completo cese de esta. La probabilidad de que este escenario ocurra es alta, con un valor establecido en 4, debido al bajo conocimiento en la industria de este tipo de máquinas y al error inherente que un operador humano incluye en cualquier tipo de operación o proyecto. El impacto que se estima es de 4 de igual manera, debido a que cualquier falla en este ámbito genera el paro del servicio o la pérdida de recursos por una mala configuración de parámetros. El valor total de riesgo calculado fue de 16 y se lo clasifica en un rango alto. La solución que se plantea es un manual de instrucciones detallado, que incluya escenarios prácticos para fomentar el aprendizaje, además se planea realizar talleres de entrenamiento técnico donde cada operador será entrenado y tendrá experiencia práctica en el uso del Farmabot, encontrándose estas iniciativas a cargo de Ismael Romero.

9. A la mitad de una orden se presenta una situación de mayor prioridad que requiere detener el pedido.

Este riesgo pertenece al área de control y electrónica. Se refiere al estado cuando una orden no se pueda completar o no se tenga que completar y se precise una señal de cancelación. Este riesgo se justifica para las ocasiones donde se necesite acciones urgentes como ataques anafilácticos o en situaciones donde sea oportuno un suplemento o medicamento rápidamente. Se considera que la probabilidad donde una de estas situaciones se puede presentar tendrá una calificación de 4, ya que la maquina está considerada para que se pueda utilizar en cualquier ámbito hospitalario o donde se necesite insumos médicos y medicinas. Así mismo se considera que el impacto causante, si pasa una ocasión como la relatada, sería de 4 debido a que es un problema moderadamente crítico. Por lo tanto, la prioridad asociada a este riesgo es alta con una calificación de 16. El responsable interno de este riesgo principalmente electrónico será Robert Regalado, ya que él es el encargado de la parte electrónica y control principal del proyecto. Por consiguiente, la acción a tomar es incluir un sistema de paro de emergencia que detenga el pedido y regrese los sistemas a la posición inicial.

En la siguiente tabla se puede observar resumido el diseño basado en riesgo de los puntos mencionados anteriormente. En dicha tabla se presenta la descripción del riesgo, la prioridad calculada, el responsable externo, el responsable interno, el estado y las observaciones. Las celdas de prioridad se encuentran pintadas de tres colores con diferentes significados: verde (riesgo bajo), naranja (riesgo medio) y rojo (riesgo alto).

Tabla 12. Análisis de riesgos presentes en el desarrollo del proyecto

Código	Descripción	Prioridad = Probabilidad X Impacto	Prioridad	Responsable Externo	Responsable Interno	Decisión tomada
1	Ocurre una demora de los proveedores en la entrega de bandas.	3X5=15	15	Proveedor	Franco Zamora	Diversificar el pedido con varios proveedores.
2	La mano del consumidor se queda atrapada en la compuerta de la entrega de productos por el desplazamiento del elevador.	2X4=8	8	-	Sebastián Insuasti	Implementar un sistema de bloqueo en la compuerta y en la señalética del uso de la máquina.
3	Caída de productos por movimientos o vibraciones que afecten o sean producidos por la banda.	2X3=6	6	Operador	Cornejo e Insuasti	Utilizar una base sólida y colocar separadores entre las bandas.
4	Estropear el producto al pasarlo de las bandas transportadoras a la bandeja del elevador.	1X3=3	3	-	Sebastián Insuasti	Colocar un material suave en el elevador que amortigüe el cambio de superficie.
5	Quedarse sin el presupuesto necesario para culminar el proyecto.	3X4=12	12	-	Todos	Buscar financiamiento como patrocinios que apoyen la iniciativa.
6	Incumplir con ciertas regulaciones referentes al manejo y almacenaje de fármacos.	3X5=15	15	INSPI	Ismael Romero	Recurrir a asesoramiento legal para cumplir con la normativa estipulada.
7	Los consumidores no se adaptan a utilizar esta tecnología.	5X3=15	15	Consumidor	-	Realizar talleres de inducción para consumidores frecuentes.
8	Errores del operador al manejar el equipo.	4X4=16	16	Operador	Ismael Romero	Realizar un manual detallado, entrenamiento para los operadores y una HMI amigable.
9	A la mitad de una orden se presenta una situación de mayor prioridad que requiere detener el pedido.	4X4=16	16	-	Robert Regalado	Incluir un sistema de paro de emergencia que detenga el pedido y regrese los sistemas a la posición inicial.

Manual de operaciones

Toda máquina creada requiere de un manual de funcionamiento para su correcto uso en la industria. Los manuales de mantenimiento también son vitales para que la máquina cumpla con su tiempo de vida de uso, llegando a desempeñar su funcionamiento. Por lo tanto, se planteó

un manual de operaciones y mantenimiento detallando la información necesaria para el uso de la Farmabot. Esto se realizó con el fin de evitar problemas futuros al momento de utilizar dicha máquina.

En el manual de operaciones está enfocado para el operario y se encuentra una descripción general de la Farmabot con sus respectivas características. Además, cuenta con un listado de los subsistemas de la máquina y con un plano de conjunto en el cual se puede identificar cada uno de los mismos. Además, cuenta con los pasos que se debe seguir para el encendido y apagado de la máquina, el funcionamiento de esta, el reabastecimiento de los insumos médicos, la configuración de ancho de los productos (un producto utiliza dos conveyors) y la manera de reorganizar los cajones. Cabe recalcar que también se presentan recomendaciones de qué hacer y qué no hacer para evitar riesgo contra la integridad física y contra el funcionamiento de la máquina. Para más detalle de los puntos topados anteriormente, revisar Anexo E.1.

Por otro lado, el manual de mantenimiento está enfocado para el técnico y se encuentra una descripción general de la Farmabot con sus respectivas características. Además, cuenta con un listado de los subsistemas y las piezas que conforman los subsistemas (con sus respectivos códigos para identificar en los planos) de la máquina. El manual cuenta con un plano de conjunto en el cual se puede identificar cada uno de los subsistemas. Además, cuenta con una tabla en el que se listan comentarios y notas de mantenimiento para cada uno de los subsistemas: conveyor, cajones, elevador y sistema de refrigeración. También se presentan las herramientas y equipos de protección personal para realizar cada uno de los mantenimientos. Para más detalle de los puntos topados anteriormente, revisar Anexo E.2. En el manual de operaciones y mantenimiento se especifica que la Farmabot debe encontrarse en ambiente con rangos de 18 y 30 [°C] y debe contar con una fuente de voltaje de 110 [V].

Resultados

- **Tiempos de entrega**

Se realizó dos pruebas, la primera duró alrededor de 20 minutos y la segunda duró alrededor de 15 minutos, en la cual se programó a la Farmabot para que dispensara dos productos en un ciclo. El primero producto es del nivel 1 y el segundo producto es del nivel 2. El elevador partió desde la base, subió al primer nivel, el conveyer de tal nivel entregó el producto, el elevador bajó al nivel dos, el conveyer de tal nivel entregó el siguiente producto y el elevador regresó a la base. Se cronometró el tiempo que le tomó a la Farmabot en realizar esta operación. En el transcurso del ciclo se contaron los casos de éxito por producto en que la Farmabot dispensó correctamente los insumos médicos. En la siguiente tabla se puede observar el número del ciclo, los casos de éxito en el nivel 1 y 2 (se representa al éxito con el número 1 y el fracaso como el número 0) y el tiempo que le tomó a la Farmabot.

Tabla 13. Número de éxitos y tiempo de un ciclo

Ciclo	Producto Nivel 1	Producto Nivel 2	Tiempo
1	1	1	0:00:47
2	0	1	0:00:51
3	1	1	0:00:51
4	1	1	0:00:53
5	1	1	0:00:52
6	1	1	0:00:48
7	1	1	0:00:50
8	1	1	0:00:50
9	1	1	0:00:53
10	1	1	0:00:46
11	1	1	0:00:47
12	1	1	0:00:49
13	1	1	0:00:51
14	1	1	0:00:52
15	1	1	0:00:50
16	1	1	0:00:53
17	0	1	0:00:51
18	1	1	0:00:55

19	0	1	0:00:49
20	0	1	0:00:49
21	0	1	0:00:49
22	1	1	0:00:47
23	1	1	0:00:50
24	1	1	0:00:53
25	1	1	0:00:52
26	1	1	0:00:54
27	1	1	0:00:45
28	1	1	0:00:49
29	1	1	0:00:53
30	1	1	0:00:50
31	1	1	0:00:46
32	1	1	0:00:46
33	1	1	0:00:49
34	1	1	0:00:45
35	1	1	0:00:47
36	1	1	0:00:47
37	1	1	0:00:44
38	0	1	0:00:45
39	1	1	0:00:45
40	1	1	0:00:47
41	1	1	0:00:45
42	1	1	0:00:45

Se determinó que de las 84 pruebas en total (en los 42 ciclos), hubo 78 casos de éxito. Para determinar la fiabilidad de la Farmabot, se dividió los casos de éxito sobre los casos totales. De esta manera, la confiabilidad de la máquina en el experimento fue del 92.86%. Además, para determinar el tiempo de funcionamiento para un ciclo en el que se recolectan dos productos, se calculó el promedio de los tiempos medidos. Para esto, se suma el tiempo que le tomó a cada ciclo y se lo divide para el número de ciclos total. Como resultado, a la Farmabot le toma un promedio total de 49 segundos en completar un ciclo.

- **Ruido**

Para medir el ruido que produce la Farmabot, se llevó a la máquina a un espacio con el menor ruido posible. El espacio tenía un ruido promedio de 35 [dB]. Se puso a funcionar a la Farmabot

por aproximadamente 40 segundos al momento que estaba cumpliendo un ciclo. Se utilizó la aplicación Soundmeter para determinar el promedio de ruido en el ciclo dando como resultado un promedio de 45 [dB]. En la siguiente figura se puede observar la medición:



Figura 14. Resultados de la medición del ruido

Discusiones y conclusiones

La versión actual de la Farmabot surge de un rediseño de una iniciativa previa realizada, durante el transcurso de este proyecto se realizó varias iteraciones durante las cuales se logró reducir las dimensiones externas hasta 1 [m] x 1.85 [m] x 1 [m] y con un peso total de 393.2 [kg], lo cual representa una reducción del 44% y 40% para el volumen y el peso respectivamente. Se estableció el modelo final a partir de matrices de selección donde se evaluó los criterios de diseño de confiabilidad, versatilidad, movilidad y precio, con la finalidad de asegurar una operación adecuada y eficiente de la máquina. El análisis descrito resultó en el uso de bandas transportadoras modulares en conjunto con un elevador de un eje montados en una estructura de perfiles acero para la dispensación de los insumos, así como un sistema de refrigeración con un rango de enfriamiento de 20 [°C] para mantenerlos en condiciones óptimas y un sistema electrónico para el control del funcionamiento de la máquina en base a

sensores ultrasónicos de proximidad, infrarrojos de presencia y finales de carrera, controlados por un Arduino Mega.

El producto final de este proyecto es el ensamble de la estructura principal, dos cajones, dos bandas transportadoras, el elevador y un circuito inicial de control, no se fabricó los demás subsistemas descritos en el documento, como la carcasa exterior, las puertas y el aire acondicionado, además de las 46 bandas y los 4 cajones faltantes, por falta del presupuesto adecuado, sin embargo, se encuentran detallados para su posterior implementación. Además, cabe resaltar que la mayoría de las piezas se fabricaron con acero A36 por temas de disponibilidad y costo.

El diseño final contempla un mecanismo modular versátil para dispensar diferentes insumos médicos, en el cuál, es posible el cambio de la disposición de los cajones, la distancia entre bandas transportadoras, el número de bandas por producto y la temperatura para productos especiales. De manera adicional, el programa de control es versátil de manera que se puede modificar el número máximo de productos por operación, el orden de recepción de productos y la caída máxima permitida para los insumos, según las necesidades o preferencias del cliente final.

En base a estos resultados, se puede concluir que el producto final cumplió con el objetivo de reducir las dimensiones en un 44% y el peso en un 40% con respecto la versión previa. Asimismo, se redujo el tiempo de operación de 1 [min] por producto a 49 [s] por dos productos, con la posibilidad de más de 1 producto por pedido que reduce el promedio del tiempo requerido mientras más productos sean solicitados, a pesar de esto, este parámetro no cumplió con el objetivo inicial de 30 [s] por entrega. Además, se consiguió una confiabilidad del 92.86%. También se alcanzó el objetivo de ruido máximo de operación, en este aspecto, el producto final presentó 45 [dB] de ruido al operar y se estima que el diseño final con la

estructura exterior completa producirá menos de 40 [dB] al operar. De igual manera, la movilidad de la máquina resulta más fácil de realizar ya que se incorporaron llantas tipo garruchas.

En el aspecto económico, la construcción del diseño propuesto cumple con el costo de fabricación adecuado para competir con opciones similares en el mercado. Además, el presupuesto expuesto en este informe refleja el costo de manufactura de una sola unidad, mismo que tiene potencial de reducción si se incrementa la producción de unidades y se permite la reconsideración de procesos de fabricación para un volumen mayor de demanda.

Trabajo futuro

Como trabajo a futuro, se recomienda realizar más pruebas de calibración para mejorar la confiabilidad del sistema de sensores utilizados para la detección de entrega satisfactoria de productos desde las bandas transportadoras hacia la bandeja. Así también, es necesario desarrollar una interfaz humano – máquina amigable, que permita la inserción del modelo presentado dentro de establecimientos médicos. Por otro lado, en el aspecto mecánico, se sugiere optimizar el modelo de la bandeja del elevador de manera que evite la acumulación de productos de una misma columna cuando se realiza una operación con más de un producto solicitado. Por último, se recomienda buscar la financiación necesaria para implementar los subsistemas no realizados por temas de presupuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2022). *ANSI/ASHRAE Standard 34-2022: Designation and Safety Classification of Refrigerants*.
https://ashrae.iwrapper.com/ASHRAE_PREVIEW_ONLY_STANDARDS/STD_34_2022
- Bagattini, Â. M., Borges, J. L. A., Riera, R., & de Carvalho, D. C. M. F. (2022). Automation of a tertiary hospital pharmacy drug dispensing system in a lower-middle-income country: A case study and preliminary results. *Exploratory Research in Clinical and Social Pharmacy*, 6, 100151.
<https://doi.org/10.1016/j.rcsop.2022.100151>
- Beer, F. P. (Ferdinand P., Johnston, E. R. (Elwood R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (David F. (2014). *Mechanics of materials* (7a ed.). McGraw-Hill Education.
- Bergman, T., Lavine, A., Incropera, F., & Dewitt, D. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer* (7a ed.). John Wiley & Sons.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (10a ed.). McGraw-Hill Education.
- Dabiri, A. (2019). *Vending Machine with User ID/Age Verification System and Associated Method* (Patent Núm. US 10,242,394 B2).
- DIPAC. (2022a). *Ángulo Doblado*. DIPAC.
<https://dipacmanta.com/producto/perfiles/perfiles-estructurales/angulo-doblado/>
- DIPAC. (2022b). *Platinas*. DIPAC. <https://dipacmanta.com/producto/perfiles/perfiles-laminados/platinas/>
- Engineers Edge. (2022). *Coefficient of friction equation and table chart*.
https://www.engineersedge.com/coefficients_of_friction.htm
- Fujiyama, K. (2011). Risk based engineering for design, material selection and maintenance of power plants. *Materials at High Temperatures*, 28(3), 225–233.
<https://doi.org/10.3184/096034011X13123774812872>
- Hangzhou Purswave Technology Co., L. (s/f). *R134A 220-240V/50-60Hz Lbp Refrigerator Compressor 1/16HP to 2/5HP Cooling Capacity 63W to 323W at Ashrae Conditon*. Recuperado el 17 de noviembre de 2022, a partir de R134A 220-240V/50-60Hz Lbp Refrigerator Compressor 1/16HP to 2/5HP Cooling Capacity 63W to 323W at Ashrae Conditon
- Jankovic, D. S., Milenkovic, A. M., & Djordjevic, A. I. (2020). Improving the Concept of Medication Vending Machine in the Light of COVID-19 and other Pandemics. *2020 55th International Scientific Conference on Information*,

Communication and Energy Systems and Technologies, ICEST 2020 - Proceedings, 42–45. <https://doi.org/10.1109/ICEST49890.2020.9232916>

- Kelechava, B. (2021, octubre 6). *NSF/ANSI 25-2021: Vending Machines for Food and Beverages*. <https://blog.ansi.org/nsf-ansi-25-2021-vending-machines-food-beverages/#gref>
- Khader, N., Lashier, A., & Yoon, S. W. (2016). Pharmacy robotic dispensing and planogram analysis using association rule mining with prescription data. *Expert Systems with Applications*, 57, 296–310. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.02.045>
- Kros, J. F., Kirchoff, J. F., & Falasca, M. (2019). The impact of buyer-supplier relationship quality and information management on industrial vending machine benefits in the healthcare industry. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 25(3). <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2018.06.005>
- Lester, A. (2014). *Project Management, Planning, and Control* (6a ed.). Elsevier. <http://elsevier.com/locate/permissions>,
- Ministerio de Salud Pública. (2022, agosto 26). *MSP impulsa 5 estrategias para el abastecimiento de medicamentos e insumos – Ministerio de Salud Pública*. <https://www.salud.gob.ec/msp-impulsa-5-estrategias-para-el-abastecimiento-de-medicamentos-e-insumos/>
- MiSUMi. (s/f). *Motor paso a paso de alto torque NEMA 23*. MiSUMi. Recuperado el 20 de octubre de 2022, a partir de <https://mx.misumi-ec.com/es/vona2/detail/110302499640/>
- Otiashvili, D., Kirtadze, I., Mgebrishvili, T., Beselia, A., Tabatadze, M., Vardanashvili, I., & Ober, A. J. (2022). Implementation and evaluation of a syringe vending machine trial in Tbilisi, Georgia. *International Journal of Drug Policy*, 103. <https://doi.org/10.1016/j.drugpo.2022.103649>
- Penna, M., Gowda, D. v, Jijesh, J. J., & Shivashankar. (2017). *Design and Implementation of Automatic Medicine Dispensing machine*. 2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT). <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2017.8256941>
- Penoncello, S. (2018). *Thermal energy systems: Design and analysis* (2a ed.). CRC Press.
- Química Comercial Andina SAS. (2020). *FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD HCFC REFRIGERANTE 22*. www.qca.com.co
- Riva, C. (2002). *Diseño concurrente* (Edicions UPC). <http://hdl.handle.net/2099.3/36754>

- Rudick, A., Carlson, P., & Howell, T. (2001). Vending Machine (Patent Núm. US 6,199,720 B1). En *United States Patent* (US 6,199,720 B1).
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (1989). *CPE INEN 003: Código de dibujo técnico, mecánico*.
- Teknika4. (s/f). *ALUMINIO 6063*. Teknika4. Recuperado el 20 de octubre de 2022, a partir de <https://www.teknika4.com/es/aluminio-6063>
- The American Society of Mechanical Engineers. (2021). *B31T - 2021: Standard Toughness Requirements for Piping*. <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b31t-standard-toughness-requirements-piping/2021/drm-enabled-pdf>
- US Food and Drug Administration. (2008). *Guidance for Industry #5 - Drug Stability Guidelines*. <http://www.fda.gov/downloads/AnimalVeterinary/GuidanceComplianceEnforcement/GuidanceforIndustry>.

ANEXO A: RESULTADOS DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DE SOLUCIONES

Anexo A.1: Sistema de dosificación

Tabla 14. Evaluación del peso específico del sistema de dosificación de insumos médicos criterio 1: Alta confiabilidad

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Solución A		0	1	0.5	2.5	0.25
Solución B	1		1	1	4	0.40
Solución C	0	0		0	1	0.10
Solución D	0.5	0	1		2.5	0.25
					10	1

Tabla 15. Evaluación del peso específico del sistema de dosificación de insumos médicos criterio 2: Bajo precio

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Solución A		0	0	0	1	0.10
Solución B	1		0	0	2	0.20
Solución C	1	1		1	4	0.40
Solución D	1	1	0		3	0.30
					10	1

Tabla 16. Evaluación del peso específico del sistema de dosificación de insumos médicos criterio 3: Mayor versatilidad

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Solución A		0.5	1	1	3.5	0.35
Solución B	0.5		1	1	3.5	0.35
Solución C	0	0		1	2	0.20
Solución D	0	0	0		1	0.10
					10	1

Anexo A.2: Sistema de transporte y entrega

Tabla 17. Evaluación del peso específico del sistema de transporte y entrega criterio 1: Alta confiabilidad

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Solución A		1	1	3	0.50
Solución B	0		1	2	0.33
Solución C	0	0		1	0.17
				6	1

Tabla 18. Evaluación del peso específico del sistema de transporte y entrega criterio 2: Alta versatilidad

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Solución A		1	0.5	2.5	0.42
Solución B	0		0	1	0.17
Solución C	0.5	1		2.5	0.42
				6	1

Tabla 19. Evaluación del peso específico del sistema de transporte y entrega criterio 3: Bajo precio

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Solución A		1	0	2	0.33
Solución B	0		0	1	0.17
Solución C	1	1		3	0.50
				6	1

Tabla 20. Evaluación del peso específico del sistema de transporte y entrega criterio 4: Bajo tiempo de entrega

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Suma+1	Ponderado de la Calificación
Solución A		1	0	2	0.33
Solución B	0		0	1	0.17
Solución C	1	1		3	0.50
				6	1

ANEXO B: GESTIÓN DEL PROYECTO

Anexo B.1: Diagrama de Gantt inicial

En la siguiente tabla se presenta el Diagrama de Gantt planteado al inicio de la propuesta del proyecto.

Tabla 21. Diagrama de Gantt propuesto al inicio del proyecto

	Semanas del Semestre																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Definición y Problemática (Requerimientos)	█	█	█	█	█	█											
Desmantelamiento y Evaluación de partes antiguas			█	█	█	█											
Diseño de la Fachada				█													
Estructura				█													
Sistemas de Dispensadores					█												
Sistema de Entrega y Recolección						█											
Organización Interna							█										
Sistema de HVAC								█									
Sistemas de Electrónico									█								
Inicio construcción										█							
Prototipado (Estructuras y Actuadores)								█	█	█							
Identificación y Modificación										█	█	█					
Ensamblado final											█	█	█	█			
Pruebas y Revisiones												█	█	█	█		
Entrega final													█	█	█	█	
Finalización construcción																	█

Anexo B.2: Presupuesto inicial

En la siguiente tabla se presenta el presupuesto planteado al inicio de la propuesta del proyecto.

Este presupuesto era de \$570.4.

Tabla 22. Tabla de costos inicial

Ítem	Código (si aplica)	Descripción	Qty	Costo Unitario	Lo que costó
1	C01 - 01	Lateral Conveyor 1	2	8.26	16.52
2	C02 - 01	Lateral Conveyor 2	2	8.26	16.52
3	C03 - 01	Eje Motriz Conveter	2	1.75	3.50
4	C04 - 00	Ensamble Eje4 Conducido	2	1.75	3.50
5	C04 - 01	Rodillo Eje Conducido	2	1.75	3.50

6	C04 - 02	Eje Guía Conducido	2	1.75	3.50
7	C05 - 01	Unión entre Laterales Conveyor	12	1.38	16.52
8	C06 - 01	Unión para Soporte del Motor	2	8.26	16.52
9	C07 - 01	Pieza de Tensión	4	4.13	16.52
10	C08 - 01	Eje de Engranajes	2	1.75	3.50
11	C09 - 01	Plancha de Acrílico	2	8.26	16.52
12	C13 - 01	Engranaje de Transmisión 1	2	0.50	1.00
13	C12 - 01	Engranaje de Transmisión 2	2	0.50	1.00
16	C14 - 01	Banda lisa	2	10.08	20.16
17	L293D v1	Driver puente H	2	1.56	3.13
18	625-2rs	Rodamientos	4	2.01	8.02
19	AS 1420 - 1973 - M5X12	Perno tipo Allen (Hexagonal)	20	0.11	2.27
20	AS 1427 - M4X10	Perno avellanado	10	0.10	1.00
21	AS 1427 - M5X75	Perno plano largo (pasador)	2	0.50	1.00
22	AS 1420 - 1973 - M3X8	Perno tipo Allen (Hexagonal)	6	0.03	0.18
23	AS 1112 - M3 tipo 5	Tuerca hexagonal	10	0.01	0.11
24	AS 1112 - M4 tipo 5	Tuerca hexagonal	10	0.02	0.22
25	AS 1112 - M5 tipo 5	Tuerca hexagonal	22	0.02	0.47
26	N20	Motorreductor	2	7.81	15.63
27	E-E001	Estructura Soporte Cajones	1	215.00	215.00
28	RIEL EXTENSIÓN TNN24"	Correderas	2	10.28	20.56
29	RIEL 3644	Riel para base Robot/Elevador	2	25.00	50.00
			Total		456.37
			Total + Imprevistos (25%)		\$ 570.46

Anexo B.3: Presupuesto para construir la Farmabot completamente

En la siguiente tabla se presenta el presupuesto completo para la construcción de la Farmabot para un futuro. Este presupuesto es de \$6129.99.

Tabla 23. Presupuesto total para la construcción de la Farmabot

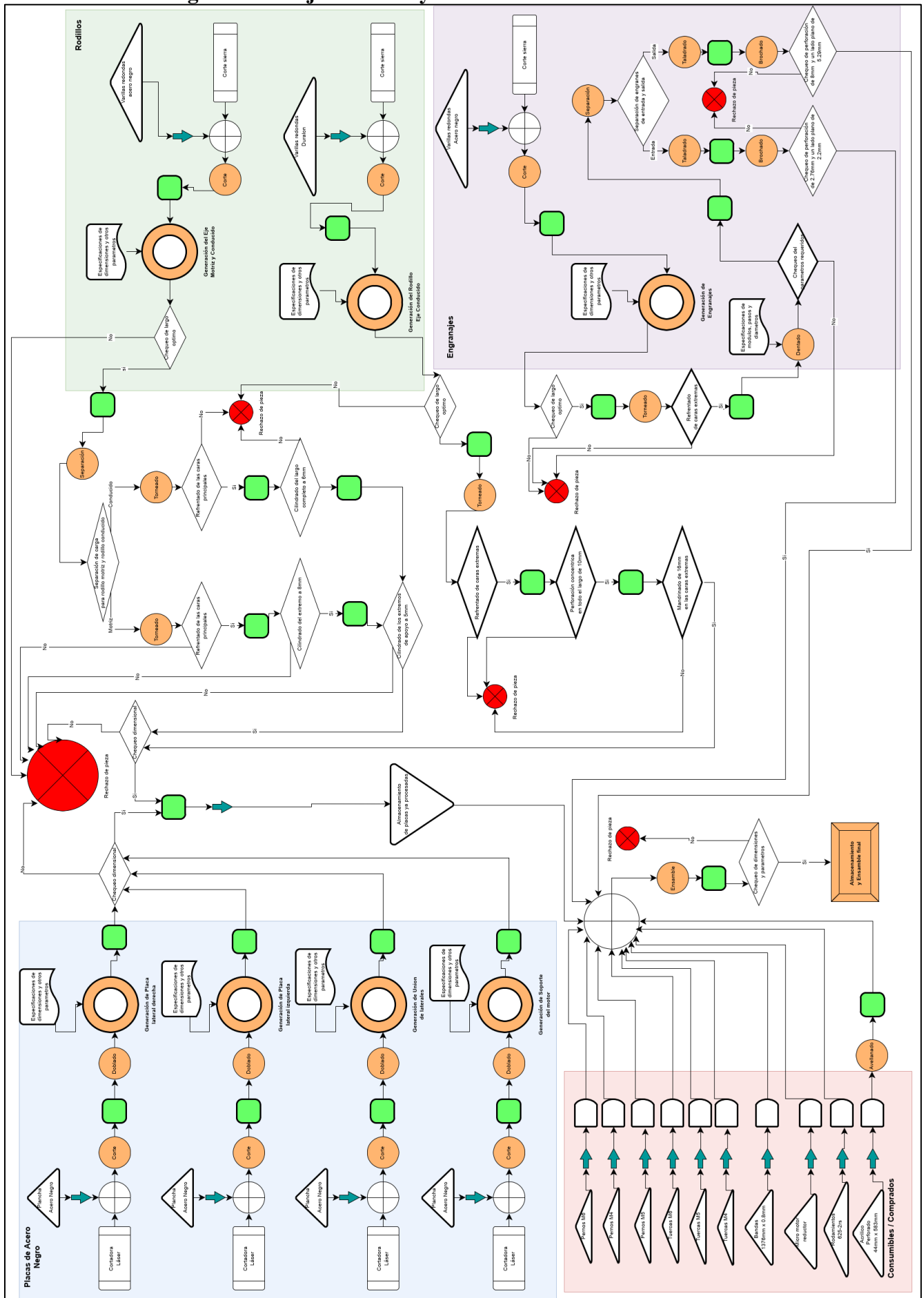
Ítem	Código (si aplica)	Descripción	Subsistema	Unid	Qty	Precio Unit	Precio Total
1	N/A	Placa Chapa Acero Negro A36	Carcasa	M2	9	23.20	208.79
2	N/A	Bandeja Acero Negro A36	Estructura	M2	6	26.50	159.00
3	N/A	Platinas para cajones	Estructura	M	7.2	4.62	33.23
4	N/A	Driver A4988	Electrónicos	EA	2	5.36	10.72
5	N/A	Motores Paso a Paso 7.4V	Electrónicos	EA	1	15.00	15.00
6	N/A	Plancha para la bandeja del elevador	Robot (Recolección)	EA	1	15.00	15.00
7	N/A	Guía de Bandas (pieza metal)	Robot (Recolección)	EA	1	21.00	21.00
8	N/A	Vidrio Laminado	Carcasa	M2	0.9	66.67	60.00
9	N/A	Tubería de cobre cedula 3/8 L	Refrigeración	M	15	15.00	225.00

10	N/A	Motor / Compresor Ártico De 1/5 Nevera Para Refrigeradora	Refrigeración	EA	1	63.00	63.00
11	N/A	VALVULA DE EXPANSION ORIGINAL REFRIGERADORA TODAS LAS MARCAS	Refrigeración	EA	1	25.00	25.00
12	C01 - 01	Lateral Conveyor 1	Dispensadores	EA	48	4.13	198.28
13	C02 - 01	Lateral Conveyor 2	Dispensadores	EA	48	4.13	198.28
14	C03 - 01	Eje Motriz Conveyor	Dispensadores	EA	48	6.99	335.62
15	C04 - 00	Ensamble Eje4 Conducido	Dispensadores	EA	48	6.99	335.62
16	C04 - 01	Rodillo Eje Conducido	Dispensadores	EA	48	6.99	335.62
17	C04 - 02	Eje Guía Conducido	Dispensadores	EA	48	6.99	335.62
18	C05 - 01	Unión entre Laterales Conveyor	Dispensadores	EA	192	1.03	198.28
19	C06 - 01	Unión para Soporte del Motor	Dispensadores	EA	48	4.13	198.28
20	C07 - 01	Pieza de Tensión	Dispensadores	EA	96	2.07	198.28
21	C08 - 01	Eje de Engranajes	Dispensadores	EA	48	6.99	335.62
22	C09 - 01	Plancha de Acrílico	Dispensadores	EA	48	4.13	198.28
23	C13 - 01	Engranaje de Transmisión 1	Dispensadores	EA	48	1.67	80.16
24	C12 - 01	Engranaje de Transmisión 2	Dispensadores	EA	48	1.67	80.16
25	C14 - 01	Banda lisa	Dispensadores	EA	48	9.97	478.56
26	625-2rs	Rodamientos	Dispensadores	EA	96	8.02	769.92
27	AS 1420 - 1973 - M5X12	Perno tipo Allen (Hexagonal)	Dispensadores	EA	480	0.11	54.57
28	AS 1427 - M4X10	Perno avellanado	Dispensadores	EA	240	0.10	23.99
29	AS 1420 - 1973 - M3X8	Perno tipo Allen (Hexagonal)	Dispensadores	EA	144	0.03	4.32
30	AS 1112 - M3 tipo 5	Tuerca hexagonal	Dispensadores	EA	240	0.01	2.69
31	AS 1112 - M4 tipo 5	Tuerca hexagonal	Dispensadores	EA	240	0.02	5.38
32	AS 1112 - M5 tipo 5	Tuerca hexagonal	Dispensadores	EA	528	0.02	11.22
33	M DIN965 304(A2) 4X16	Perno M4	Estructura	EA	768	0.06	46.08
34	M DIN965 304(A2) 6X16	Perno M6	Estructura	EA	480	0.13	62.40
35	N934 304(A2) 4X0.70	Tuerca M4	Estructura	EA	368	0.03	11.04
36	N934 304(A2) 6X1.00	Tuerca M6	Estructura	EA	80	0.05	4.00
37	Cargador 5V 2A	Cargador	Electrónicos	EA	1	4.46	4.46
38	Micromotor 30rpm 12V	Motorreductor	Dispensadores	EA	48	7.14	342.72
39	E-E001	Estructura Soporte Cajones	Estructura	EA	1	215.00	215.00
40	RIEL EXTENSIÓN TNN24"	Par Correderas	Estructura	EA	2	10.28	20.56
41	RIEL 3644	Riel para base Robot/Elevador	Robot (Recolección)	EA	2	25.00	50.00

42	Bandeja Robot	Bandeja Robot	Robot (Recolección)	EA	1	22.00	22.00
43	3171062046-N	Fuente de Poder 12V 5A	Electrónicos	EA	1	12.94	12.94
44	Hc-sr04	Sensor Ultrasónico	Electrónicos	EA	1	2.68	2.68
45	Hx711	Modulo Hx711	Electrónicos	EA	1	2.68	2.68
46	Capacitor	Capacitor 100mΩ	Electrónicos	EA	1	0.27	0.27
47	DIO023	Fotodiodo Receptor	Electrónicos	EA	1	0.63	0.63
48	DIO025	Fotodiodo Emisor	Electrónicos	EA	1	0.63	0.63
49	H&B	Resistencias 1/2W	Electrónicos	EA	8	0.29	2.29
50	DIO024	Foto transmisor	Electrónicos	EA	1	3.13	3.13
51	CORREADE	Correa dentada gt2	Robot (Recolección)	EA	7	3.25	22.75
52	Riel 3646	Riel CEDAL Rinox	Robot (Recolección)	EA	2	44.64	89.28
						Total	\$ 6129.99

ANEXO C: PLAN DE MANUFACTURA

Anexo C.1: Diagrama de flujo del conveyor



Anexo C.2: Hoja de proceso del eje motriz

USFQ		Hoja de procesos																			
		Sub-sistema	Conveyor	Material	Acero																
		Código plano	C03-01	Dimensiones en bruto																	
		Autor	S.Insuasti	Revisado por		L.Cornejo															
		Fecha	12/10/2022	Fecha		12/10/2022															
Etapas	Fases	Esquema	N. Operación	Descripción	Proceso	Tipo	Superficie	Herramienta de control	Herramienta de mecanizado	Pasada	Velocidad	Avance	Tiempo de trabajo en máquina (s)								
									Número	Paso [mm]	RPM	mm/min	Tiempo de acercamiento	Tiempo de cambio de condiciones	Tiempo de cambio de herramienta	Tiempo de verificación	Tiempo de preparación (s)	Costo por hora de uso	Costo		
Torno manual	1		1	Remoción de material para eliminar imperfecciones del material base.	Refrentado	Desbaste	G	Calibrador	Buril calado corte izquierdo 15 grados	20	0.25	1200	250	62.5	45	60	0	15	120	10	0.84
	2		1	Disminución del diámetro del cilindro hasta la dimensión de diámetro más grande del eje: 25 mm	Cilindrado	Desbaste	D	Calibrador	Buril calado corte izquierdo 15 grados	4	0.25	1000	250	62.5	45	60	0	15	45	20	1.26
Torno CNC	3		2	Disminución del diámetro a 5 mm en la superficie E, y dar la vuelta al cilindro	Cilindrado	Desbaste	E	Micrómetro	Buril calado corte izquierdo 15 grados	40	0.25	1000	250	76.92308	1	30	0	30	60	20	1.10
			3	Disminución del diámetro a 8 mm en la superficie B.	Cilindrado	Desbaste	B	Calibrador	Buril calado corte izquierdo 15 grados	34	0.25	1000	250	147.1154	1	0	0	15	45	20	1.16
	4		4	Disminución del diámetro a 5 mm en la superficie A.	Cilindrado	Desbaste	A	Micrómetro	Buril calado corte izquierdo 15 grados	15	0.1	1000	250	21.63462	1	0	0	30	60	20	0.63
			5	Maquinado radios de acuerdo superficie F	Torneado	Acabado	F	Calibrador	Buril calado corte izquierdo 15 grados	4	0.1	1000	250	1.923077	1	0	0	45	20	0.27	
			6	Maquinado radios de acuerdo superficie F	Torneado	Acabado	F	Calibrador	Buril calado corte izquierdo 15 grados	4	0.1	1000	250	1.923077	45	0	0	45	20	0.51	
	5		7	Maquinado radios de acuerdo superficie F	Torneado	Acabado	F	Calibrador	Buril calado corte izquierdo 15 grados	4	0.1	1000	250	1.923077	45	30	0	0	45	20	0.68
			1	Maquinado sección recta a 1 mm de profundidad desde el exterior de la superficie C	Fresado	Desbaste	C	Calibrador	Broca	4	0.25	780	120	8	30	0	0	30	15	10	0.28

Figura 15. Hoja de proceso del eje motriz

Anexo C.3: Hoja de proceso del eje conducido

USFQ		Hoja de procesos																			
		Sub-ensamble	Conveyor	Material	Duración																
		Código plano	C04-01	Dimensiones en bruto		Cilindro de 50 cm de largo															
		Autor	S.Insuasti	Revisado por		L.Cornejo															
		Fecha	12/10/2022	Fecha		12/10/2022															
Etapas	Fases	Esquema	N. Operación	Descripción	Proceso	Tipo	Superficie	Herramienta de control	Herramienta de mecanizado	Pasada	Velocidad	Avance	Tiempo de trabajo en máquina (s)								
									Número	Paso	RPM	mm/min	Tiempo de acercamiento	Tiempo de cambio de condiciones	Tiempo de cambio de herramienta	Tiempo de verificación	Tiempo de preparación	Costo por hora de uso	Costo		
Torno CNC	1		1	Reducción del cilindro de materia prima hasta un diámetro de 25 mm.	Cilindrado	Desbaste	A	Calibrador	Buril calado corte izquierdo 15 grados	20	0.25	700	250	211.54	45	60	0	15	0	20	1.84
	2		1	Perforado en el centro de la superficie B, agujero pasante de 10 mm de diámetro.	Perforado	Desbaste	B	Calibrador	Broca de 10 mm	1	-	300	250	10.58	30	30	120	15	45	20	1.39
	3		1	Mandrinado para formar la superficie E con una circunferencia de 16 mm de diámetro.	Mandrinado	Desbaste	E	Calibrador	Buril-DIN 4974	12	0.25	700	250	28.85	45	30	120	45	0	20	1.49
2			Mandrinado para formar la superficie C con una circunferencia de 16 mm de diámetro.	Mandrinado	Desbaste	C	Calibrador	Buril-DIN 4974	12	0.25	700	250	28.85	45	60	0	45	0	20	0.99	

Figura 16. Hoja de proceso del eje conducido

Anexo C.4: Hoja de proceso del eje guía conducido

Espan		Ejes	Esquema	N Operación	Descripción	Proceso	Tipo	Superficie	Herramienta de control	Hojas de procesos				Tiempo de maniobra															
										Sub ensamble	Conveyor	Material	Acero	Dimensiones en bruto	Código plano	CD4-02	Revisado por	L.Cornejo	Fecha	12/10/2022	Fecha	12/10/2022	Numero	Paso	Velocidad	Avance	Numero de mecanizado	Numero	Paso
Torno manual	1			1	Refrentado del cilindro	Refrentado	Desbaste	C	Calibrador	Buril calzado corte izquierdo 15 grados	20	0.25	1000	250	13.04	45	45	60	15	120	10	0.83							
					Cilindrado de la superficie C para formar la superficie B.	Cilindrado	Desbaste	C	Calibrador	Buril calzado corte izquierdo 15 grados	2	0.25	1000	250	28.61	0	0	0	45	0	20	0.41							
Torno CNC	2			2	Cilindrado de la superficie C para formar la superficie D.	Cilindrado	Desbaste	C	Calibrador	Buril calzado corte izquierdo 15 grados	2	0.25	1000	250	6.49	0	0	0	45	0	20	0.29							
				3	Cilindrado de la superficie B para formar la superficie A.	Cilindrado	Desbaste	B	Calibrador	Buril calzado corte izquierdo 15 grados	4	0.25	1000	250	4.33	45	45	0	15	0	20	0.61							
				4	Cilindrado de la superficie D para formar la superficie E.	Cilindrado	Desbaste	D	Calibrador	Buril calzado corte izquierdo 15 grados	4	0.25	1000	250	4.33	0	0	0	15	0	20	0.11							
				1	Roscar la superficie A	Roscado	Desbaste	A	Tuerca M3x0.5	Buril con Herramienta 11er	3	0.1	800	700	1.33	45	45	120	15	0	20	1.26							
				2	Roscar la superficie E	Roscado	Desbaste	E	Tuerca M3x0.5	Buril con Herramienta 11er	3	0.1	800	700	1.33	45	45	0	15	0	20	0.59							

Figura 17. Hoja de proceso del eje guía conducido

ANEXO D: ANÁLISIS DE INGENIERÍA

Anexo D.1: Cálculos para el motor usado con las bandas

El siguiente caso para tratar es la selección del motor adecuado para poder las bandas transportadoras del conveyor. Con este fin, se toma en cuenta datos con la velocidad inicial (la cual, en cada caso de movimiento será cero debido a que parte del reposo), la masa del conveyor, el radio de los ejes (por los que pasa la banda) y el tiempo deseado óptimo en el que debería moverse el producto de un lado a otro (5 segundos para recorrer 2cm). Toda la información mencionada se presenta en la sección de datos.

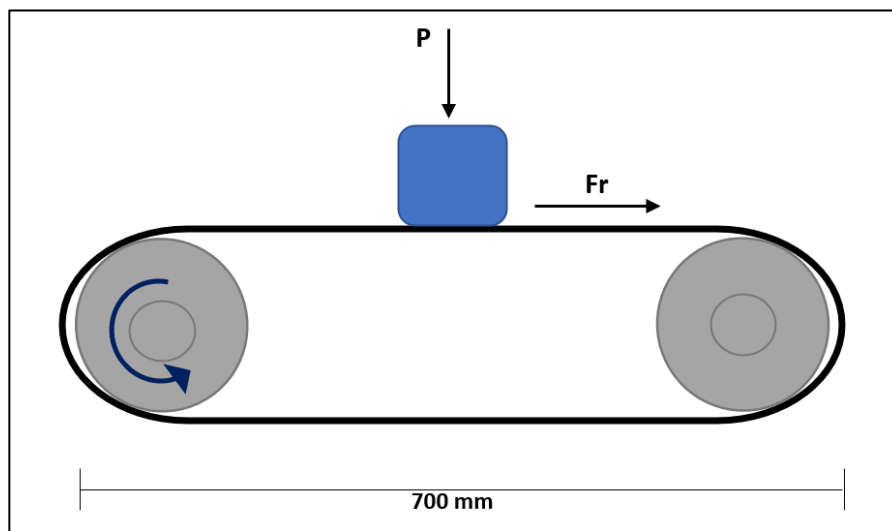


Figura 18. Diagrama de la banda transportadora

Datos:

$$V_o = 0 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$m = 3 \text{ [kg]}$$

$$l = 700 \text{ [m]}$$

$$d = 6 \text{ [cm]} = 0.06 \text{ [m]}$$

$$t = 3 \text{ [s]}$$

$$r = 11.75 \text{ [mm]} = 1.175 \times 10^{-2} \text{ [m]}$$

$$\mu_{caucho} = 0.56 \text{ (Engineers Edge, 2022)}$$

La función principal que debe cumplir el motor es poder generar el torque necesario para mover la banda, por lo tanto, el primer paso a realizar es encontrar el torque necesario para esta función y que a la vez cumpla con las expectativas del movimiento. Para encontrar el torque total se toma en cuenta el torque resistivo al movimiento y el torque inercial:

$$T_m = T_R + T_i$$

Para el primer caso del torque resistivo, se calcula la fuerza que se va a oponer al movimiento que en este caso es la fuerza de fricción y para realizarlo se recuerda que la fuerza de fricción es igual al coeficiente de fricción por la fuerza normal:

$$T_R = F_r * r = \mu_{caucho} * N * r = 0.56 * N * r$$

$$T_R = 0.56 * 3 * 9.8 * 1.175 \times 10^{-2} = 0.1934 \text{ [Nm]}$$

Por otro lado, se encuentra el torque creado por la fuerza de la velocidad a la hora del movimiento. Para poder determinarlo se realiza un análisis dinámico. Primero, se encuentra la aceleración que debería tener por medio de la fórmula de movimiento rectilíneo uniformemente variado.

$$d = V_0 * t + \frac{1}{2} * a * t^2$$

$$d = \frac{1}{2} * a * t^2$$

$$a = \frac{2d}{t^2} = \frac{2 * (0.06)}{(3)^2} = 0.013 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

Una vez que se obtiene la aceleración, es posible encontrar la fuerza ya que esta es.

$$T_i = F_i * r$$

Al reemplazar el valor de fuerza con $F_i = m * a$.

$$T_i = m * a * r$$

Finalmente, con la fuerza y el radio se encuentra el torque de la siguiente manera:

$$T_i = 3 \text{ [kg]} * 0.013 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] * 1.175 \times 10^{-2} \text{ [m]} = 0.0000458 \text{ [Nm]}$$

Por lo tanto, se tiene que el torque final es el siguiente:

$$T_m = T_R + T_i$$

$$T_m = 0.1932 \text{ [Nm]} + 0.0000458 \text{ [Nm]}$$

$$T = 0.1932 \text{ [Nm]}$$

Para determinar las revoluciones, se calcula con la velocidad máxima durante el proceso que sería el punto de menor torque y por lo tanto el más crítico:

$$V = V_o + at = 0.013(3) = 0.039 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Mediante la velocidad lineal obtenida, se calcula la velocidad angular al dividir para el radio.

$$\omega = \frac{V}{r} = \frac{0.039 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]}{1.175 \times 10^{-2} \text{ [m]}} = 3.3191 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

Para obtener las revoluciones por minuto solo se requiere de conversiones:

$$\omega = 3.3191 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] * \frac{1 \text{ [rev]}}{2 * \pi \text{ [rad]}} * \frac{60 \text{ [s]}}{1 \text{ [min]}} = 31.7 \text{ [rpm]}$$

Además, la velocidad angular y torque que se requiere también se obtiene por medio de la transmisión de engranajes cuya representación gráfica se encuentra en la Figura 10, la cual tiene

una relación de 1/1.1. Debido a esto, la relación entre torques y entre velocidades angulares se representan de la siguiente manera:

$$\frac{T_m}{T_M} = \frac{1}{1.1} \rightarrow T_m = \frac{1}{1.1} T_M = 0.1756 \text{ [Nm]}$$

$$\frac{\omega_m}{\omega_M} = 1.1 \rightarrow \omega_m = 1.1 * \omega_M = 34.87 \text{ [rpm]}$$

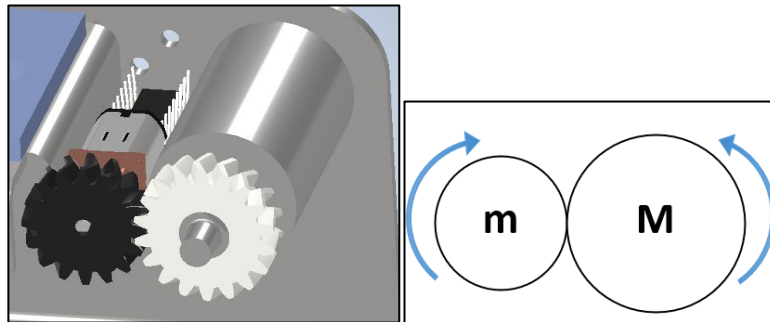


Figura 19. Diagrama de la distribución de engranajes- m (engrane motor) y M (engrane eje)

Para poder encontrar el motor adecuado se usan los siguientes valores como coordenadas:

$$\tau_m = 0.1756 \text{ Nm} * \frac{1 \text{ [kgf]}}{9.8 \text{ [N]}} * \frac{100 \text{ [cm]}}{1 \text{ [m]}} = 1.79 \text{ [kgf cm]}$$

$$\omega = 34.87 \text{ [rpm]}$$

Con estos valores se conoce que se requiere un motor DC de alto torque a bajas revoluciones, por lo que se considera un motor N20 de 30 [rpm]. Este motor a pesar de ir ligeramente más lento de lo deseado permite un torque de 1.5 [kg] cm, lo que es 8.54 veces más de lo deseado, permitiendo llevar objetos mucho más pesados y evitando problemas como atrancamientos por exceso de fricción.

Anexo D.2: Cálculos del sistema del elevador

- Anexo D.2.1: Cálculos del motor del robot

Otro caso importante de análisis es el cálculo de torque y velocidad angular con lo que debe cumplir el motor con el fin de realizar correctamente su función, y mediante estos poder hacer su selección. Para realizar los cálculos pertinentes se toma en cuenta el peso que va a cargar el elevador.

Datos:

$$P=4 \text{ [kg]}$$

$$d_{\text{recorrido}}=1 \text{ [m]}$$

$$t=10 \text{ [s]}$$

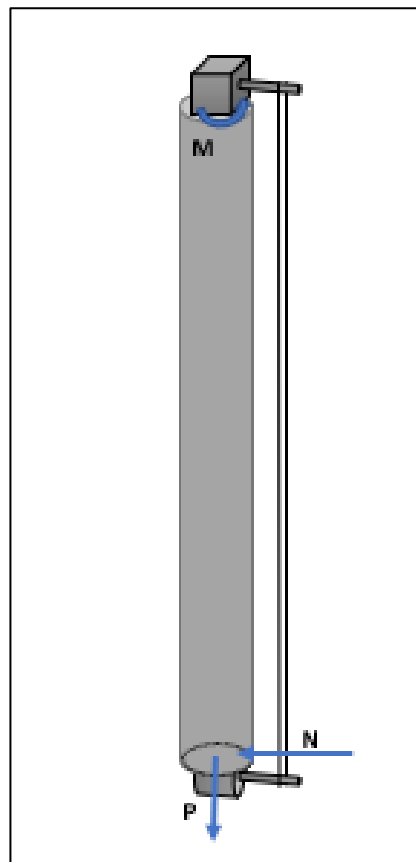


Figura 20. Diagrama de la barra que sostiene la bandeja del elevador

El torque que deben realizar los actuadores se descompone en el torque inercial necesario para mover el objeto a una determinada velocidad y el torque resistivo que corresponde al torque producido por otros factores que se oponen a la rotación del motor.

$$T_M = T_R + T_i$$

El torque resistivo se obtiene a partir de analizar la distribución de cargas en la bandeja de entrega de producto. Se obtiene la ubicación del Centro de Gravedad con Inventor de la siguiente manera:

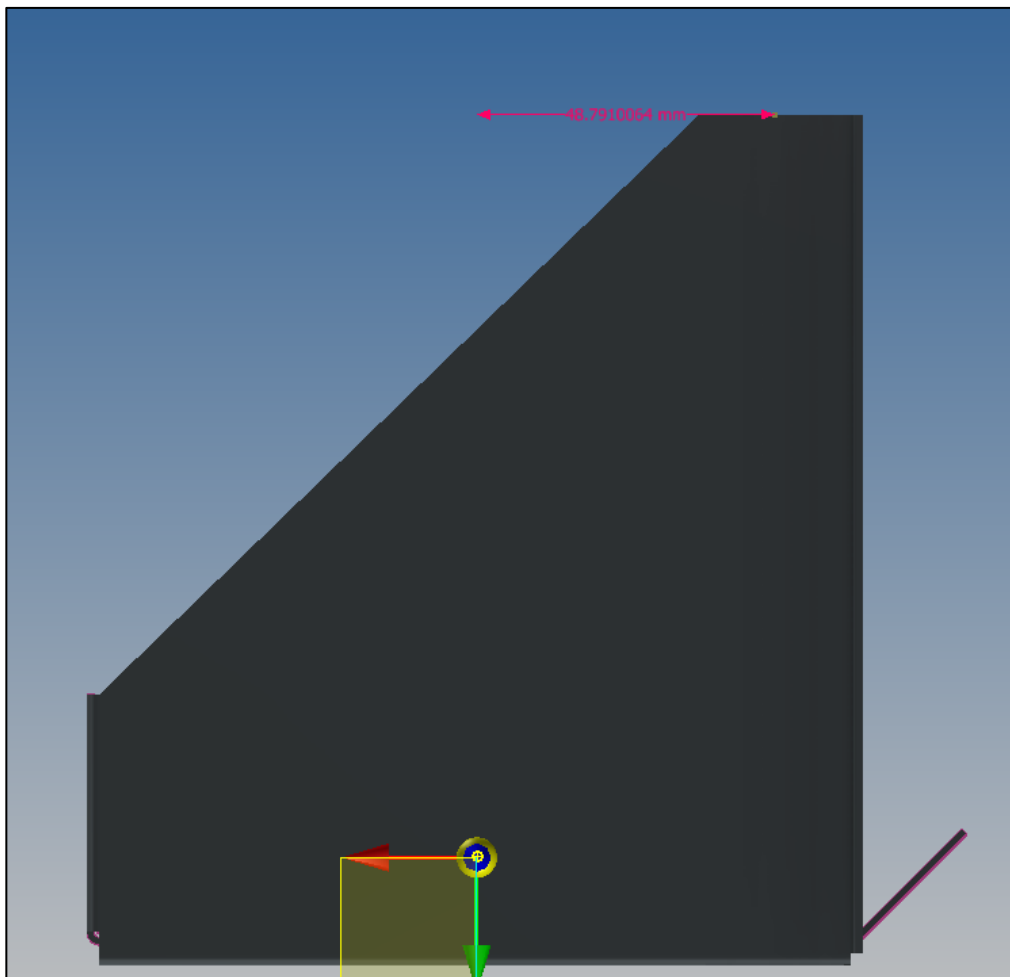


Figura 21. Centro de Gravedad de la Bandeja sin productos [Inventor]

El motor debe resistir el torque ejercido tanto por el peso de los productos (2[kg]) como el peso de la bandeja (1.25 [kg]). Se asume que el peso de los productos se ubicará aproximadamente en la misma posición que el centro de gravedad de la bandeja, por lo que el torque resistivo es:

$$T_R=(1.25[\text{kg}]+2 [\text{kg}]) \left(9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]\right) (0.048[\text{m}])=1.53 [\text{Nm}]$$

En este caso se considera que la fricción del mecanismo durante su funcionamiento es despreciable.

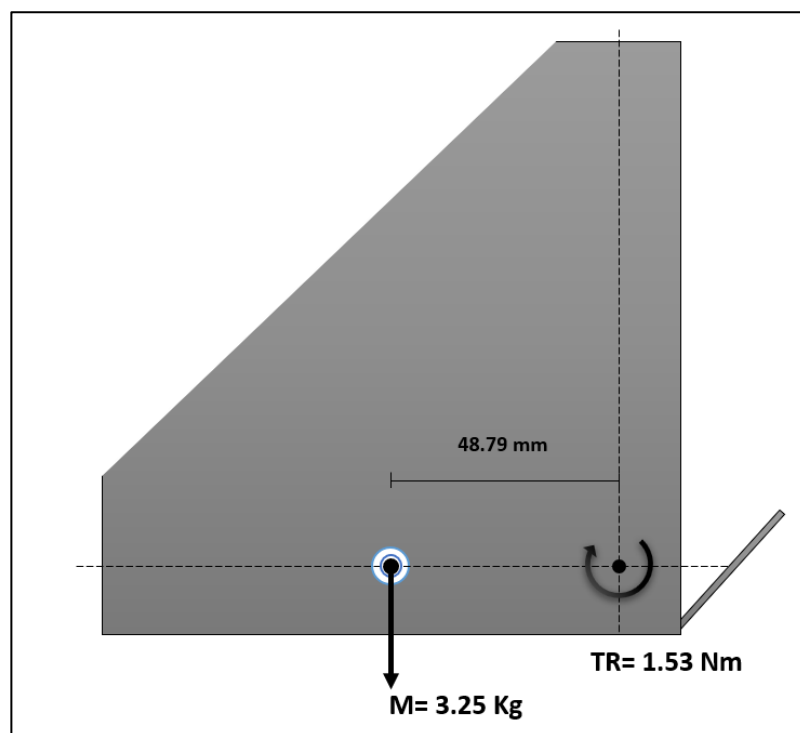


Figura 22. Diagrama de Torque resistivo del motor paso a paso del elevador

El torque inercial se obtiene considerando el peso total del elevador, la aceleración del movimiento y el brazo de palanca del centro de gravedad total del sistema (peso de bandeja más peso de productos). Para obtener la aceleración se considera que el elevador podrá recorrer 1 metro en 20 segundos que es lo esperado para el diseño, y mediante la fórmula de movimiento rectilíneo uniformemente variado se obtiene lo siguiente.

$$d=V_0 * t + \frac{1}{2} * a_T * t^2$$

$$d = \frac{1}{2} * a_T * t^2$$

$$a_T = \frac{2d}{t^2} = \frac{2 * (1 \text{ [m]})}{(20)^2} = 0.005 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

Para poder determinar el torque n se necesita conocer la magnitud de la fuerza que va a producir el torque, para esto, se realiza un balance de fuerzas en el eje “y” y se obtiene lo siguiente:

$$\sum F_y = m * a_y$$

$$F_I - m_y = m * a_y$$

$$F_I = m * a_y + m * g = m * (a_y + g) = (1.25 + 2) * (0.005 + 9.81) = 31.89 \text{ [N]}$$

Entonces, se tiene que el torque inercial es el siguiente:

$$T_i = F_i * r = m * a_M * r = 31.89 \text{ [N]} * 48.79 \times 10^{-3} \text{ [m]} = 1.556 \text{ [Nm]}$$

Y, por lo tanto, el torque total sería el siguiente:

$$T_M = T_R + T_i$$

$$T_M = 1.53 + 1.556 = 3.086 \text{ [Nm]}$$

Ya que se planea usar dos actuadores para elevar la plataforma, el torque que requiere cada uno es de:

$$T_M = \frac{T_M}{2} = \frac{3.086 \text{ Nm}}{2} = 1.543 \text{ [Nm]}$$

Para poder obtener las revoluciones por minuto, se determina la velocidad lineal final para, a partir de esta, obtener la velocidad angular al dividirla por el radio.

$$V_f = a * t = 0.005 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] * (20 \text{ [s]}) = 0.1 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$\omega = \frac{V_f}{r} = \frac{0.1 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]}{6 \times 10^{-3} \left[\text{m} \right]} = 16.67 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] * \frac{1 \left[\text{rev} \right]}{2 * \pi \left[\text{rad} \right]} = 2.65 \left[\frac{\text{rev}}{\text{s}} \right]$$

Con estos datos de torque y velocidad angular se busca en catálogos de motores. Como resultado de la búsqueda se obtiene que el motor seleccionad es el NEMA 23 que a 2.65 [rev/s] es capaz de proveer 280 [oz.in] O 1.977 [Nm], lo que es mayor a los 1.543 [Nm] requeridos. En la Figura 14 se puede observar el diagrama de torque-velocidad (MiSUMi, s/f).

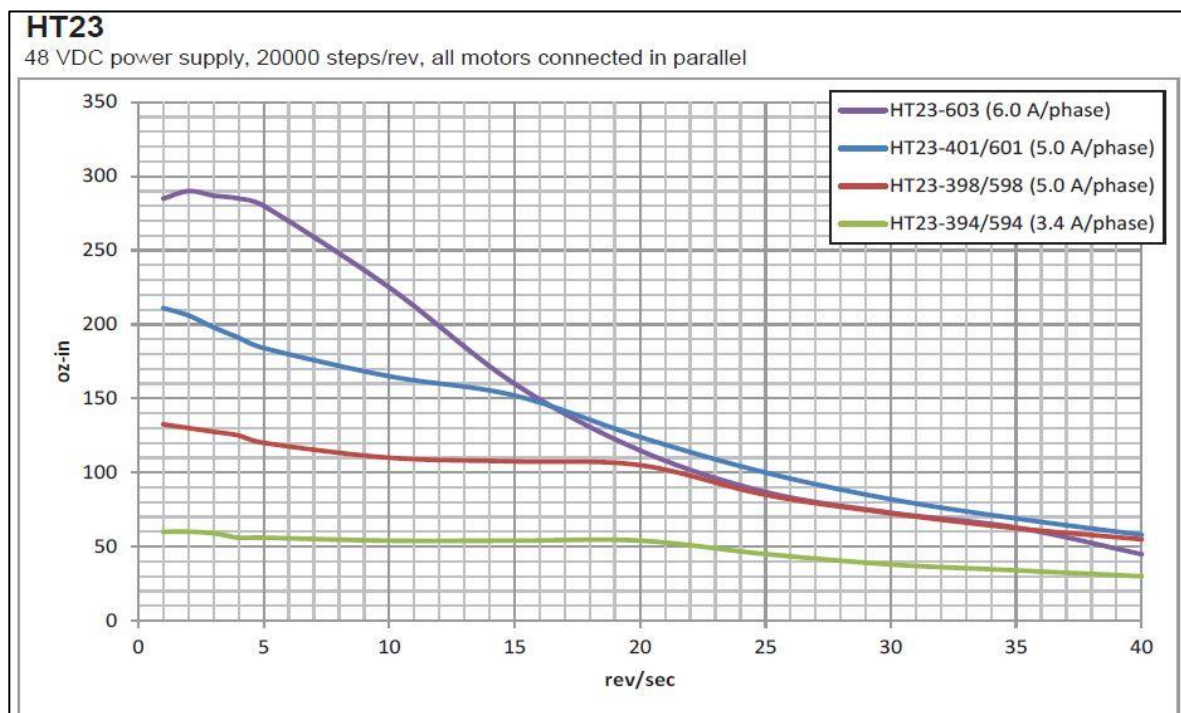


Figura 23. Curva torque velocidad para un motor NEMA 23

- **Anexo D.2.2: Cálculos del pandeo de columnas robot**

El sistema de transporte del producto desde el piso en el que se encuentra ubicado hasta el consumidor se compone de un elevador que recorre de abajo hasta arriba por medio de rieles hechas a partir de perfiles de aluminio. Esta pieza es considerada como crítica ya que las columnas pueden pandear debido al movimiento de la bandeja al movilizarse. Dentro de los datos necesario se encuentra la longitud de las columnas, el módulo de elasticidad (que se obtiene del aluminio 6063 que es el material de los perfiles que forman las columnas por la que

sube y baja el elevador) y finalmente se encuentra la inercia que pertenece también al perfil.

Esta se obtuvo por medio de inventor y se presenta en la siguiente figura.

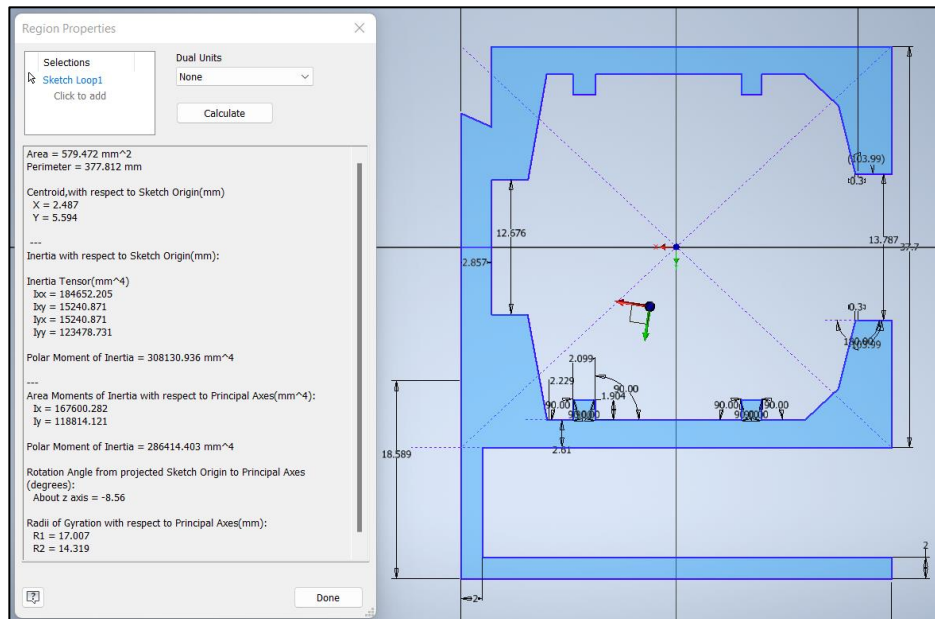


Figura 24. Obtención de Propiedades Geométricas de la Columna del Elevador [Inventor]

Datos:

$$L=1.5 \text{ [m]}$$

$$E=69.5 \times 10^9 \text{ [Pa]} \text{ (Teknika4, s/f)}$$

$$I=184652.205 \text{ [mm}^4\text{]}$$

Para mejor comprensión se presenta un esquema del caso a analizar en la Figura 16.

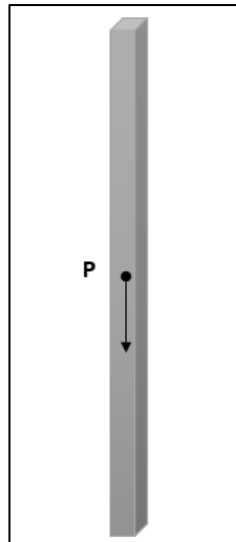


Figura 25. Diagrama de fuerzas en el sistema del elevador

Para iniciar, se debe encontrar la carga crítica para la columna, esta se calcula por medio de la ecuación de Euler que se muestra a continuación, la cual se obtuvo del libro mecánica de materiales de Beer Johnston, (Beer et al., 2014).

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{L_e^2}$$

Considerando que su instalación se representa por un empotramiento, se tiene que $k=0.5$ (Beer et al., 2014) para el caso de una columna donde ambos extremos se encuentran fijos. Por lo tanto, la longitud efectiva de la columna sería la siguiente.

$$L_e = 0.5 * L$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 69.5 \times 10^9 \left[\frac{N}{m^2} \right] * 184652.205 \times 10^{-12} [m^4]}{(0.5 * (1.5 [m]))^2} = 225173.108 [N]$$

Por lo que para que las columnas pandeen, cada una debería resistir una fuerza de 225.173 [kN] o 22961.256 [kgf], lo que es 45992 veces superior a los 5 [kg] que pesará la bandeja en conjunto con la carga máxima de productos, por lo que la columna no pandeará.

- **Anexo D.2.3: Cálculo de flexión de la columna del elevador**

Datos:

- Peso máximo de productos=2 [kg]
- Peso de la bandeja = 1.25 [kg]

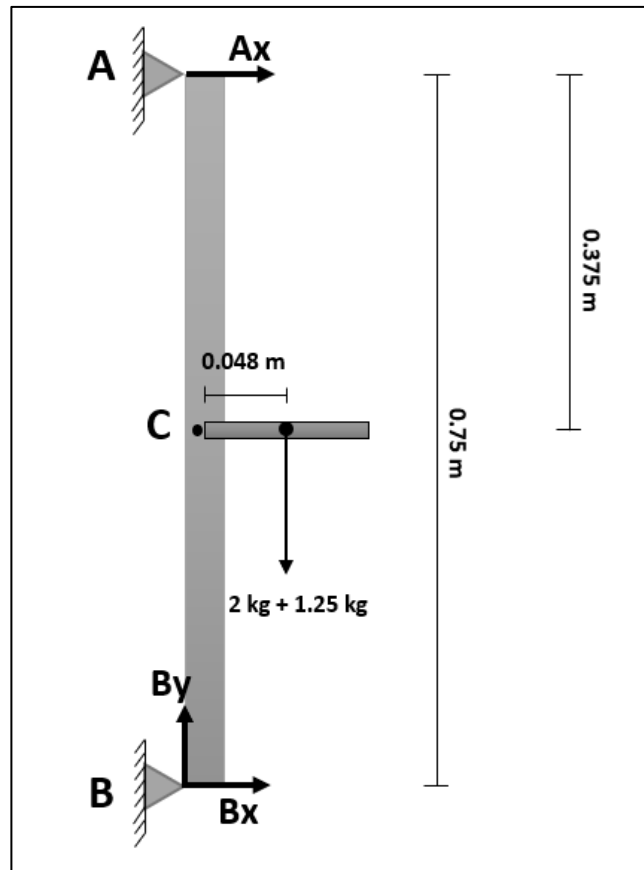


Figura 26. Diagrama del elevador en su posición de trabajo

$$M_P = 3.25 \text{ [kg]} * 0.048 \text{ [m]} * 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = 1.53 \text{ [Nm]}$$

$$P = 3.25 \text{ [kg]} * 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = 31.88 \text{ [N]}$$

A. Análisis de deflexión

Para encontrar las fuerzas faltantes se realiza un análisis de cuerpo libre:

Fuerzas en y

$$\sum F_y = 0$$

$$B_y - 31.88 = 0$$

$$B_y = 31.88 \text{ [N]}$$

Fuerzas en x

$$\sum F_x = 0$$

$$-A_y + B_x = 0$$

$$B_x = A_y$$

Momento

$$\sum M_A = 0$$

$$-1.53 + B_x * 0.75 = 0$$

$$B_x = \frac{1.53}{0.75} = 2.04 \text{ [N]}$$

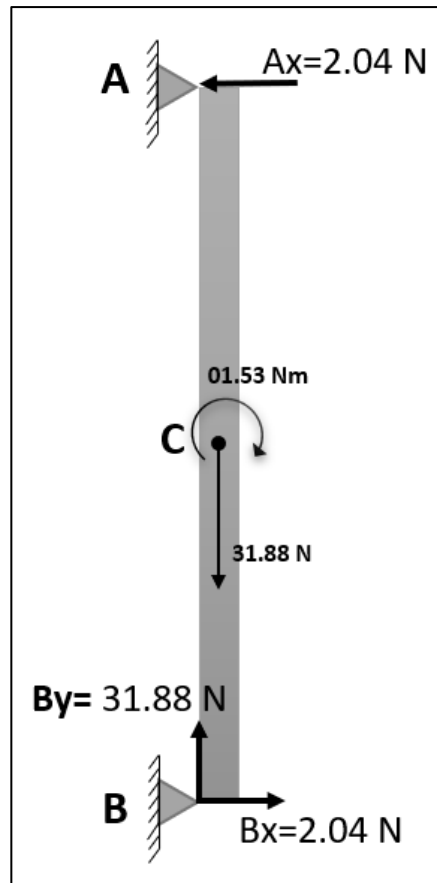


Figura 27. Diagrama con valores de fuerzas y momento.

Sección AC

La distancia que se analizará es $0 \leq X \leq 0.375$, en la figura se proporciona una representación:

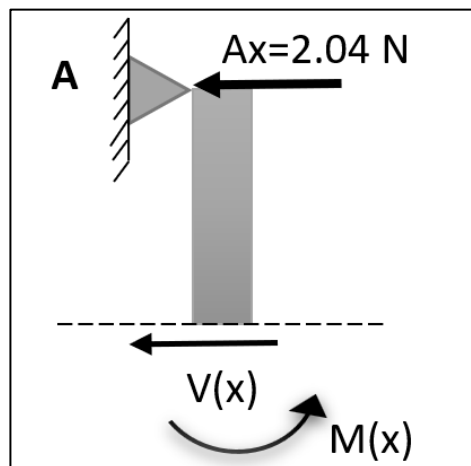


Figura 28. Diagrama sección AC

$$\sum F_y = 0$$

$$-A_x - V(x) = 0$$

$$V(x) = -A_x = -2.04 \text{ [N]}$$

$$\sum M_z = 0$$

$$A_x(x) + M(x) = 0$$

$$M(x) = -A_x(x) = -2.04 * x$$

Sección CB

La distancia que se analizará es $0.375 \leq X \leq 0.75$:

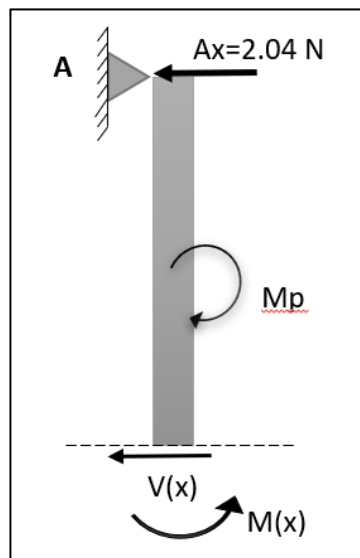


Figura 29. Diagrama sección CB

$$\sum F_y = 0$$

$$-A_x - V(x) = 0$$

$$V(x) = -A_x = -2.04 \text{ [N]}$$

$$\sum M_z = 0$$

$$A_x(x) - M_p + M(x) = 0$$

$$M(x) = -A_x(x) + M_p = -2.04 * x + 1.53$$

Sección AC

Para esto se consideran las siguientes condiciones iniciales:

- $CB_1\{x=0, y=0\}$
- $CB_2\{x=0.375, y_1=y_2\}$
- $CB_3\{x=0.375, \frac{dy_1}{dx} = \frac{dy_2}{dx}\}$
- $CB_4\{x=0.75, y_2=0\}$

Para la sección AC:

$$EI \frac{d^2 y_1}{dx^2} = -2.04 * x$$

$$EI \frac{dy_1}{dx} = -1.02 * x^2 + C_1$$

$$EI y_1(x) = -0.34 * x^3 + C_1 * x + C_2$$

Para la sección CD:

$$EI \frac{d^2 y_1}{dx^2} = -2.04 * x + 1.53$$

$$EI \frac{dy_1}{dx} = -1.02 * x^2 + 1.53 * x + C_3$$

$$EI y_2(x) = -0.34 * x^3 + 0.765 * x^2 + C_3 * x + C_4$$

Ahora se reemplazan las condiciones para obtener los valores de las constantes

Primero se reemplaza CB1 en y1:

$$0 = -0.34*(0)^3 C_1*(0) + C_2$$

$$C_2 = 0$$

Ahora CB2 en y_1 y en y_2 :

$$y_1(0.375) = y_2*(0.375)$$

$$0.34*(0.375)^3 + C_1*(0.375) = -0.34*(0.375)^3 + 0.705(0.375)^2 + C_3*(0.375) + C_4$$

$$0.375*C_1 - 0.375*C_3 - C_4 = 0.1076$$

A continuación, se reemplaza CB3 en dy_1 y dy_2 :

$$dy_1*(0.375) = dy_2*(0.375)$$

$$-1.02*(0.375)^2 + C_1 = -1.02*(0.375)^2 + C_3*(0.75) + C_4$$

$$-0.75*C_3 - C_4 = 0.2869$$

Con las ecuaciones obtenidas se genera un sistema de ecuaciones que al resolverlo permita obtener los valores de las condiciones que faltan. Para una resolución mucho más rápida se plantea en forma matricial.

$$\begin{bmatrix} 0.375 & -0.375 & -1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & -0.75 & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} C_1 \\ C_3 \\ C_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1076 \\ 0.5738 \\ 0.2869 \end{bmatrix}$$

Resolviendo esto por medio de Matlab se obtiene:

$$C_1 = 0.0478$$

$$C_3 = -0.5260$$

$$C_4 = 0.1076$$

Se selecciona I_{xx} como la inercia de la forma ya que esta se encuentra alineada con el plano neutro.

$$I_{xx}=I=184652.205 \text{ [mm}^4\text{]} \text{ ó } 184652.205*10^{-12} \text{ [m}^4\text{]}$$

Para aluminio que es el material del perfil que forma las columnas se tiene que su módulo de elasticidad es $E=69*10^9$ [Pa], por lo tanto, $E*I=12741$ [Nm²].

$$Y_1(x)=\frac{-0.34*x^3+0.0478*x}{12741}=(-2.668*x^3+0.375*x)*10^{-5}$$

$$Y_2(x)=\frac{-0.34*x^3+0.765*x^2-0.526*x+0.1076}{12741}$$

$$Y_2(x)=(-2.668*x^3+6.004*x^2-4.128*x+0.844)*10^{-5}$$

Tras realizar el análisis de deformación máxima se encuentra que este está ubicado en $x=0.2164$.

$$Y_1(0.2164)=(-2.668*(0.2164)^3+0.375*(0.2164))*10^{-5}$$

$$Y_1(0.2164)=5.41*10^{-7} \text{ [m]}=5.41*10^{-4} \text{ [mm]}$$

Esto muestra que la deflexión es mínima y también asegura que no se va a descarrilar.

B. Análisis de esfuerzos

Esfuerzo axial

$$\sigma_{xx}=\frac{F}{A}=\frac{31.88 \text{ [N]}}{579.472*10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}}=0.055 \text{ [MPa]}$$

Esfuerzos flexión

Sabiendo que el momento máximo se encuentra en $x = 0.375$, entonces se tiene lo siguiente.

$$M_1(0.375)=-2.04*(0.375)=-0.705 \text{ [Nm]}$$

$$\sigma_{FI} = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{0.705 \text{ [Nm]} \cdot \left(\frac{37.7}{2} \cdot 10^{-3} \text{ [m]}\right)}{184652.205 \cdot 10^{-12} \text{ [m}^4\text{]}} = 0.078 \text{ [MPa]}$$

Se realiza la suma de ambos esfuerzos:

$$\sigma_y = \sigma_{xx} + \sigma_{FI}$$

$$\sigma_y = 0.133 \text{ [MPa]}$$

Para el aluminio se tiene que $s_y = 83 \text{ [MPa]}$.

$$\eta = \frac{s_y}{\tau} = \frac{83}{0.133} = 624.06 \gg 1.5$$

Esto indica que el sistema se encuentra sobredimensionado, sin embargo, este perfil de aluminio es necesario para esta aplicación por su geometría especial, la cual le sirve como guía al elevador.

- **Anexo D.2.4: Cálculo de la bandeja del elevador**

A. Cálculo de la Inercia

El sistema de transporte del producto desde el piso en el que se encuentra ubicado hasta el consumidor se compone de un elevador que recorre de abajo hasta arriba transportando los productos en una bandeja. Esta bandeja es considerada importante ya que en caso de flejar podría causar problemas en el mecanismo. La inercia de la bandeja es obtenida utilizando Inventor como se muestra en la siguiente figura:

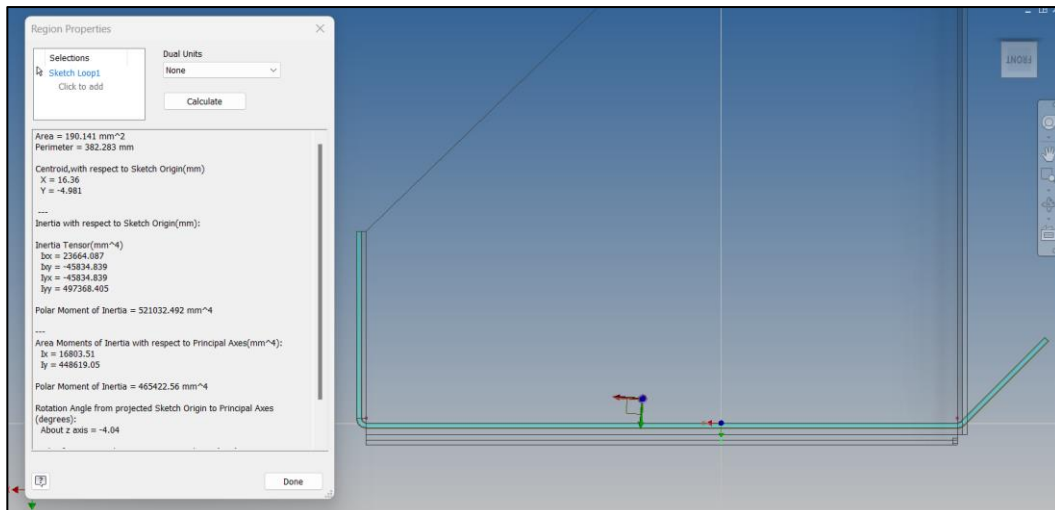


Figura 30. Propiedades Geométricas de la sección transversal de la bandeja [Inventor]

Donde el valor de Inercia a utilizar es el correspondiente a I_{xx} ya que se desea encontrar la flexión en ese sentido.

$$I_{xx} = 23664.087 \text{ [mm}^4\text{]}$$

B. Análisis de Deflexión

Primero se debe obtener el valor de las cargas del sistema. Al considerar la bandeja transportando 2[kg] de producto, se obtiene un peso total de:

$$P = 2(9.81) = 19.62 \text{ [N]}$$

Se decide aproximar la carga como una carga distribuida, en la cual se divide el peso para la longitud del cajón, obteniéndose:

$$Q = \frac{P}{l} = \frac{19.62 \text{ [N]}}{0.7 \text{ [m]}} = 28.03 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Una vez obtenidos todos los datos de cargas y las distancias, se procede con el análisis de flexión de la sección. Para el elevador se debe realizar un análisis de deflexión con la finalidad de determinar que el diseño realizado sea capaz de soportar una carga crítica determinada sin

sufrir daños que comprometan el mecanismo. Para esto los datos principales a tomar en cuenta son:

- $Q=28.03 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$
- $W=12.26 \text{ [N]}$
- $L=0.7 \text{ [m]}$
- $\overline{AC}=0.35 \text{ [m]}$
- $R_{Ay}=15.94 \text{ [N]}$

En el siguiente gráfico se presenta un diagrama que representa el estado del sistema a analizar.

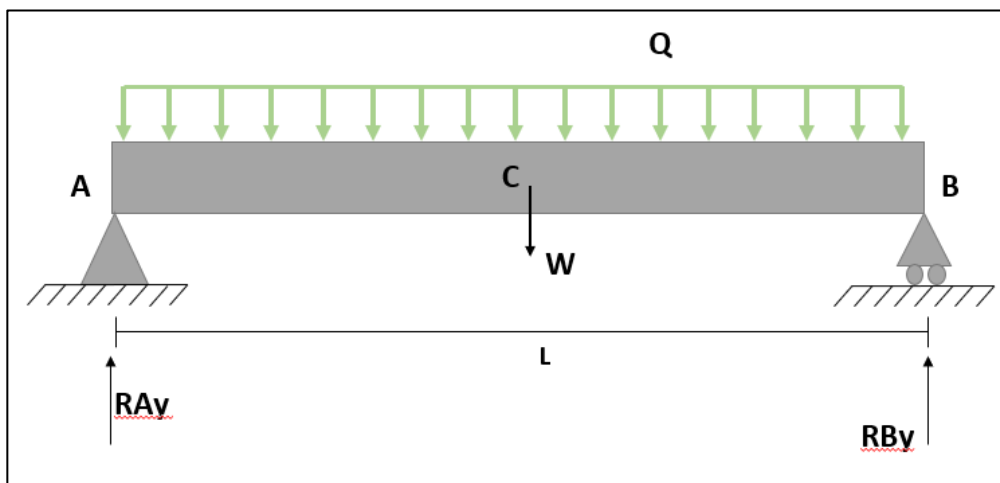


Figura 31. Diagrama de fuerzas para la bandeja del elevador

Primero se analiza la sección AC:

La distancia que se analizará es $0 \leq X \leq \overline{AC}$:

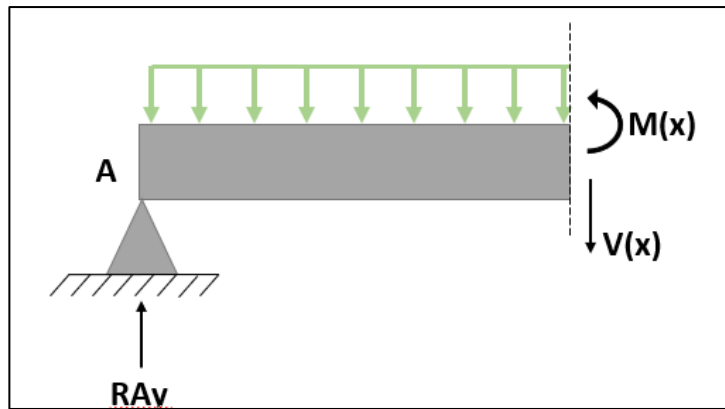


Figura 32. Corte sección AC bandeja

Primero, se realiza el análisis de cortante y se obtiene la ecuación que lo describe.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} - Qx - V(x) = 0$$

$$V(x) = R_{Ay} - Q(x)$$

Por otra parte, se realiza el análisis de momento flector y se obtiene la ecuación que lo describe.

$$\sum M_z = 0$$

$$-R_{Ay} * x + Q * x * \left(\frac{x}{2}\right) + M(x) = 0$$

$$M(x) = R_{Ay} * x - Q * \frac{x^2}{2}$$

Ahora se realiza lo mismo para la sección CB.

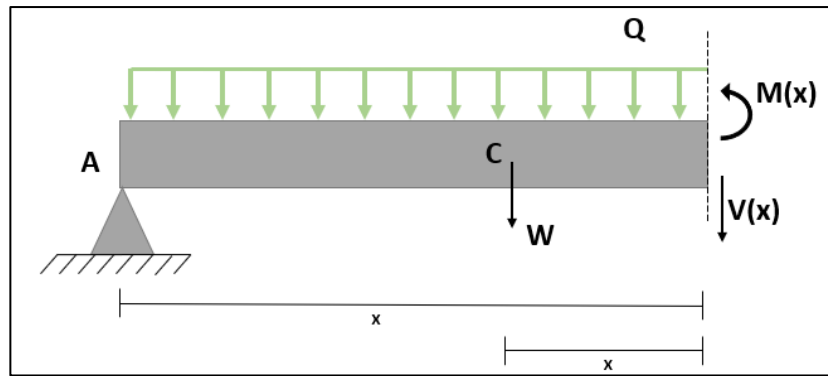


Figura 33. Corte sección CB bandeja

La distancia que se analizará es $\overline{AC} \leq X \leq \overline{CB}$:

Primero, se realiza el análisis de cortante y se obtiene la ecuación que lo describe.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} - Qx - W - V(x) = 0$$

$$V(x) = R_{Ay} - W - Q(x)$$

Por otra parte, se realiza el análisis de momento flector y se obtiene la ecuación que lo describe.

$$\sum M_z = 0$$

$$-R_{Ay} * x + Q * x * \left(\frac{x}{2}\right) + W(x - \overline{AC}) + M(x) = 0$$

$$M(x) = R_{Ay} * x - Q * \frac{x^2}{2} - W * x + W * \overline{AC}$$

$$M(x) = (R_{Ay} - W) * x - \frac{Q * x^2}{2} + W * \overline{AC}$$

Una vez se obtienen las ecuaciones, se reemplazan valores y es posible comenzar con el análisis de deflexión.

Para la sección AC:

$$V(x) = R_{Ay} - Q(x) = 15.94 - 28.03 * x$$

$$M(x) = R_{Ay}(x) - Q * \frac{x^2}{2} = 15.94 * x - 14.015 * x^2$$

Para la sección CB:

$$V(x) = R_{Ay} - W - Q(x) = 3.68 - 28.03 * x$$

$$M(x) = (R_{Ay} - W) * x - \frac{Q * x^2}{2} + W * \overline{AC} = 4.291 + 3.68 * x - 14.015 * x^2$$

Con estas ecuaciones es posible comenzar con el análisis de deflexión, para esto se consideran las siguientes condiciones iniciales.

- CB₁{x=0, y=0}
- CB₂{x=0.35, y₁=y₂}
- CB₃{x=0.35, y= $\frac{dy_1}{dx} = \frac{dy_2}{dx}$ }
- CB₄{x=0.7, y₂=0}

Para la sección AC:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = 15.94 * x - 14.015 * x^2$$

$$EI \frac{dy}{dx} = 7.97 * x^2 - 4.672 * x^3 + C_1$$

$$EI y(x) = 2.657 * x^3 - 1.168 * x^4 + C_1 * x + C_2$$

Para la sección CD:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = 4.291 + 3.68 * x - 14.015 * x^2$$

$$EI \frac{dy}{dx} = 4.291*x + 1.84*x^2 - 4.672*x^3 + C_3$$

$$EIy(x) = 2.1455*x^2 + 0.6133*x^3 - 1.168*x^4 + C_3*x + C_4$$

Al aplicar las condiciones iniciales en las ecuaciones encontradas (para determinar el valor de las constantes), se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$0.35*C_1 - 0.35*C_3 - C_4 = 0.1752$$

$$C_1 - C_3 = 0.7509$$

$$-0.7*C_3 - C_4 = 0.9812$$

$$C_2 = 0$$

Al resolver el sistema mediante el software Matlab, se obtiene que los valores de las constantes son los siguientes:

$$C_1 = -0.776$$

$$C_2 = 0$$

$$C_3 = -1.5269$$

$$C_4 = 0.0876$$

Para despejar $y_1(x)$ y $y_2(x)$, se pasa a dividir los valores del módulo de elasticidad y la inercia, los valores de estos ya se obtuvieron con anterioridad y su multiplicación da el siguiente valor:

$$E*I = \left(200 \times 10^9 \left[\frac{N}{m^2} \right] \right) (23664.087 \times 10^{-12} [m^4]) = 4732.817 [Nm^2]$$

$$y_1(x) = \frac{2.657*x^3 - 1.168*x^4 - 0.776*x}{E*I}$$

$$y_1(x) = (5.614x^3 - 2.468x^4 - 1.6396x) \times 10^{-4}$$

$$y_2(x) = \frac{2.1455*x^2 + 0.6133*x^3 - 1.168*x^4 - 1.5269*x + 0.0876}{E*I}$$

$$y_2(x) = (4.5332x^2 + 1.2958x^3 - 2.468x^4 - 3.226x + 0.185) \times 10^{-4}$$

Finalmente, tras realizar el análisis de máximos se determina que la deflexión máxima ocurre en el punto:

$$y_1(0.35) = -0.000037 \text{ [m]} = -0.037 \text{ [mm]}$$

Con lo que se concluye que el diseño es satisfactorio, ya que, en este caso crítico, existe una deflexión de menos de 0.1 [mm], lo cual es prácticamente imperceptible.

C. Esfuerzo Máximo Flexión:

En lo que respecta a los esfuerzos, el punto de máximo momento es en el centro de la estructura ($x=0.35$ [m]), por lo que al reemplazar valores en la ecuación de momento se obtiene:

$$M(x) = 15.94*x - 14.015*x^2 = 3.86 \text{ [Nm]}$$

Se obtiene el esfuerzo con este valor y la distancia del centroide (en $y=4.883$ [mm]) a la cara más lejana (cara superior del dobléz en posición $y=39.8$ [mm]):

$$c = 39.8 - 4.883 = 34.917 \text{ [mm]} = 0.03491 \text{ [m]}$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{(3.86 \text{ [Nm]})(0.03491 \text{ [m]})}{23664.087 \times 10^{-12} \text{ [m}^4\text{]}} = 5.694 \text{ [MPa]}$$

Al considerar el material de la estructura acero negro A36 con un esfuerzo de fluencia de 250 MPa se obtiene:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{250}{5.694} = 43.9 \gg 1.5$$

Ya que el factor de seguridad es mucho mayor a 1.5, se puede concluir que el diseño es satisfactorio. Se decide utilizar este material por su facilidad de adquisición y de procesamiento a pesar de que los cálculos indican que para su función se encontrará sobredimensionado.

- **Anexo D.2.5: Simulación de la bandeja del elevador**

En la siguiente figura se puede observar la simulación de la bandeja del elevador. En esta simulación se aplica el peso de una carga común de 2 [kg] (representados por productos). La simulación se realizó en el software “Inventor Autodesk”. Como en las simulaciones anteriores, existe un factor de seguridad alto con un máximo esfuerzo ejercido de 8.99 [MPa] (se toma en cuenta que el acero A36 tiene un esfuerzo de fluencia de 250 [MPa]). Además, también se realizó una simulación de deflexión, en la que se obtuvo que la bandeja tiene una deflexión de 0.069 [mm] como máximo. Obteniendo resultados muy similares a los calculados considerando que para poder realizar los cálculos se realizó algunas simplificaciones del modelo tridimensional. En las siguientes figuras se pueden observar las simulaciones realizadas.

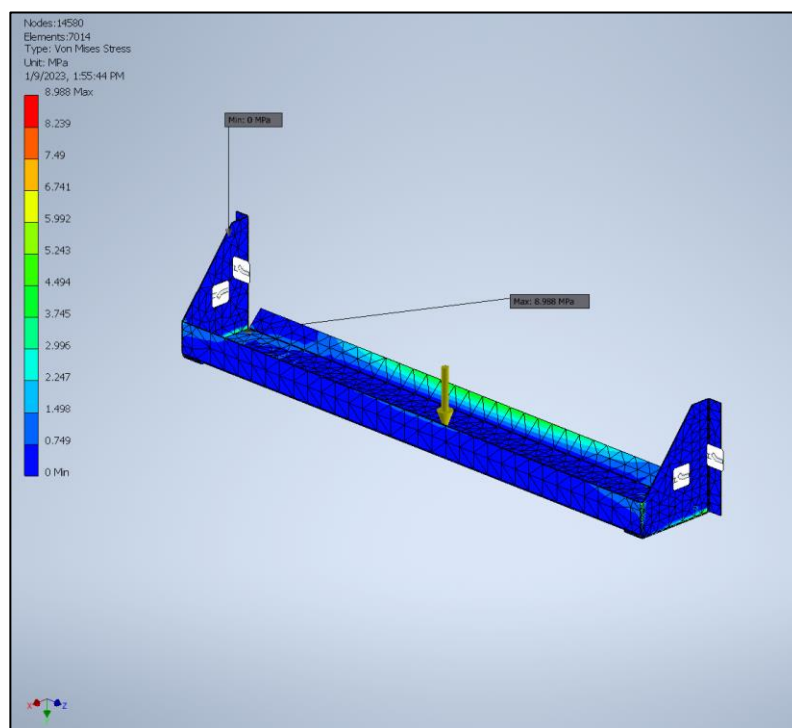


Figura 34. Esfuerzo de Von Mises simulado en la bandeja del elevador

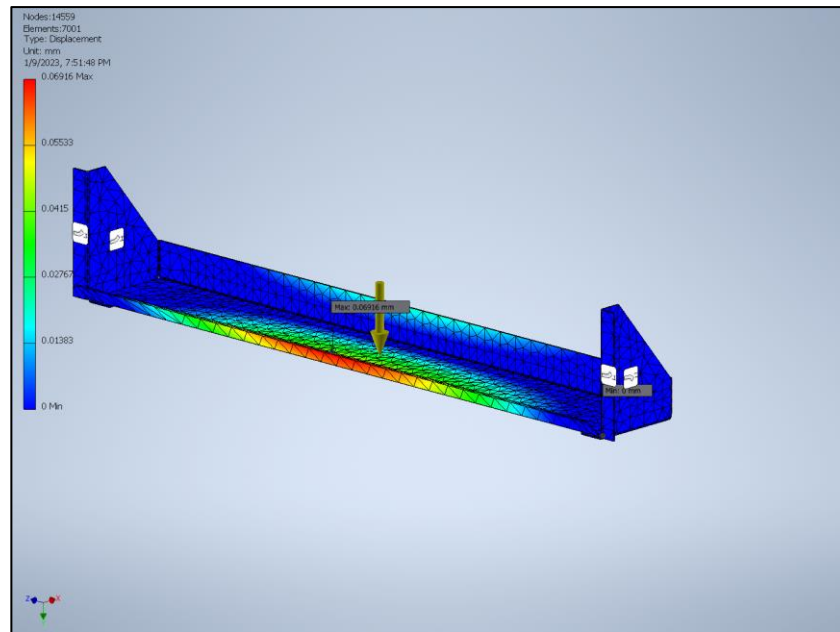


Figura 35. Deflexión simulada en la bandeja del elevador

Anexo D.3: Cálculos para el cajón

En el caso del cajón, también es necesario realizar el análisis de deflexión para asegurar que la carga de productos que le va a ser entregada siempre se mantenga en su posición y no se deforme la estructura. Para esto se considera un modelo hecho a base de perfiles y platinas con lo cual se da soporte en las áreas críticas y al mismo tiempo se reduce peso.

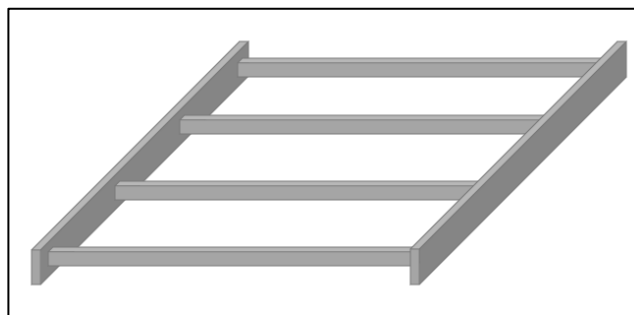


Figura 36. Esquema descriptivo del cajón

Datos:

Longitudes de las piezas:

- $L_{\text{perfil}} = 0.7 \text{ [m]} * 4 = 2.8 \text{ [m]}$

$$- L_{\text{platina}} = 0.72 \text{ [m]} * 2 = 1.44 \text{ [m]}$$

Peso de las piezas:

El peso de la pieza de platina se obtuvo a partir de la tabla del fabricante (DIPAC, 2022b).

$$- P_{\text{u-perfil}} = 0.81 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]$$

$$- P_{\text{u-platina}} = 0.59 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]$$

A partir de los pesos de cada pieza se encuentra el peso total de la parte y mediante esta la fuerza en el sistema.

$$P_{\text{total}} = P_{\text{perfil}} + P_{\text{platina}}$$

$$P_{\text{total}} = 2.8 \text{ [m]} * 0.81 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right] + 0.59 \text{ [m]} * 1.44 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right] = 3.1176 \text{ [kg]}$$

$$W_{\text{total}} = 3.1176 \text{ [kg]} * 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = 30.58 \text{ [N]}$$

A. Análisis de la inercia lateral de la estructura del cajón

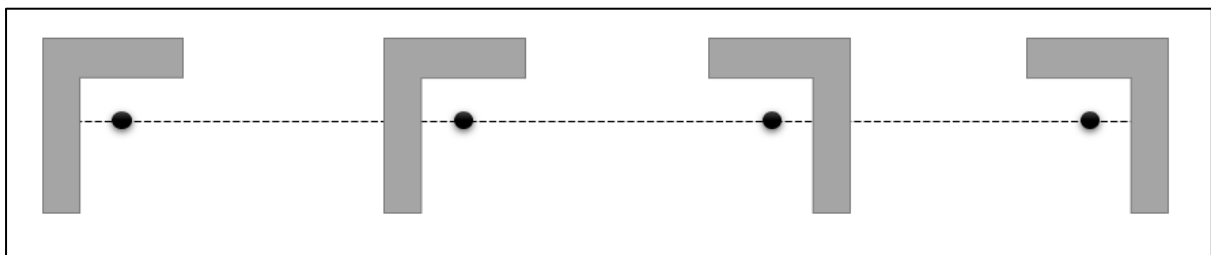


Figura 37. Distribución de perfiles en el cajón

A partir de la tabla del fabricante (DIPAC, 2022a), se obtiene que la inercia es:

$$I_x = 0.38 \text{ [cm}^4\text{]} = 0.38 \times 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]}$$

Por la forma en la que se colocan las vigas para formar el cajón, estos se encuentran alineadas en el plano horizontal, esto implica que $d_y = 0$. Por lo tanto, para encontrar la inercia total se procede a sumar las inercias de cada una de las vigas.

$$I_T = I_{x1} + I_{x2} + I_{x3} + I_{x4}$$

Considerando que los perfiles en los cuatro puntos son los mismos, se tiene lo siguiente:

$$I_T = 4 * I_x$$

$$I_T = 4 * (0.38 \times 10^{-8}) = 1.52 \times 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]}$$

B. Análisis del cajón

Primero se debe obtener el valor de las cargas del sistema. Al considerar el cajón conteniendo 8 conveyors (donde cada uno pesa 2.57 [kg]) y con 2 [kg] de producto, se obtiene un peso total de:

$$P = 8(2.57 + 2)(9.81) = 358.65 \text{ [N]}$$

Se decide aproximar las 8 cargas laterales de los conveyors como una carga distribuida, en la cual se divide el peso total para la longitud del cajón, obteniéndose:

$$Q = \frac{P}{l} = \frac{358.65 \text{ [N]}}{0.7 \text{ [m]}} = 512.36 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

Una vez obtenidos todos los datos de cargas y las distancias, se puede proceder con el análisis de flexión de la sección. En la figura a continuación se muestra una representación gráfica del caso considerado para el análisis.

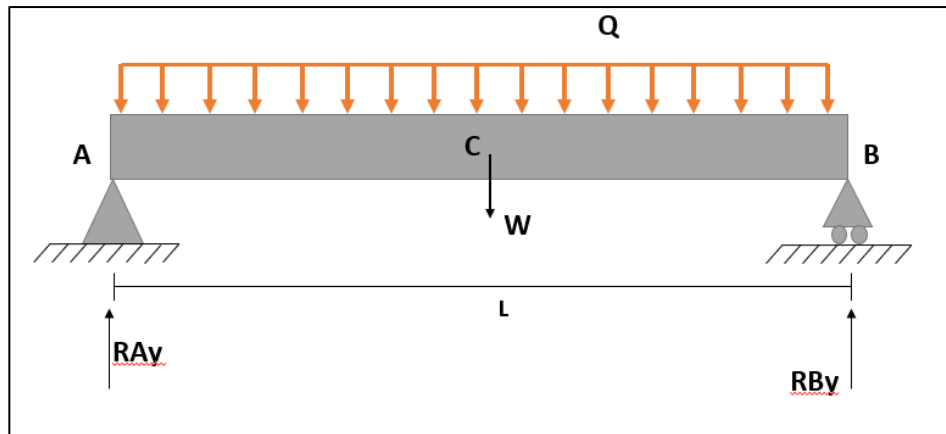


Figura 38. Diagrama de fuerzas para el cajón

En primer lugar, se realiza el análisis estático para poder obtener los valores de las reacciones en los puntos. Antes de realizar la sumatorio de fuerzas en “y” (ya que es el eje con las fuerzas en dirección de interés) se debe considerar que, debido a la simetría de la pieza, se tiene que $R_{Ay}=R_{By}$. Por lo tanto, se tiene lo siguiente:

$$\sum F_y = 0$$

$$2 \cdot R_{Ay} - Q_1 - W = 0$$

$$R_{Ay} = \frac{Q_1 + W}{2}$$

Una vez que se encuentra las fuerzas que afectan la estructura, es posible continuar con el análisis de cortante y momento. Primero se presenta la sección AC y su representación se muestra en la siguiente figura:

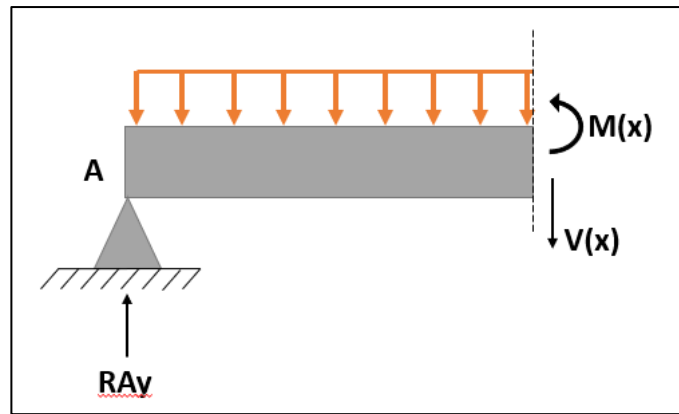


Figura 39. Corte sección AC cajón

La distancia que se analizará es $0 \leq X \leq \overline{AC}$:

Primero, se realiza el análisis de cortante y se obtiene la ecuación que lo describe.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} - Q_x - V(x) = 0$$

$$V(x) = R_{Ay} - Q(x)$$

Por otra parte, se realiza el análisis de momento flector y se obtiene la ecuación que lo describe.

$$\sum M_z = 0$$

$$-R_{Ay} * x + Q * x * \left(\frac{x}{2}\right) + M(x) = 0$$

$$M(x) = R_{Ay} * x - Q * \frac{x^2}{2}$$

Ahora se realiza lo mismo para la sección CB.

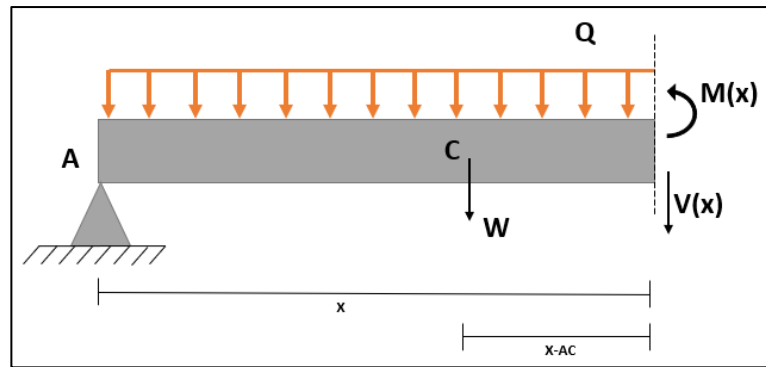


Figura 40. Corte sección CB cajón

La distancia que se analizará es $\overline{AC} \leq X \leq \overline{CB}$:

Primero, se realiza el análisis de cortante y se obtiene la ecuación que lo describe.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} - Q_x - W - V(x) = 0$$

$$V(x) = R_{Ay} - W - Q(x)$$

Por otra parte, se realiza el análisis de momento flector y se obtiene la ecuación que lo describe.

$$\sum M_z = 0$$

$$-R_{Ay} * x + Q * x * \left(\frac{x}{2}\right) + W(x - \overline{AC}) + M(x) = 0$$

$$M(x) = R_{Ay} * x - Q * \frac{x^2}{2} - W * x + W * \overline{AC}$$

$$M(x) = (R_{Ay} - W) * x - \frac{Q * x^2}{2} + W * \overline{AC}$$

Una vez que se obtienen las ecuaciones, se reemplazan los valores y es posible comenzar con el análisis de deflexión.

Para la sección AC:

$$V(x)=R_{Ay}-Q(x)=194.616-512.36x$$

$$M(x)=R_{Ay}(x)-Q*\frac{x^2}{2}=194.616x-256.18*x^2$$

Para la sección CB:

$$V(x)=R_{Ay}-W-Q(x)=194.616-30.58-512.36*x$$

$$M(x)=(R_{Ay}-W)*x-\frac{Q*x^2}{2}+W*\overline{AC}=10.703+164.036*x-256.18*x^2$$

Con estas ecuaciones es posible comenzar con el análisis de deflexión, para esto se consideran las siguientes condiciones iniciales:

- $CB_1\{x=0, y=0\}$
- $CB_2\{x=0.35, y_1=y_2\}$
- $CB_3\{x=0.35, y=\frac{dy_1}{dx}=\frac{dy_2}{dx}\}$
- $CB_4\{x=0.7, y=0\}$

Para la sección AC:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2}=194.616*x-256.18*x^2$$

$$EI \frac{dy}{dx}=97.308*x^2-35.393*x^3+C_1$$

$$EIy(x)=32.436*x^3-21.3482*x^4+C_1*x+C_2$$

Para la sección CD:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2}=10.703+164.036*x-256.18*x^2$$

$$EI \frac{dy}{dx} = 10.703*x + 82.018*x^2 - 85.393*x^3 + C_3$$

$$EIy(x) = 5.3515*x^2 + 27.34*x^3 - 21.3482*x^4 + C_3*x + C_4$$

Al aplicar las condiciones iniciales en las ecuaciones encontradas (para determinar el valor de las constantes), se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$-0.4371 = -0.35*C_1 + 0.35*C_3 + C_4$$

$$C_1 - C_3 = 1.8730$$

$$-0.7*C_3 - C_4 = 6.8742$$

$$C_2 = 0$$

Al resolver el sistema mediante el software Matlab, se obtiene que los valores de las constantes son los siguientes:

$$C_1 = -8.2594$$

$$C_2 = 0$$

$$C_3 = -10.1374$$

$$C_4 = 0.2184$$

Para despejar $y_1(x)$ y $y_2(x)$ se pasa a dividir los valores del módulo de elasticidad y la inercia.

Los valores de estos ya se obtuvieron con anterioridad y son los siguientes:

$$E = 200 \times 10^9 \text{ [Pa]}$$

$$I = 1.52 \times 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$y_1(x) = \frac{32.436*x^3 - 21.3482*x^4 - 8.2594*x}{E*I}$$

$$y_1(x)=0.01067*x^3-0.007022*x^4-0.00272*x$$

$$y_2(x)=\frac{5.3515*x^2+27.34*x^3-21.3482*x^4-10.1324*x-0.2184}{E*I}$$

$$y_2(x)=0.00176*x^2-0.00899*x^3-0.007022*x^4-0.00333*x+7.184x10^{-5}$$

Finalmente, tras realizar el análisis de máximos se determina que la deflexión máxima ocurre en el punto $y_1(0.35)=-0.000599$ [m]=-0.599 [mm].

Con lo que se concluye que el diseño es satisfactorio, ya que, en este caso crítico, existe una deflexión de menos de 1 [mm], lo cual es casi imperceptible al tratarse de una longitud tan larga como 700 [mm].

C. Esfuerzo Máximo Flexión

En lo que respecta a los esfuerzos, el punto de máximo momento es en el centro de la estructura ($x=0.35$ [m]), por lo que al reemplazar valores en la ecuación de momento se obtiene:

$$M(x)=194.616x-256.18*x^2=36.733$$
 [Nm]

Se obtiene el esfuerzo con este valor y la distancia del centroide a la cara superior de la estructura ($c=1$ [cm]):

$$\sigma=\frac{Mc}{I}=\frac{(36.733 \text{ [Nm]}) (0.01 \text{ [m]})}{0.38x10^{-8} \text{ [m}^4]}=96.666 \text{ [MPa]}$$

Al considerar el material de la estructura acero negro A36 con un esfuerzo de fluencia de (250 [MPa]) se obtiene:

$$\eta=\frac{S_y}{\sigma}=\frac{250}{96.666}=2.586>1.5$$

Ya que el factor de seguridad es mayor a 1.5, se puede concluir que el diseño es satisfactorio.

- **Anexo D.3.1: Simulación del cajón**

La simulación se realiza con Inventor 2022 Análisis de Esfuerzos o Stress Analysis. Para las cargas se considera una presión vertical de 4435.90 [Pa], ocasionada por el peso de los conveyors llenos con 2 [kg] de producto. Adicionalmente se considera la gravedad para reflejar en los cálculos el peso del cajón. Se utiliza como condición de borde empotramiento del componente en los laterales, representando la sujeción de las correderas al cajón. Se utiliza las siguientes condiciones para el mallado, con la finalidad de obtener un mallado fino:

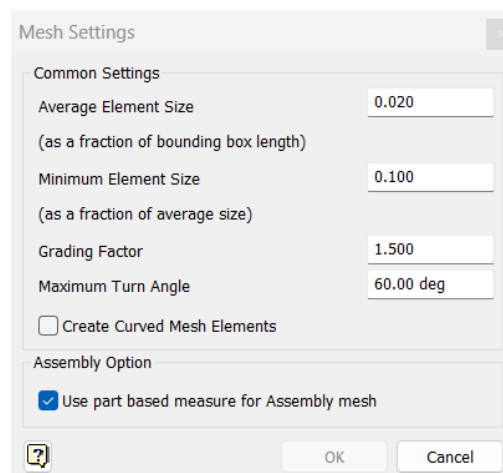


Figura 41. Ajustes de la malla para simulación del cajón

El mallado final del componente tiene un total de 38268 elementos y 80911 nodos.

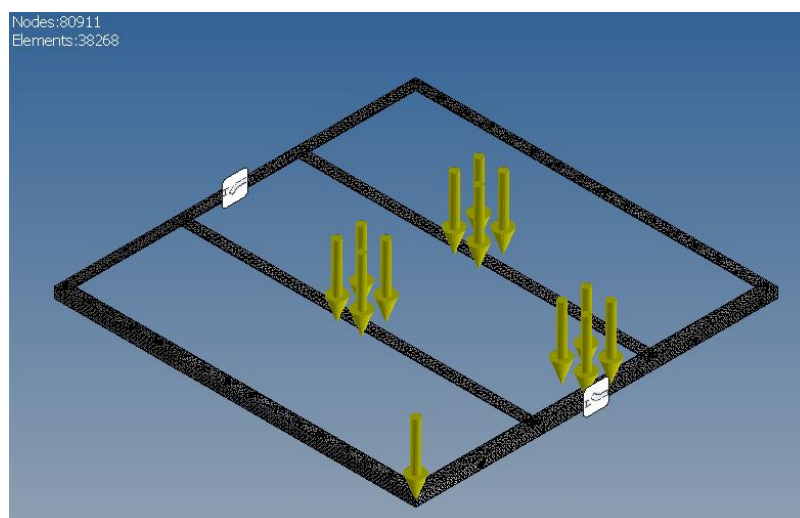


Figura 42. Mallado, condiciones de borde y carga aplicada en el cajón

El esfuerzo máximo de Von Mises es de 33.85 [MPa] en el punto de unión de los perfiles laterales con el marco principal, lo que se debe a que en este lugar existe una concentración de esfuerzos al haber un cambio brusco de sección y la presencia de un esfuerzo cortante al estar uno de los perfiles del cajón sobre el otro. Este valor es menor al obtenido en los cálculos (96 [MPa]), ya que para los cálculos se consideró un caso más crítico en el que la inercia de los laterales no tiene efecto sobre el componente, sin embargo, esto es solo una aproximación ya que al conformar la misma pieza sí incrementa la inercia general del sistema. Esto se puede observar en la siguiente figura:

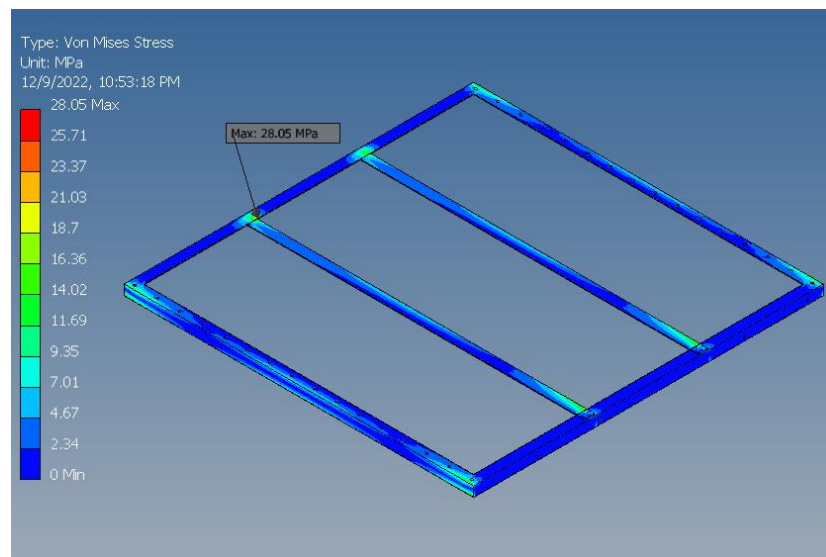


Figura 43. Esfuerzos de Von Mises presentes en el cajón

La deflexión máxima de la bandeja es de 0.18 [mm] y ocurre en el punto medio del cajón. Este valor es menor que el obtenido con los cálculos, ya que para estos se consideró un caso crítico en el que no se tomó en cuenta el incremento de inercia en la bandeja ocasionado por las secciones verticales de los perfiles en el eje x, ni las esquinas o uniones que refuerzan aún más la capacidad del sistema de flejar. La simulación se puede observar en la siguiente figura:

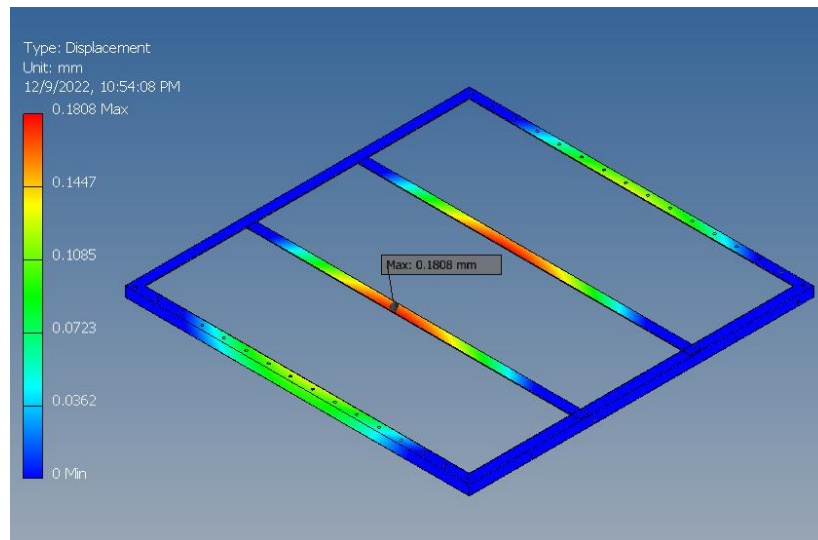


Figura 44. Deflexión simulada del cajón

Anexo D.4: Cálculos del sistema de refrigeración

- **Anexo D.4.1: Aislación de la estructura**

Para este sistema de refrigeración se supone ciertos requerimientos para climatizar un área de $0.7 \text{ [m}^3\text{]}$ como un caso extremo pero probable para enfriar parcialmente una zona para medicinas que necesita la climatización, además de esto tendremos una temperatura ambiental inicial adentro y afuera del área de trabajo de $22 \text{ [}^\circ\text{C]}$ puesto que esta temperatura se considera común en ambientes de uso humano. Entonces, conociendo que el ambiente tiene que bajar a $4 \text{ [}^\circ\text{C]}$ internamente se usará un factor de incremento para generar transferencia de calor de $10 \text{ [}^\circ\text{C]}$. Se partirá del calor que se necesita sacar tal que:

$$Q_{\text{refri}} = \rho_{\text{ref}} V c_{p_{\text{refri}}} (T_i - T_f)$$

Donde el fluido será aire ajustado con gases comunes en el ambiente. Tales factores serán dados para una presión atmosférica de 1 [atm] considerando que el aire proviene de un sistema abierto y va a un sistema cerrado. Ahora se considera una variable, dependiendo del tiempo (time) al cual se saque este calor una potencia asociada, tal que:

$$q_L = \frac{Q_{\text{refri}}}{\text{time}} + q_{\text{ganancia}}$$

Donde la ganancia (q_{ganancia}) vendrá de las paredes que entrará del ambiente fuera de la Farmabot donde se transferirá calor desde los 22 [°C] ambientales exteriores a los 4 [°C] ambientales interiores. Finalmente, teniendo unas resistencias térmicas del tol, aislante y tol, con la siguiente ecuación de resistencia desde convección y conducción, se puede determinar la resistencia térmica general de la pared.

$$R_{\text{pared}} = \frac{1}{A_{\text{pared}}} \left(\frac{1}{\bar{h}_{\text{air}_c}} + \frac{2L_{\text{tol}}}{k_{\text{steel}}} + 2R_{\text{TT}} + \frac{L_{\text{aislante}}}{k_{\text{GF}}} + \frac{1}{\bar{h}_{\text{air}}} \right)$$

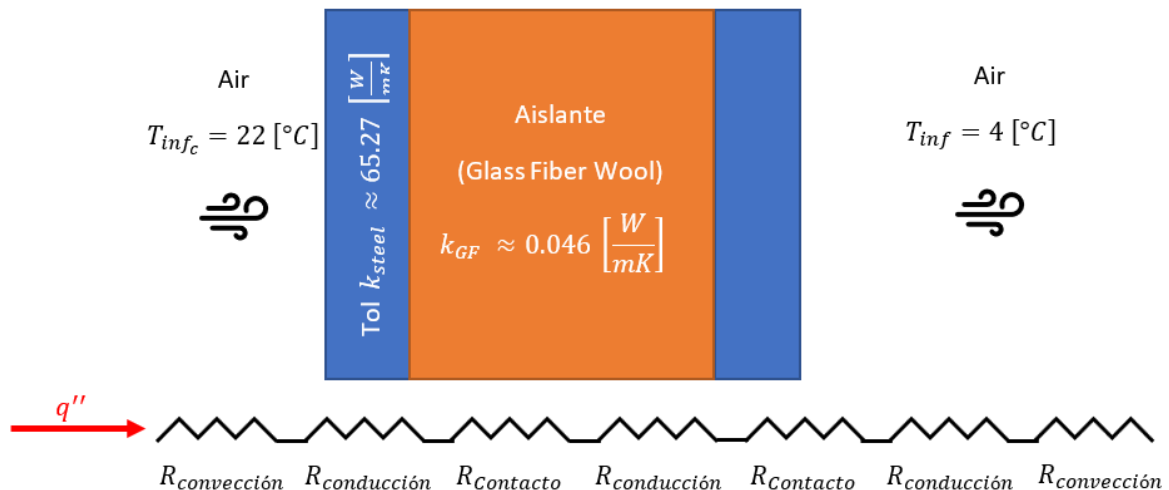


Figura 45. Esquema representativo de las resistencias térmicas presentes en el sistema de refrigeración

La resistencia por contacto (R_{TT}) es $0.0025 \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right]$ para un contacto con placas de metal (Bergman et al., 2011).

Entonces, esta resistencia térmica dependerá no solo del sistema de refrigeración, por los coeficientes de convección, sino también del porcentaje de ganancia que se puede aceptar desde las paredes. Teniendo una expresión general para la ganancia tal que:

$$q_{\text{perdida}} = \frac{T_i - T_f}{R_{\text{perdida}}}$$

Tendríamos que las ganancias por ser pérdidas de potencia utilizable, se tiene que " q_{perdida} " se refiere al calor entrante por el ambiente a fuera del ambiente refrigerado, o, en otras palabras, para llegar al equilibrio termodinámico tendremos áreas donde el ambiente transferirá calor al volumen de control.

$$\text{por}\% = \frac{q_{\text{perdida}}}{q_L}$$

Para el área pretendida se considerará el peor caso donde cada pared (excepto el suelo) se considera vía del flujo térmico. Por lo tanto, el área será:

$$A_{\text{pared}} = 3.8 \text{ [m}^2\text{]}$$

- **Anexo D.4.2: Sistema de Refrigeración**

Ahora para el sistema de refrigeración se tiene las mismas consideraciones de los requerimientos exteriores y se utilizará el siguiente ciclo:

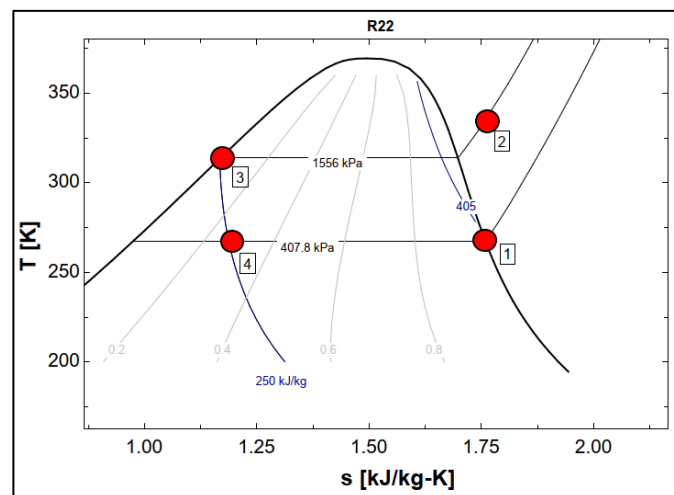


Figura 46. Diagrama $T-s$ del ciclo de refrigeración

Por lo tanto, tendríamos un fluido no viscoso debido al rango de temperaturas. Además, las temperaturas irán desde los -56 [°C] hasta los 82 [°C]. Estas temperaturas se obtuvieron a partir de los productos que se encuentran en el mercado y son las recomendadas para un

compresor de refrigeradora de 50 [W], permitiendo asegurar la transferencia de calor. Además, se puede suponer en el punto 1 y 3 calidades de refrigerante super calentado y liquido comprimido. A partir de estos puntos podemos revisar y conseguir las propiedades del fluido del refrigerante tanto en el espacio de temperatura baja como en el de temperatura alta.

Para encontrar los puntos importantes del ciclo, se tiene diferentes expresiones que pueden ayudar. Tales expresiones son:

$$W = \dot{m} \dot{w}$$

$$\dot{w} = h_2 - h_1$$

$$\dot{q}_L = h_1 - h_4$$

$$\dot{q}_H = h_2 - h_3$$

Teniendo estas expresiones y el desenlace de los puntos de las entalpias, se puede encontrar el flujo másico, tal que:

$$\dot{m} = \frac{\dot{q}_L}{\dot{q}_H}$$

Para minimizar costos por la tubería necesaria y/o equipo, se usará la suposición del uso de la velocidad económica del refrigerante. Se escogió 2.8 $\left[\frac{m}{s}\right]$ (Penoncello, 2018) ya que esta velocidad se escoge desde el rango recomendado de 1.5 $\left[\frac{m}{s}\right]$ a 2.9 $\left[\frac{m}{s}\right]$ para aminorar las perdidas energéticas por fricción y coincidir con las tuberías comercialmente asequibles. Con estos datos podemos escoger la tubería posible encontrando el diámetro para este flujo:

$$\dot{m} = \rho_{R22} V_{ecnR22} A_{tubo}$$

$$A_{tubo} = \frac{\pi(ID)^2}{4}$$

Con los resultados obtenidos, una posibilidad de tubería es la ¼ K de cobre (diámetro interno de 0.9525 [cm]). El siguiente paso es determinar las longitudes del evaporador y el condensador. Para conseguir las propiedades del aire para esta transferencia de calor se usarán dos temperaturas de filme, tal que:

$$T_{\text{film}}=272.15 \text{ [K]} \sim 4 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{\text{film}_c}=315.15 \text{ [K]} \sim 22 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Por ende, para las ecuaciones compartidas por el compresor y el evaporador, se usarán los siguientes coeficientes de expansión térmica y del coeficiente de convección:

$$\beta = \frac{1}{T_{\text{film}}}$$

$$\bar{h} = \frac{\text{Nu } k}{D}$$

Para la parte del evaporador y el condensador, se analizará la parte de la convección natural desde el ambiente de la Farmabot. Por lo tanto, se necesita la expresión del número de Raleigh y de Nusselt para determinar el flujo de calor y cumplir con las siguientes expresiones para la longitud de cada tubo:

$$q_H = q_L + W$$

Para el número de Raleigh tendremos (para el evaporador y el condensador) las siguientes expresiones:

$$\text{Ra}_{\text{air}} = \frac{g\beta(T_{\text{inf}} - T_s)(\text{OD})^3}{\nu_{\text{air}}\alpha_{\text{air}}}$$

$$\text{Ra}_{\text{air}_c} = \frac{g\beta_c(T_{s_c} - T_{\text{inf}_c})(\text{OD})^3}{\nu_{\text{air}_c}\alpha_{\text{air}_c}}$$

En cambio, para el numero de Nusselt se utilizará:

$$Nu_{air} = \left[0.825 + \frac{0.387 Ra_{air}^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{Pr_{air}} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu_{air_c} = \left[0.825 + \frac{0.387 Ra_{air_c}^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{Pr_{air_c}} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

El flujo de calor será:

$$q_{air}'' = \frac{T_{inf} - T_s}{R_T}$$

$$q_{air_c}'' = \frac{T_s - T_{inf}}{R_{T_{cond}}}$$

Por último, para encontrar estas resistencias se necesitará un análisis interno teniendo en cuenta una resistencia por fouling de $0.000176 \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$ (Penoncello, 2018). Para el análisis térmico, de la parte interna, se tiene las siguientes expresiones para la resistencia térmica del condensador y el evaporador:

$$R_T = \frac{1}{\bar{h}_{air} 2\pi r_{OD} * Long} + \frac{\ln \left[\frac{r_{OD}}{r_{ID}} \right]}{2\pi k_{Cu} * Long} + \frac{R_f''}{2\pi r_{ID} * Long} + \frac{1}{\bar{h}_{R22_{evap}} 2\pi r_{ID} * Long}$$

$$R_{T_{cond}} = \frac{1}{\bar{h}_{air_c} 2\pi r_{OD} * Long_c} + \frac{\ln \left[\frac{r_{OD}}{r_{ID}} \right]}{2\pi k_{Cu_c} * Long_c} + \frac{R_f''}{2\pi r_{ID} * Long_c} + \frac{1}{\bar{h}_{R22_c} 2\pi r_{ID} * Long_c}$$

Estas resistencias térmicas tienen utilidad desde dentro del flujo del refrigerante R22 y desde afuera del flujo del aire. Teniendo en cuenta que ya se obtiene el coeficiente de convección del aire con una convección natural, se necesita obtener el coeficiente de convección del flujo interno, que, por el objetivo del compresor, se supondrá un flujo completamente desarrollado con las siguientes expresiones para Reynolds:

$$Re_{\text{evap}} = \frac{V_{\text{ecnR22}} ID}{\nu_{\text{R22}}}$$

$$Re_{\text{cond}} = \frac{V_{\text{ecnR22}} ID}{\nu_{\text{R22c}}}$$

De esta manera, se concluye con un flujo totalmente turbulento, por ende, se usará la siguiente expresión del número de Nusselt para un amplio rango de Reynolds:

$$Nu_{\text{R22evap}} = 0.0243 \left(Re_{\text{evap}}^{\frac{4}{5}} * Pr_{\text{R22}}^{0.4} \right)$$

$$Nu_{\text{R22c}} = 0.0265 \left(Re_{\text{cond}}^{\frac{4}{5}} * Pr_{\text{R22c}}^{0.3} \right)$$

Esta expresión del número de Nusselt se diferencia debido a que el evaporador calentará al fluido y en el condensador enfriará al fluido. En la siguiente lista se puede observar la nomenclatura utilizada para el análisis del sistema de refrigeración:

- **Anexo D.4.3: Nomenclatura**

α_{air} Difusividad Térmica del aire a 4 [°C] en el evaporador

α_{airc} Difusividad Térmica del aire a 22 [°C] en el condensador

α_{R22} Difusividad Térmica del R22 a la temperatura del evaporador

α_{R22c} Difusividad Térmica del R22 a la temperatura del condensador

A_{pared}	Área por donde se conducida el flujo de calor
A_{tubo}	Área por el paso del flujo masico del R22
$c_{p_{\text{refri}}}$	Calor especifico del aire a temperatura ambiente 22 [°C]
g	Constante de aceleración por gravedad
h_n	Entalpia encontrada del fluido de trabajo R22 en el punto (n)
\bar{h}_{air}	Coeficiente de convección para el aire adentro del ambiente controlado
\bar{h}_{air_c}	Coeficiente de convección para el aire afuera del ambiente controlado
$\bar{h}_{\text{R22}_{\text{evap}}}$	Coeficiente de convección para el refrigerante en el evaporador
\bar{h}_{R22_c}	Coeficiente de convección para el refrigerante en el condensador
ID	Diámetro interno de la tubería escogida
OD	Diámetro externo de la tubería escogida
k_{air}	Coeficiente de conductividad térmica del aire a 4 [°C]
k_{air_c}	Coeficiente de conductividad térmica del aire a 22 [°C]
k_{CU}	Coeficiente de conductividad térmica del cobre en el evaporador
k_{CU_c}	Coeficiente de conductividad térmica del cobre en el condensador
k_{GF}	Coeficiente de conductividad térmica de la fibra de vidrio como aislante
k_{R22}	Coeficiente de conductividad térmica del refrigerante en el evaporador
k_{R22_c}	Coeficiente de conductividad térmica del refrigerante en el condensador
k_{steel}	Coeficiente de conductividad térmica de las placas de la estructura

L_{long}	Longitud calculada de la tubería para el evaporador
L_{long_c}	Longitud calculada de la tubería para el condensador
L_{aislante}	Espesor del aislante entre placas de la estructura
L_{tol}	Espesor de la placa que constituye la estructura
\dot{m}	Flujo masico del fluido de trabajo
ν_{air}	Viscosidad cinemática del aire a 4 [°C]
ν_{air_c}	Viscosidad cinemática del aire a 22 [°C]
ν_{R22}	Viscosidad cinemática del refrigerante en el evaporador
ν_{R22_c}	Viscosidad cinemática del refrigerante en el condensador
Pr_{air}	Número de Prandtl del aire a 4 [°C]
Pr_{air_c}	Número de Prandtl del aire a 22 [°C]
Pr_{R22}	Número de Prandtl del refrigerante en el evaporador
Pr_{R22_c}	Número de Prandtl del refrigerante en el condensador
P_n	Presión encontrada del fluido de trabajo R22 en el punto (n)
\dot{q}_H	Calor específico del condensador
\dot{q}_L	Calor específico del evaporador
q_H	Potencia de calor en el condensador
q_L	Potencia de calor en el evaporador
q_{perdida}	Potencia ganada por las paredes de la Farmabot

- Q_{refri} Calor que se necesita sacar del volumen de aire en la Farmabot
- Ra_{air} Número de Raleigh del aire en el ambiente controlado
- Ra_{air_c} Número de Raleigh del aire afuera del ambiente controlado
- Re_{cond} Número de Reynolds del refrigerante en el condensador
- Re_{evap} Número de Raleigh del refrigerante en el evaporador
- ρ_{R22} Densidad del refrigerante en el evaporador
- ρ_{ref} Densidad del aire a la temperatura de 22 [°C]
- r_x Radio del diámetro (x)
- R_{pared} Resistencia térmica de la pared compuesta del aislante
- R_T Resistencia térmica del evaporador entre el refrigerante y el aire
- $R_{T_{\text{cond}}}$ Resistencia térmica del condensador entre el refrigerante y el aire
- T_n Temperatura encontrada del fluido de trabajo R22 en el punto (n)

- **Anexo D.4.4: Resultados**

Las ecuaciones y datos planteados, para el sistema de refrigeración, se ingresaron en el software EES. En la siguiente figura se puede observar los resultados obtenidos:

Unit Settings: SI K kPa kJ mass deg		
$\alpha_{air} = 0.00001861$ [m ² /s]	$\alpha_{air,c} = 0.00002438$ [m ² /s]	$\alpha_{R22} = 0.00002631$ [m ² /s]
$\alpha_{R22,c} = 0.00000304$ [m ² /s]	$A_{pared} = 3.8$ [m ²]	$A_{tubo} = 0.00009427$ [m ²]
$\beta = 0.003674$ [1/K]	$\beta_c = 0.003173$ [1/K]	$c_{Prefri} = 1.006$ [kJ/kg-K]
$g = 9.807$ [m/s ²]	$h_1 = 380.3$ [kJ/kg]	$h_2 = 459.7$ [kJ/kg]
$h_3 = 228.8$ [kJ/kg]	$h_4 = 228.8$ [kJ/kg]	$\bar{h}_{air} = 13.06$ [W/m ² -K]
$\bar{h}_{air,c} = 12.84$ [W/m ² -K]	$\bar{h}_{R22,c} = 151.7$ [W/m ² -K]	$\bar{h}_{R22,evap} = 15.42$ [W/m ² -K]
$ID = 0.007747$ [m] {0.7747 [cm]}	$k_{air} = 0.02428$ [W/m-K]	$k_{airesito} = 0.02565$ [W/m-K]
$k_{air,c} = 0.0275$ [W/m-K]	$k_{CU} = 404.9$ [W/m-K]	$k_{CU,c} = 393.3$ [W/m-K]
$k_{GF} = 0.046$ [W/m-K]	$k_{R22} = 0.0199$ [W/m-K]	$k_{R22,c} = 0.03061$ [W/m-K]
$k_{steel} = 65.27$ [W/m-K]	long = 8.074 [m] {807.4 [cm]}	long_c = 6.778 [m] {677.8 [cm]}
L_{aislante} = 0.032 [m] {3.2 [cm]}	$L_{tot} = 0.002$ [m] {2 [mm]}	m^{dot} = 0.0006113 [kg/s] {0.6113 [g/s]}
Nus_{air} = 5.123	Nus_{air,c} = 4.447	$Nus_{R22,c} = 38.4$
$Nus_{R22,evap} = 6.003$	$v_{air} = 0.00001323$ [m ² /s]	$v_{air,c} = 0.0000172$ [m ² /s]
$v_{R22} = 0.00001896$ [m ² /s]	$v_{R22,c} = 0.000002148$ [m ² /s]	$OD = 0.009525$ [m] {0.9525 [cm]}
$por_{\%} = 0.8635$	$Pr_{air} = 0.7112$	$Pr_{air,c} = 0.7054$
$Pr_{R22} = 0.7206$	$Pr_{R22,c} = 0.7065$	$P_1 = 46.92$ [kPa] {0.4692 [bar]}
$P_2 = 1008$ [kPa] {10.08 [bar]}	$P_3 = 1008$ [kPa] {10.08 [bar]}	$P_4 = 46.92$ [kPa] {0.4692 [bar]}
$P_{atm} = 101.3$ [kPa]	$\dot{q}_H = 230.9$ [kJ/kg]	$\dot{q}_L = 151.5$ [kJ/kg]
$q^*_{air} = 92.62$ [W]	$q^*_{air,c} = 141.2$ [W]	$q_H = 0.1412$ [kJ/s] {141.2 [W]}
q_L = 0.09262 [kJ/s] {92.62 [W]}	q_{perdida} = 0.07998 [kW] {79.98 [W]}	$Q_{refri} = 15.17$ [kJ]
$Ra_{air} = 7590$	$Ra_{air,c} = 3849$	$Re_{cond} = 10184$
$Re_{evap} = 1154$	ρ_{R22} = 2.297 [kg/m ³]	$\rho_{ref} = 1.196$ [kg/m ³]
$R^*_{TT} = 0.0025$ [m ² -K/W]	$\bar{R}_F = 0.000176$ [m ² -K/W]	$r_{ID} = 0.003874$ [m]
$r_{OD} = 0.004763$ [m]	$R_{pared} = 0.225$ [K/W]	$R_T = 0.6478$ [K/W]
$R_{T,cond} = 0.4251$ [K/W]	$s_1 = 1.864$ [kJ/kg-K]	$s_2 = 1.864$ [kJ/kg-K]
$thck = 0.000889$ [m] {0.889 [mm]}	$time = 1200$ [s] {20 [min]}	$T_1 = 217.2$ [K] {-56 [C]}
$T_2 = 355.2$ [K] {82 [C]}	$T_3 = 296.8$ [K] {23.69 [C]}	$T_4 = 217.2$ [K] {-56 [C]}
$T_{aislar} = 300$ [K]	$T_f = 277.2$ [K] {4 [C]}	T_{film} = 272.2 [K] {-1 [C]}
$T_{film,c} = 315.2$ [K]	T_H = 355.2 [K] {82 [C]}	$T_i = 295.2$ [K] {22 [C]}
T_{inf} = 277.2 [K] {4 [C]}	T_{inf,c} = 295.2 [K] {22 [C]}	T_L = 217.2 [K] {-56 [C]}
$T_{refri} = 295.2$ [K] {22 [C]}	T_s = 217.2 [K] {-56 [C]}	$T_{s,c} = 355.2$ [K] {82 [C]}
$V = 0.7$ [m ³]	Vecn_{R22} = 2.824 [m/s]	w = 0.04853 [kJ/s] {0.06509 [hp]}
$\dot{w} = 79.4$ [kJ/kg]	$x_1 = 1$	$x_3 = 0$

Figura 47. Resultados del análisis térmico del sistema de refrigeración realizado en EES

En la siguiente tabla se puede observar tabulados los resultados de interés para la implementación del sistema de refrigeración. Se encuentran divididas las variables en suposiciones y en variables críticas. Se puede observar el valor determinado en la unidad y su unidad:

Tabla 24 Resumen de las variables divididas en suposiciones y en variables críticas

	Variable	Valor determinado	Unidad
Suposiciones	$L_{aislante}$	3.266	cm
	$Nu_{S_{air}}$	6.58	-
	$Nu_{S_{air_c}}$	4.447	-
	ρ_{R22}	2.297	[kg]/m ³
	$v_{ecn,R22}$	2.824	m/s
	A_{tubo}	0.00009427	m ²
	w	0.06509	hp
Variables críticas	q_L	723.1	W
	T_{inf}	4	°C
	Long	8.074	m
	T_h	82	°C
	$T_{inf,c}$	22	°C
	T_s	-56	°C
	Long _c	6.778	m
	\dot{m}	0.6113	g/s
	T_{film}	-1	°C
	T_L	-56	°C

Ahora comercialmente tenemos varias opciones donde el compresor puede ir desde unos con potencia nominal referencial de 1/16hp como, por ejemplo (Hangzhou Purswave Technology Co., s/f):



Figura 48. R134A 220-240V/50-60Hz Lbp Refrigerator Compressor 1/16HP to 2/5HP Cooling Capacity 63W to 323W at Ashrae Conditon (Hangzhou Purswave Technology Co., s/f)

Donde la importancia entraría en la denominación para compresores tales que podemos usar compresores del rango L del fabricante Cobigel (**Error! Reference source not found.**). La siguiente grafica expone el rango recomendado de compra para un compresor recíprocante comúnmente utilizado en refrigeradoras cotidianas. Los compresores de este rango se refieren a compresores de la marca “Cubigel”.

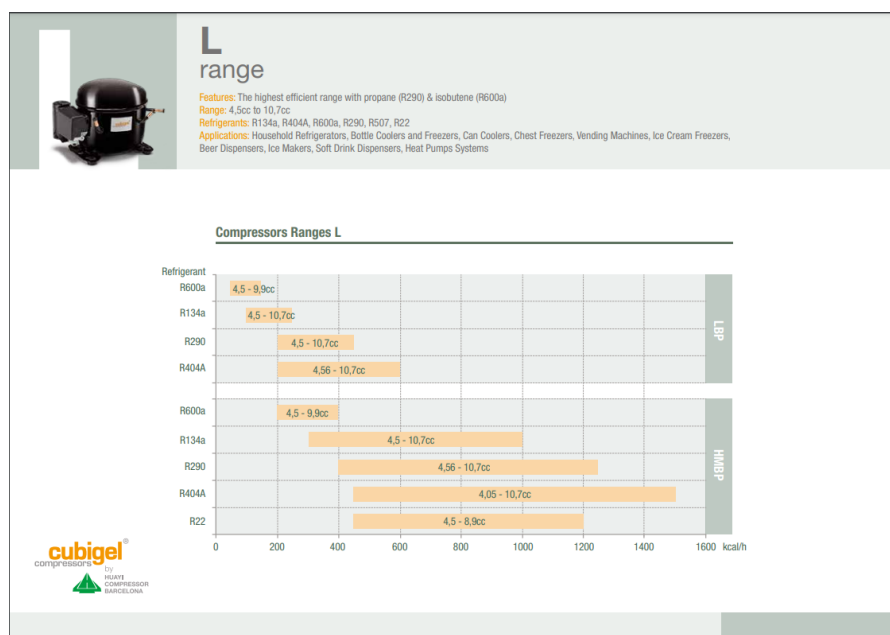


Figura 49. Rango de Potencial Posible Dependiendo del Refrigerante Utilizado

ANEXO E: MANUAL DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO

Anexo E.1: Manual de operación

- **Descripción y características**

La Farmabot es una máquina expendedora modular y automatizada de insumos médicos diseñada con el fin de facilitar la adquisición de algún producto médico, elimina la distancia que puede existir en lugares alejados en los que no se encuentran farmacias y reducir la interacción entre personas para evitar la propagación de un virus. Las dimensiones de la Farmabot son de 1 [m] x 1.85 [m] x 1 [m] con un peso completo de 393.2 [kg]. El tiempo de entrega de un producto es de 45 [s] (este tiempo puede variar dependiendo del número de productos seleccionados en la orden). Funciona a 110 [V] las 24 horas del día y climatiza el interior de la máquina a 4 [°C] estando en un ambiente con temperatura promedio de 22 [°C]. La máquina puede dispensar desde productos pequeños y versátiles como frascos de medicina hasta productos más grandes y pesados como kits de primeros auxilios. Los conveyors soportan un peso máximo de 2.1 [kg]. La Farmabot consta de 6 niveles en los que hay 8 conveyors por nivel.

- **Lista de partes**

La Farmabot es una máquina expendedora que consta de varias piezas para su funcionamiento. Por lo tanto, se listará las piezas más importantes.

Tabla 25. Subsistemas presentes en la Farmabot

Subsistema	Código de plano
Estructura Principal	E01-01
Ensamble Compuerta	B00-00
Puerta Secundaria	E04
Ensamble Cajón	J00-00
Carcasa Izquierda	E02-02
Carcasa Superior	E02-01
Carcasa Derecha	E02-04
Carcasa Posterior	E02-03
Carcasa Inferior	E02-05
Pivote Puertas Batientes	E05-01
Ensamble Sistema Elevador	EI00-000
IFI502-M5x0.8x10,HFHTSTFM	N/A
Puerta Principal	E03

- **Plano de montaje**

En la siguiente figura se puede observar el plano de montaje de la Farmabot señalizando los subconjuntos de piezas que lo conforman.

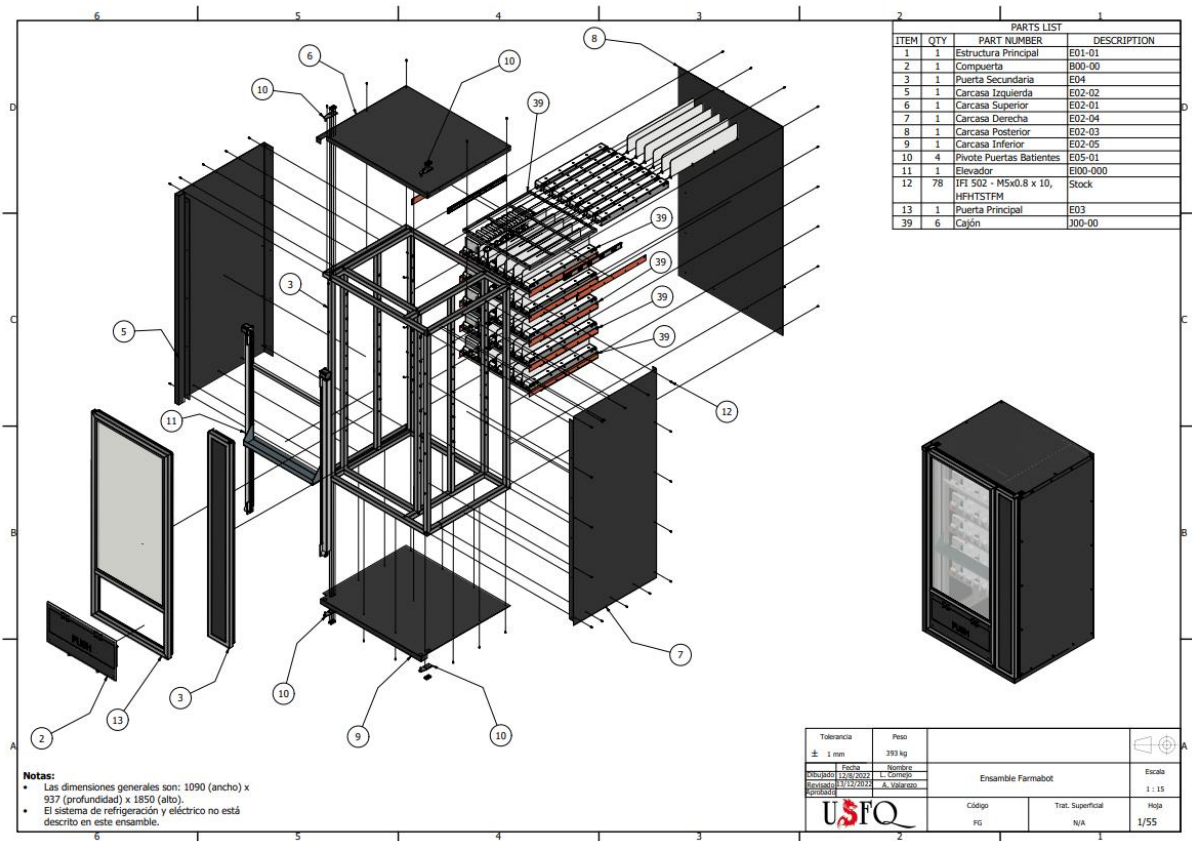


Figura 50. Plano de ensamble de la Farmabot

• Funcionamiento de la Farmabot

Se recomienda tener a la Farmabot en un ambiente con rangos de 18 y 30 [°C]. Una vez ubicada, se opera a la máquina de la siguiente manera:

Encendido: Se debe conectar la Farmabot a una fuente de voltaje de 110 [V]. Inmediatamente, la Farmabot comenzará a encenderse iniciando por centro de control (circuito encargado de controlar las funciones de la Farmabot), seguido por el panel de control (que permite realizar la selección del producto a dispensar) y el sistema de climatización (control de temperatura y humedad). Una vez encendida, se ordena el producto de la siguiente manera:

1. El usuario ingresa el número del producto deseado a través del teclado de un control remoto (en este caso, el control es de la aplicación de celular IR Remote) y presiona “Select”. Para

que la orden sea enviada, se debe presionar el botón “OK”. En la siguiente figura se puede observar el teclado del control remoto:

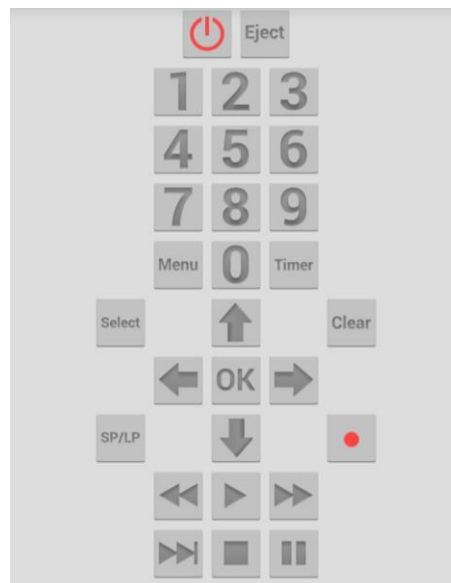


Figura 51. Teclado del control remoto

- 1.1. El sistema envía la orden siempre que la bandeja no tenga algún tipo de peso. El sistema de bloqueo se activa por una galga extensiométrica que se encuentra debajo de la bandeja y bloquea el proceso cuando detecta la fuerza ejercida por algún producto o mano de algún consumidor.
 - 1.2. En el caso de que se desee más de un producto, después de presionar el botón “Select” por primera vez, se ingresa el número del nuevo producto y se presiona de nuevo “Select”. Una vez seleccionado todos los productos, se presiona “OK” para que la orden sea enviada.
 - 1.3. Se recomienda no presionar botones una vez presionado el botón “OK”.
 - 1.4. En el caso de digitar el número de un producto no deseado, se debe presionar el botón “Clear” y comenzar el proceso de nuevo.
2. La señal se envía a los motores paso a paso para que el elevador comience a subir.

2.1. El algoritmo interno, en función de los productos seleccionados, ordena los productos de tal forma que el elevador los recoge desde los productos del nivel 1, después baja al nivel 2 y así sucesivamente hasta recoger todos los productos. En la siguiente figura se puede observar el orden de enumeración de los productos.

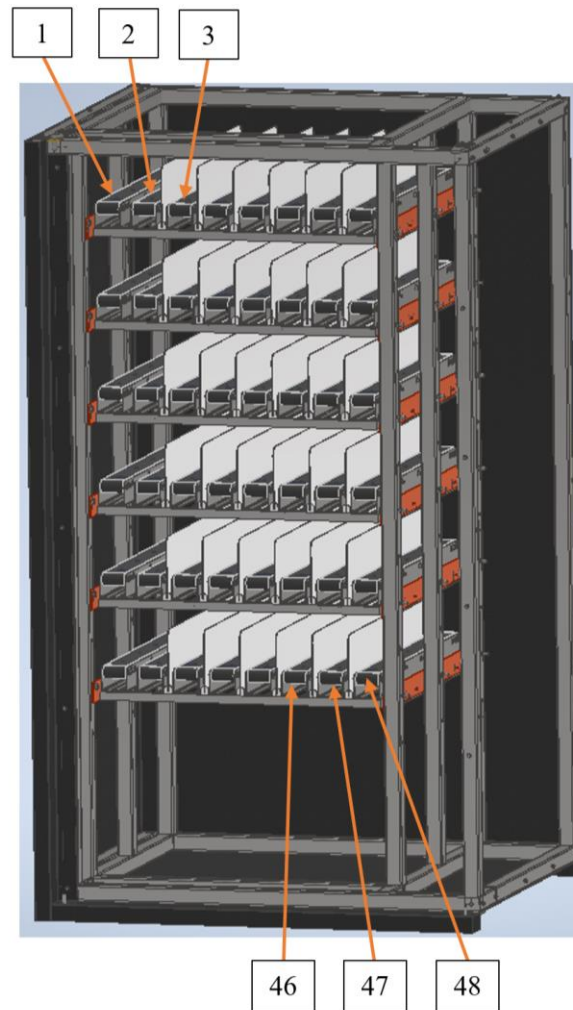


Figura 52. Orden de enumeración de los productos dentro de la Farmabot

3. El elevador sube hasta que el sensor de proximidad (del nivel deseado) lo detecta. En ese momento se envía una señal para detener los motores del elevador.
4. Una vez detenidos los motores del elevador, se enciende el motor DC del conveyor y sale el producto.

- 4.1. En el caso de que exista más de un producto seleccionado del mismo nivel, el elevador no se desplaza hasta que todos los productos salgan.
5. Un sensor infrarrojo es el encargado de detectar que el producto haya llegado a la bandeja del elevador (debe detectar y dejar de detectar para que la operación continúe). En ese momento, el sensor envía una señal para que el motor del conveyor se detenga y se encienden los motores del elevador para dirigirse a la compuerta para retirar el producto.
6. El elevador se detiene en la compuerta al momento en que se acciona un final de carrera que envía una señal para detener los motores del elevador.
 - 6.1. La compuerta se encuentra cerrada y bloqueada por un sistema de bloque. La compuerta se puede abrir únicamente cuando el elevador llega al nivel de la compuerta.
 - 6.1.1. Se recomienda evitar forzar el ingreso de los brazos al interior de la Farmabot por medio de la compuerta por riesgo de atrapamiento.
 - 6.2. No se debe realizar una nueva solicitud de productos hasta que se hayan retirado los productos de la bandeja de la solicitud anterior.

Apagado: Se debe desconectar la Farmabot de la fuente de voltaje. Se debe cerciorar que la máquina no esté en uso al momento de apagarla para evitar problemas en el circuito y en el funcionamiento de la parte mecánica.

- **Reabastecimiento de insumos médicos**

1. Abrir la puerta principal completamente (de tal forma que no obstaculice con el reabastecimiento de productos).
2. Sacar uno de los cajones completamente y ubicar los productos de tal forma que se pueda aprovechar el espacio al máximo.
 - 2.1. Los medicamentos que requieren de refrigeración deben ubicarse en el nivel 5 y 6.
 - 2.2. No arrimarse a los cajones extendidos por riesgo de que se doblen las carrileras.

3. Cerrar el cajón completamente empujándolo con delicadeza hasta llegar al tope final.
 - 3.1. Cerciorarse de que el cajón se ancle al fondo de la Farmabot. Se puede comprobar con intentar sacar el cajón con poca fuerza y, si presenta resistencia, ya se encuentra anclado.
4. Repetir los pasos 2 y 3 en cada uno de los cajones hasta que se haya reabastecido por completo la Farmabot.
5. Cerrar la puerta principal.
 - **Configuración de ancho del producto (un producto utiliza dos conveyors)**

En caso de que se requiera utilizar dos conveyors para mover un producto, se debe conectar los cables de entrada a los motores a la misma bornera del PCB.

Nota: Se recomienda probar el sistema (seguir los pasos de la sección “Funcionamiento de la Farmabot”) con el fin de comprobar que todo esté funcionando correctamente.

- **Reorganización de cajones**
1. Abrir la puerta principal completamente (de tal forma que no obstaculice con la organización de los productos).
 2. Utilizar una llave inglesa de 8 [mm] y una llave Allen de 8 [mm] para desajustar los pernos y tuercas que unen al cajón con la estructura principal.
 - 2.1. Se recomienda que estén dos personas para que una sostenga el cajón mientras que la otra sostiene el cajón.
 3. Retirar el cajón de la estructura principal.
 4. Ubicar el cajón al nivel que se desea y ajustar los pernos y tuercas.
 - 4.1. Recomendación del punto 2.1.
 5. Cerrar la puerta principal.

6. Se recomienda probar el sistema (seguir los pasos de la sección “Funcionamiento de la Farmabot”) con el fin de comprobar que todo esté funcionando correctamente.

Anexo E.2: Manual de mantenimiento

La Farmabot es una máquina expendedora modular y automatizada de insumos médicos diseñada con el fin de facilitar la adquisición de algún producto médico, elimina la distancia que puede existir en lugares alejados en los que no se encuentran farmacias y reducir la interacción entre personas para evitar la propagación de un virus. Las dimensiones de la Farmabot son de 1 [m] x 1.85 [m] x 1 [m] con un peso completo de 300 [kg]. El tiempo de entrega de un producto es de 45 [s] (este tiempo puede variar dependiendo del número de productos seleccionados en la orden). Funciona a 110 [V] las 24 horas del día y climatiza el interior de la máquina a 4 [°C] estando en un ambiente con temperatura promedio de 22 [°C]. La máquina puede dispensar desde productos pequeños y versátiles como frascos de medicina hasta productos más grandes y pesados como kits de primeros auxilios. Los conveyors soportan un peso máximo de 2.1 [kg]. La Farmabot consta de 6 niveles en los que hay 8 conveyors por nivel.

- **Lista de partes**

En la siguiente tabla se lista las piezas de la Farmabot con su respectivo código de plano.

Tabla 26. Lista de subsistemas con sus respectivas piezas y códigos de planos

Subsistema	Pieza	Código de plano
Ensamble Eje Conducido	Rodillo Eje Conducido	C04-01
	Eje Guía Conducido	C04-02
	Rodamiento 625-2RS	N/A

Ensamble General Conveyor	Lateral Conveyor 1	C02-01
	Lateral Conveyor 2	C01-01
	Eje Motriz Conveyor	C03-01
	Ensamble Eje Conducido	C04-00
	Unión entre Laterales Conveyor	C5-01
	Pieza de Tensión	C07-01
	Superficie de Acrílico	C09-01
	Banda Lisa	N/A
	Micromotor Reductor	N/A
	Rodamiento 625-2rs	N/A
	AS 1420 – 1973 – M5 x 12	N/A
	AS 1427 - M4 x 10	N/A
	AS 1427 - M5 x 75	N/A
	AS 1112 - M4 Tipo 5	N/A
	AS 1112 - M5 Tipo 5	N/A
	Soporte Piso Motor	C06-01
	Engranaje de Transmisión 1	C03-001
Engranaje de Transmisión 2	C03-002	
Cajón	ISO 657-1 – L20x20x3-680	N/A

	ISO 657-1 – L20x20x3-694	N/A
Ensamble Cajón	Platina 65x6x700	J02-01
	Corredera	N/A
	Cajón	J01-01
	Ensamble General Conveyor	C00-00
	AS 1112 - M5 Tipo 5	N/A
	AS 1110 - M5 x 10	N/A
Ensamble MD	Placa MD	EI01-001
	Rueda Superior-Placa	EI01-002
	Rodela	N/A
	Rueda Inferior-Placa	EI01-003
	5 [mm] Bearing SKF 625 (RS 286-7811)	N/A
	Eje Rueda-Placa	EI01-004
Ensamble Motor- Izquierdo	Motor Nema23	N/A
	Placa sostén motor - Izquierdo	EI003-001
	ISO 4762 - M4 x 20	N/A
	AS 1285 - M4	N/A
	Pieza Eje Elevador	N/A

Ensamble Motor-Derecha	Placa sostén motor - Derecha	EI004-001
	Motor Nema 23	N/A
	Polea banda	N/A
	ISO 4762 - M4 x 20	N/A
	AS 1285 - M4	N/A
Sistema de Soporte-Banda Dentada	Placa Soporte-Banda Dentada	EI05-002
	Soporte Eje Guía	EI05-001
	Eje guía	EI05-003
	Rodamiento 61900-RS1 SKF	N/A
	Polea banda	N/A
	CNS 3932 - M 4 x 16	N/A
Ensamble Sistema Elevador	Bandeja	EI06-000
	Ensamble MD	EI001-000
	Ensamble Motor-Izquierdo	EI03-000
	Ensamble Motor-Derecho	EI04-000
	ISO 4762 – M6x16	N/A

	Sistema de Soporte-Banda Dentada	E105-000
	PERFIL CEDAL 3646_RINOX	E102-001
Ensamble Compuerta	ISO 10799 – 40x40x2 – 600	B02-05
	Placa Bloqueo	B02-03
	Vástago Bloqueo	B02-04
	AS 1420 – 1973 – M5x12	N/A
	Cilindro T para Bloqueo	B02-01
	Resorte de Bloqueo	B02-02
	Pasador de la Bisagra	N/A
	Superior de Bisagra	N/A
	Inferior de Bisagra	N/A
	Placa Principal de Compuerta	B01-01
	BS 1804-2 – 6 x 40	N/A
	AS 1112 – M5	N/A
Puerta Secundaria	Carcasa Frontal Puerta Secundaria	E04-02

	Carcasa Posterior Puerta Secundaria	E04-03
	Sello Magnético	N/A
	Tope Puerta Secundaria	E04-04
	Marco Puerta Secundaria	E04-01
	Cojinete Puerta Secundaria	E04-0
Puerta Principal	Marco Puerta Principal	E03-01
	Vidrio Puerta Principal	E03-02
	Sello Magnético	N/A
	Cojinete Puerta Principal	E03-03
	Pivote Puertas Batientes	E05-01
Ensamble Farmabot	Estructura Principal	E01-01
	Ensamble Compuerta	B00-00
	Puerta Secundaria	E04
	Ensamble Cajón	J00-00
	Carcasa Izquierda	E02-02
	Carcasa Superior	E02-01
	Carcasa Derecha	E02-04
	Carcasa Posterior	E02-03
	Carcasa Inferior	E02-05

	Pivote Puertas Batientes	E05-01
	Ensamble Sistema Elevador	EI00-000
	IFI502-M5x0.8x10	N/A
	Puerta Principal	E03-0

• **Plano de montaje**

En la siguiente figura se puede observar el plano de montaje de la Farmabot señalizando los subconjuntos de piezas que lo conforman.

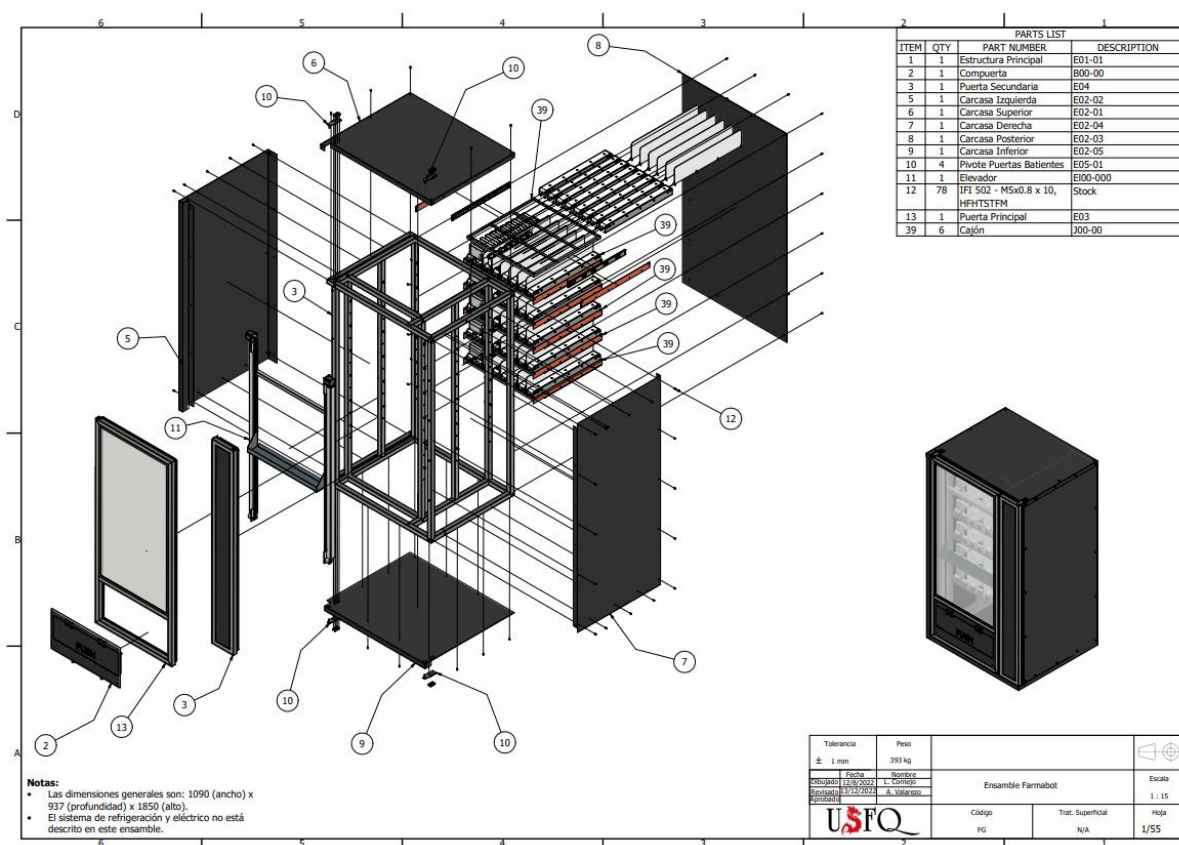


Figura 53. Plano de ensamble de la Farmabot

- **Lista de Procedimientos de Mantenimiento**

En la siguiente tabla se presenta el mantenimiento recomendado a los subsistemas de la Farmabot. En cada subsistema se realizan recomendaciones para el correcto mantenimiento, tipo de herramientas a usar y tiempos de revisión.

Tabla 27. Lista de mantenimiento de los subsistemas de la Farmabot

Subsistemas	Comentarios / Notas de Mantenimiento
CONVEYOR	<ul style="list-style-type: none"> • Para el mantenimiento de cada conveyor se aconseja usar llaves inglesas de 4 [mm], 3 [mm], llaves Allen de 4 [mm] y de 2.5 [mm]. Además de una regla nivelada. • Se recomienda utilizar guantes de protección. • Se comprobará antes del uso de la maquina una tensión optima de las bandas además que ningún agente estorbe la trayectoria de estas. • Antes del uso pertinente se debe comprobar la nivelación de cada conveyor con el objetivo de asegurar un ensamble correcto y soporte para los productos. • Si existe fallos en el correcto funcionamiento del subsistema se procederá con un chequeo rutinario: <ol style="list-style-type: none"> 1. Se destensará la banda para observar algún componente dañado, quemado o mal posicionado 2. Si se encuentra un componente suelto o mal colocado, se procederá a colocarlo bien y asegurarlo de manera cuidadosa.

	<ol style="list-style-type: none"> 3. Si se encuentra algún componente dañado, proceder a reemplazarlo con los repuestos pertinentes. 4. Si todos los componentes se ven físicamente en buen estado, comprobar la conexión eléctrica o continuidad. <ul style="list-style-type: none"> • En caso de errores no enlistados, llamar al fabricante.
CAJONES	<ul style="list-style-type: none"> • Para el mantenimiento de los cajones se necesita llaves inglesas de 8 [mm], 6 [mm], de 4 [mm] y una regla nivelada, opcionalmente una llave ajustable. • Se recomienda utilizar guantes de protección. • Se comprobará la capacidad de movimiento suave de las correderas para cada cajón. Y se las limpiara de agentes externos como polvo, agua, etc. • Para asegurar un correcto funcionamiento de la maquina se deberá asegurar un nivelado superficial correctamente realizado para evitar disminuir la vida de los cajones o productos en ellos • En caso de presentarse daños estructurales, llamar al fabricante.
ROBOT/ELEVADOR	<ul style="list-style-type: none"> • Para el mantenimiento del Robot y el Elevador se necesitará de llaves Allen de 6[mm], 4 [mm], 3 [mm] y opcional llave Ajustable. • Se recomienda utilizar guantes de protección.

REFRIGERACIÓN

- La grasa en los carros de la bandeja se tendrá que reemplazar regularmente cada vez que el componente móvil presente dificultades por fricción
 - Revisar alineación de la polea con el motor y entre las dos columnas móviles.
 - Se revisará la nivelación de la bandeja para un buen soporte de los insumos médicos.
-
- Para el mantenimiento del sistema de refrigeración se necesitará de llaves ajustables, una llave de plomería, contenedores auxiliares, mazos de goma y un multímetro.
 - Para un correcto vaciado del refrigerante se aconseja tener un contenedor grande y utilizar EPPs: máscara filtrante, guantes de protección contra el frío, pantalla facial, ropa de protección y calzado de trabajo (Química Comercial Andina SAS, 2020).
 - En el caso de notar un mal funcionamiento o un funcionamiento nulo, revisar la existencia de fugas, congelaciones de las tuberías, estorbos, averías en el compresor o aperturas en el aislante.
 - Si el aislante del espacio climatizado esta perforado o abierto, se tendrá que reemplazar la placa dañada.
 - Si existe un congelamiento en los embobinados del evaporador se deberá a verificar el correcto funcionamiento del compresor y se tendrá que regular.

- Si se encuentran agentes externos como polvo se deberá limpiar y dejar el circuito lo más despejado posible.
- Si existe un mal funcionamiento del compresor, se tendrá que comprobar sus conexiones y si funciona correctamente. Si el caso es muy extremo, se deberá reemplazar este componente. Para el análisis del compresor se deberá vaciar el circuito del refrigerante.
- Si se tiene una fuga se tendrá que identificar la sección, seguidamente sellarla de forma temporal hasta completar un vaciado completo del refrigerante, y reemplazar la sección malograda.
- Para cualquier incidente no contemplado, llamar al fabricante.

Notas:

Se recomienda realizar todo el procedimiento descrito en la tabla anterior mensualmente al tener un máximo de 384 productos dispensados en 150 ciclos al día, lo que nos dará unos 4500 ciclos mensualmente y unas 3 reposiciones de inventario a la semana. Por otro lado, realizarlo al primer indicio de un mal funcionamiento o falla.

ANEXO F: EVIDENCIA

Anexo F.1: Actas de reuniones

En la siguiente tabla se presenta las fechas de reuniones, actividades realizadas y el lugar (o medio) de tal reunión.

Tabla 28. Reuniones realizadas a lo largo del proyecto

Fecha	Actividad	Lugar/medio de reunión
8/22/2022-9/11/2022	Definición del problema	Aula de clases - Reunión zoom
9/5/2022-10/2/2022	Desmantelamiento y evaluación de la versión anterior de la Farmabot	Laboratorio de materiales
9/12/2022-9/18/2022	Diseño de la Fachada	Laboratorio de materiales - Zoom
9/12/2022-9/18/2022	Diseño de la estructura	Laboratorio de materiales - Zoom
9/19/2022-9/25/2022	Diseño del sistema de dispensador	Laboratorio de materiales
9/26/2022-10/2/2022	Diseño del sistema de entrega y recolección	Laboratorio de materiales
10/3/2022-10/9/2022	Diseño de la organización Interna	Laboratorio de materiales
10/10/2022-10/16/2022	Diseño del sistema de HVAC	Laboratorio de materiales
11/7/2022-11/27/2022	Diseño del sistema electrónico	Laboratorio de materiales
12/14/2022-11/27/2022	Prototipado Estructuras	Laboratorio de materiales
10/21/2022-11/6/2022 y 11/28/2022-12/4/2022	Prototipado Actuadores	Laboratorio de materiales
11/7/2022-12/11/2022	Identificación, prueba de subsistemas y modificaciones	Laboratorio de materiales
11/21/2022-12/11/2022	Ensamble final con la parte electrónica	Laboratorio de materiales
11/21/2022-12/18/2022	Pruebas, revisiones y reparaciones para el ensamblado final	Laboratorio de materiales

Anexo F.2: Cálculos hechos a mano

En las siguientes figuras se presentan los cálculos realizados a mano para el diseño de la Farmabot.

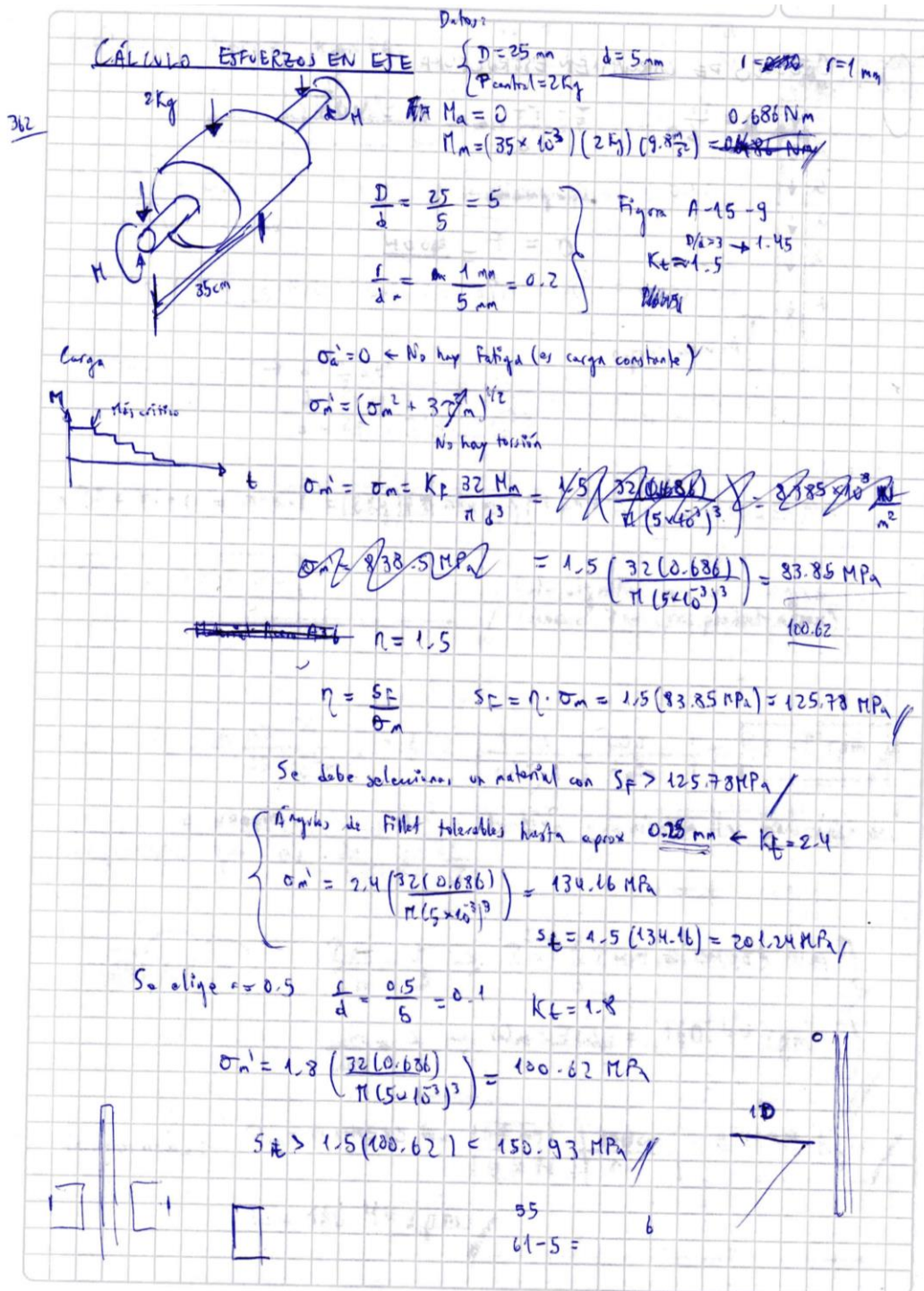
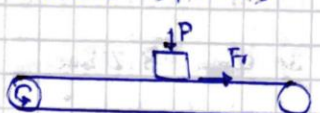


Figura 54. Cálculos de esfuerzos en el eje

CÁLCULOS MOTOR BANDAS

$V_0 = 0$
Masa = 2 Kg

Debe:
Recorrer $x = 700 \text{ mm} = 0.7 \text{ m}$
 $t = 10 \text{ s}$



$r = 12.5 \text{ mm} = 1.25 \times 10^{-2} \text{ m}$
 $d = 700 \text{ mm}$
 $t = 10 \text{ s}$

$\tau_m = \tau_R + \tau_i$
Fricción Velocidad

M caucho contra plástico = 0.56

* $\tau_R = F_R \cdot r = 0.56 (N) (r) = 0.56 (2) (4.8) (1.25 \times 10^{-2}) = 0.1372 \text{ Nm}$

* $d = \sqrt{v_0^2 t^2 + \frac{1}{2} a t^2} \rightarrow d = \frac{1}{2} a t^2$
 $a = \frac{2d}{t^2} = \frac{2(700 \times 10^{-3})}{(10)^2} = 0.014 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

* $\tau_i = F_i \cdot r = m \cdot a \cdot r = (2 \text{ Kg}) (0.014 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) (1.25 \times 10^{-2} \text{ m}) = 0.00035 \text{ Nm}$

$\tau_m = 0.13755 \text{ Nm}$

Promedio


* $v_A = \frac{d}{t} = \frac{0.7 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 0.07 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

* $\omega = \frac{v_A}{r} = \frac{0.07 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.25 \times 10^{-2} \text{ m}} = 5.6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

1 rev	60 s
$2\pi \text{ rad}$	1 min

$= 53.48 \text{ rpm}$

Lo que se requiere se consigue también gracias a la transmisión de engranajes que es de $i = \frac{1}{3}$



$\frac{\tau_m}{\tau_M} = \frac{1}{3} \rightarrow \tau_m = \frac{1}{3} \tau_M = 0.04585 \text{ Nm}$

$\frac{\omega_m}{\omega_M} = 3 \rightarrow \omega_m = 3 \omega_M = 160.44 \text{ rpm}$

(Coordenada): $\tau_m = 0.04585 \text{ Nm} \left| \frac{9.8 \text{ Kgf}}{9.8 \text{ N}} \right| \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 0.4678 \text{ Kgc/cm}$

$\omega = 160.44 \text{ rpm}$

Figura 55. Cálculos del motor de bandas

Opción 1 Mercado Libre

rpm sin carga = 600 rpm Torque de bloque: 3.2 Kg cm

Σ Kgcm

Gráfica Elaborada en Geogebra

Puntos: $\left\{ \begin{array}{l} (0, 3.2) \text{ Recta} \\ (600, 0) \\ (480, 0.4) \leftarrow \text{Recomendación} \\ (160.44, 0.4678) \end{array} \right.$

CÁLCULOS MOTOR ROBOT $P = 4 \text{ Kg}$

Debe recorrer: $d = 1 \text{ metro}$
 $t = 10 \text{ s}$

$\Sigma M = \Sigma R + \Sigma I$

$\Sigma R = F_1 \cdot r = (4 \text{ Kg}) \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (5 \times 10^{-2} \text{ m}) (0.56) = 1.0976 \text{ Nm}$ Se considera que la fricción no es problema.

Se considera el motor alineado con el centro de gravedad de la carga.

$d = \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow a = \frac{2d}{t^2} = \frac{2(1 \text{ m})}{(10)^2} = 0.02 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$a_T = a_M + a_g \rightarrow a_M = a_T - a_g = 0.02 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9.82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$\Sigma I = F_i \cdot r = m \cdot a_M \cdot r = 4 \text{ Kg} (9.82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) (5 \times 10^{-2} \text{ m}) = 1.964 \text{ Nm}$

$\Sigma M = 1.964 \text{ Nm} //$

$v_f = at = 0.02 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (10 \text{ s}) = 0.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $\omega = \frac{v_f}{r} = \frac{0.2 \text{ m/s}}{5 \times 10^{-2} \text{ m}} = 4 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \left| \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right| = 38.19 \text{ rpm}$

No hay transmisión por engranajes

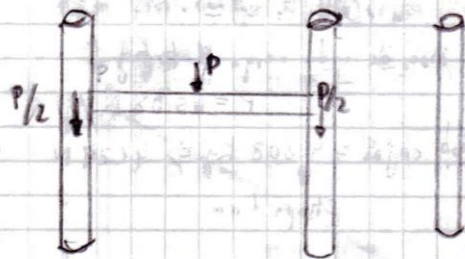
$\Sigma M = 1.964 \text{ Nm} \left| \frac{1 \text{ Kg f}}{9.8 \text{ N}} \right| \left| \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right| = 20.04 \text{ Kg f cm} = 196.4 \text{ Nm} //$

$\omega = 38.19 \text{ rpm} //$

Motor NEFA 24 24H2096 300-4A Curva apropiada a 38.19 rpm $\Sigma > 2 \text{ Nm} //$

Figura 56. Cálculos del motor del robot

PANDEO DE COLUMNAS ROBOT



$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$$

Se considera empotrado-empotrado
 $K=0.5$

$$L_e = 0.5L$$

$$E = 69.5 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$I = 94190.20 \text{ mm}^4$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(0.5L)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 69.5 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 94190.20 \times 10^{-8} \text{ m}^4}{(0.5 \cdot 1.50 \text{ m})^2} = 114859.717 \text{ N}$$

Figura 57. Cálculo del pandeo de las columnas del robot

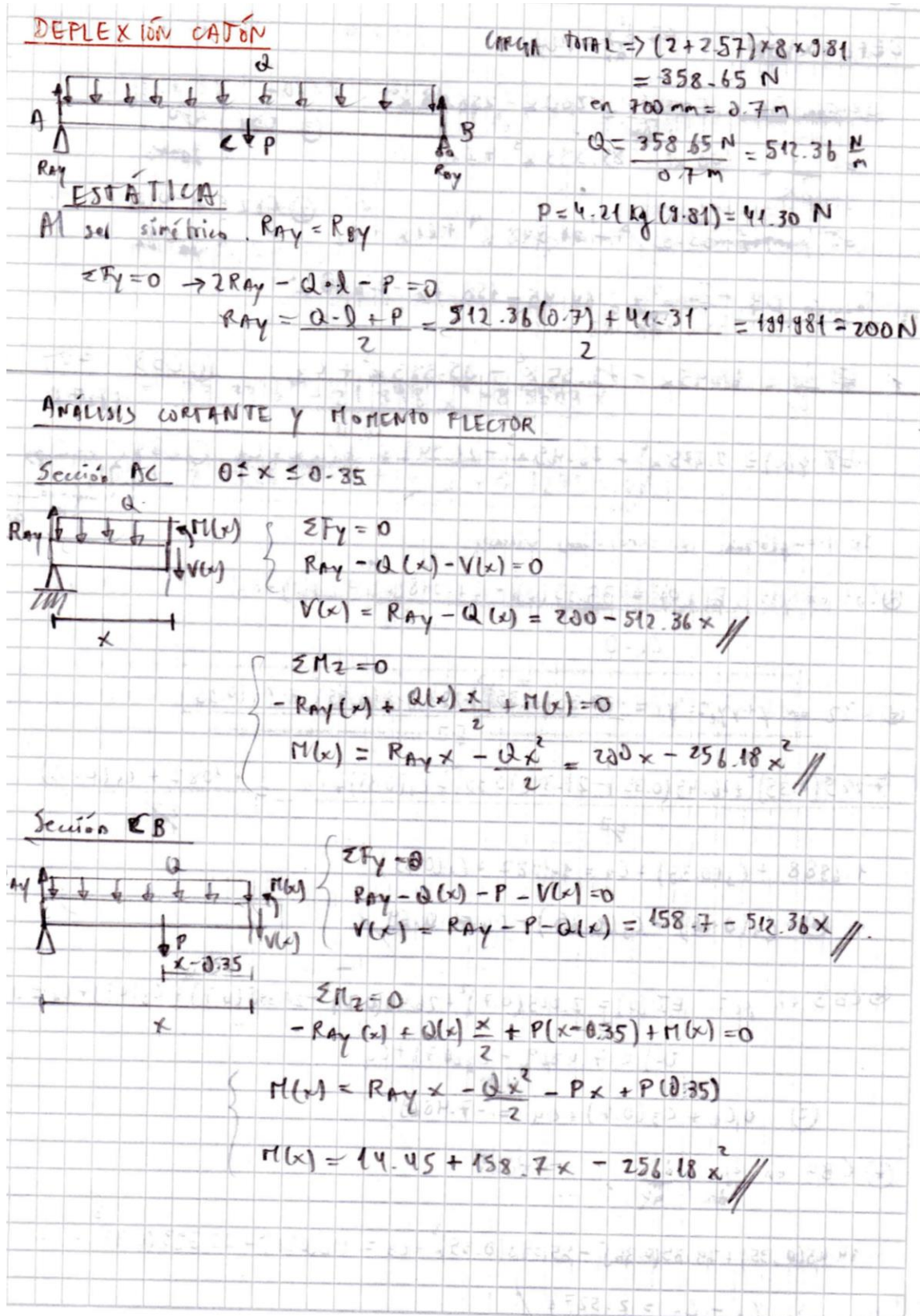


Figura 58. Cálculos de la deflexión del cajón

DEFLEXIÓN $EI \frac{d^2 y}{dx^2} = f(x)$

Sección AC $EI \frac{d^2 y}{dx^2} = 200x - 256.18x^2$

$EI \frac{dy}{dx} = 100x^2 - 85.393x^3 + C_1$ ① CB1 $\begin{cases} x=0 \\ y_1=0 \end{cases}$

$EI y(x) = 33.33x^3 - 21.348x^4 + C_1x + C_2$ ② CB2 $\begin{cases} x=0.35 \\ y_1=y_2 \end{cases}$

Sección CB $EI \frac{d^2 y}{dx^2} = 14.45 + 158.7x - 256.18x^2$

$EI \frac{dy}{dx} = 14.45x + 79.35x^2 - 85.393x^3 + C_3$ ③ CB3 $\begin{cases} x=0.7 \\ y_2=0 \end{cases}$

$EI y(x) = 7.225x^2 + 26.45x^3 - 21.348x^4 + C_3x + C_4$ ④ CB4 $\begin{cases} x=0.35 \\ \frac{dy_1}{dx} = \frac{dy_2}{dx} \end{cases}$

Se reemplazan las condiciones iniciales

① CB1 en y_1 : $EI(0) = 33.33(0)^3 - 21.348(0)^4 + C_1(0) + C_2$
 $C_2 = 0$

② CB2 en y_1 y y_2 : $EI y_1 = \frac{33.33(0.35)^3 - 21.348(0.35)^4 + C_1(0.35)}{EI}$
 $\frac{7.225(0.35)^2 + 26.45(0.35)^3 - 21.348(0.35)^4 + C_3(0.35) + C_4}{EI} = \frac{1.1087 + C_1(0.35)}{EI}$
 $1.6988 + C_3(0.35) + C_4 = 1.1087 + C_1(0.35)$
 ① $C_1(0.35) + C_3(0.35) - C_4 = 0.59$

③ CB3 en y_2 : $EI(0) = 7.225(0.7)^2 + 26.45(0.7)^3 - 21.348(0.7)^4 + C_3(0.7) + C_4 = 0$
 $C_0 = 7.4869 + C_3(0.7) + C_4$
 ② $0C_1 + C_3(0.7) + C_4 = -7.4869$

④ CB4 en $\frac{dy_1}{dx}$ y $\frac{dy_2}{dx}$

$14.45(0.35) + 79.35(0.35)^2 - 85.393(0.35)^3 + C_3 = 100(0.35)^2 - 85.393(0.35)^3 + C_1$
 ③ $C_1 - C_3 = 2.5278$

Figura 59. Continuación de los cálculos de la deflexión del cajón

Resolviendo el sistema: $Ax = b$

$$\begin{bmatrix} 0.35 & -0.35 & -1 \\ 0 & 0.7 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.59 \\ -7.427 \\ 2.528 \end{bmatrix}$$

Al resolver $x = \text{inv}(A) \times b$

$$C_1 = -8.5603$$

$$C_2 = -11.0883$$

$$C_3 = 0.2948$$

$$I = \frac{1}{12} bh^3 = \frac{1}{12} (700 \text{ mm}) (1 \text{ mm})^3$$

$$I = 58.333 \text{ mm}^4$$

$$I = 58.333 \times 10^{-12} \text{ m}^4$$

$$E_{\text{acero}} = 20 \times 10^{10} \text{ Pa}$$

$$y_1(x) = \frac{33.33 x^3 - 21.348 x^4 - 8.5603 x}{EI}$$

$$y_1(x) = 2.3326 x^3 - 1.814 x^4 - 0.7275 x \quad \leftarrow 0 \leq x \leq 0.35 \text{ m}$$

$$y_2(x) = \frac{7.225 x^2 + 26.45 x^3 - 21.348 x^4 - 11.0883 x + 0.2948}{EI}$$

$$y_2(x) = 0.61 x^2 + 2.248 x^3 - 1.814 x^4 - 0.8423 x + 0.025 \quad \leftarrow 0.35 \leq x \leq 0.7 \text{ m}$$

Figura 60. Determinación de las ecuaciones de deflexión del cajón

Anexo F.3: Bocetos

En las siguientes figuras se presentan los bocetos de diseños iniciales o descartados realizados a lo largo del proyecto.

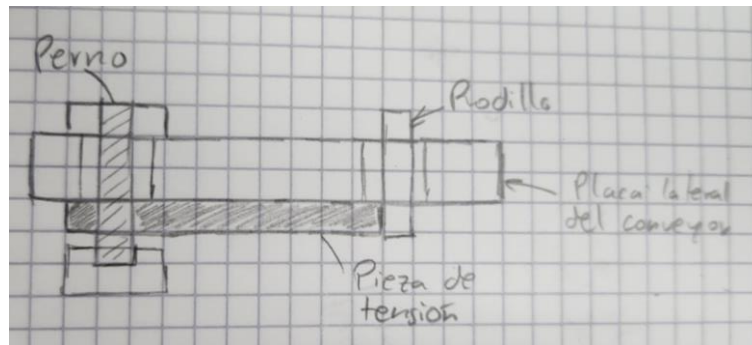


Figura 61. Boceto del sistema de tensión del conveyor

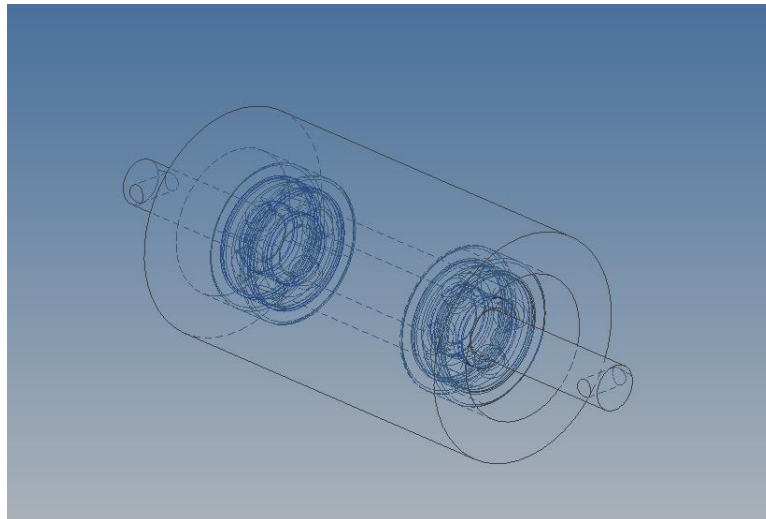


Figura 62. Boceto del eje conducido

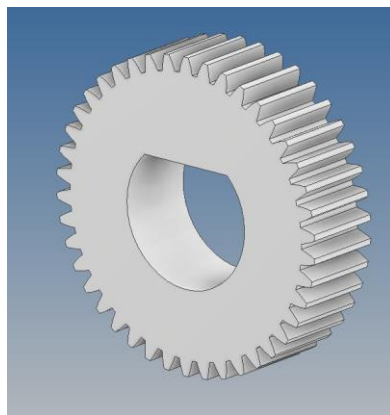


Figura 63. Engranaje eje motriz

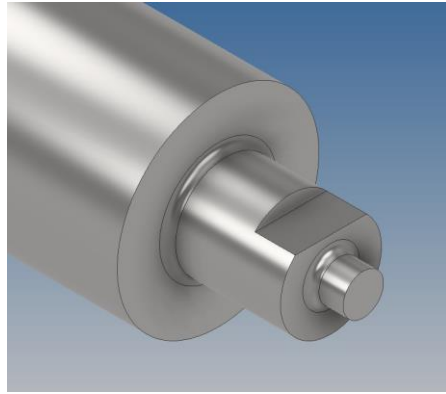


Figura 64. Acople engranaje - eje motriz

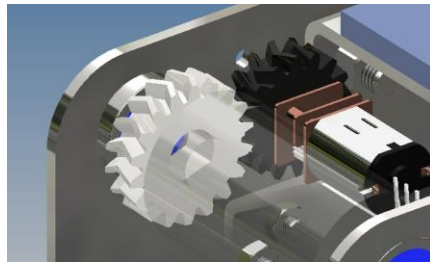


Figura 65. Sistema de transmisión por engranajes tipo Herring-bone

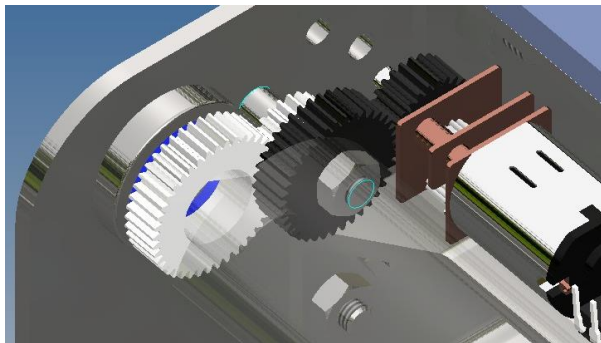


Figura 66. Sistema de transmisión por engranajes tipo recto

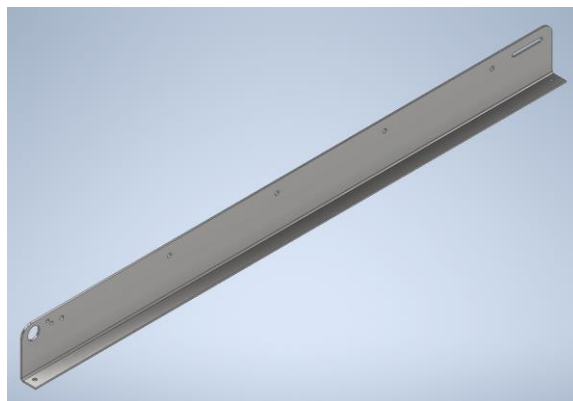


Figura 67. Sistema de tensión lateral del conveyor 1



Figura 71. Facturas de las compras realizadas en el mes de noviembre - Parte 2

Anexo F4.3: Facturas de diciembre

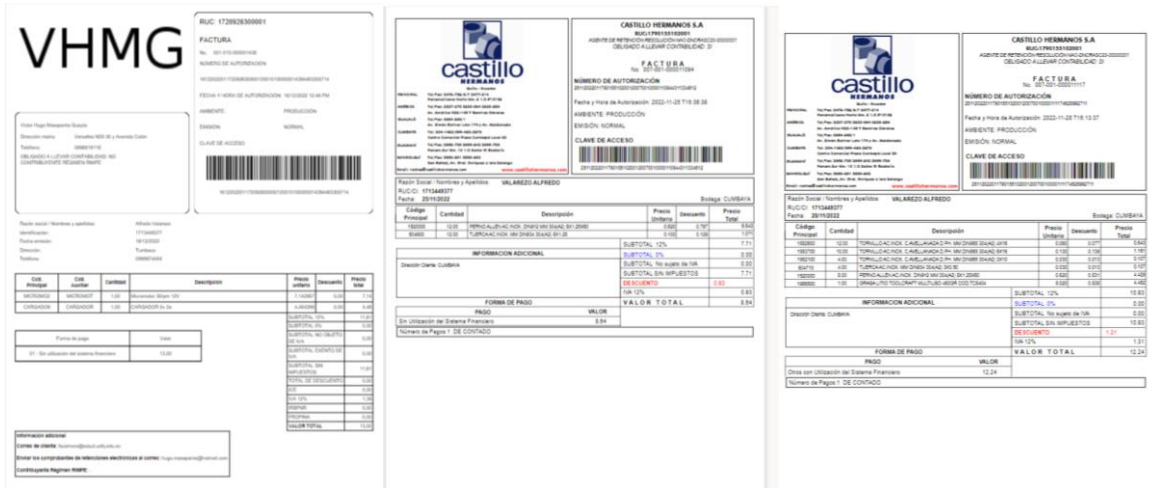



Figura 72. Facturas de las compras realizadas en el mes de diciembre - Parte 1



CASTILLO HERMANDAD S.A.
AGENCIA DE SERVICIOS FINANCIEROS Y ADMINISTRATIVOS
CALLE ALFARO CONTABILIDAD 13

FACTURA
Nº: 002 001 00000017


NÚMERO DE AUTORIZACIÓN: 28110302

Fecha y Hora de Autorización: 2022-11-28 17:18:03

AMBIENTE: PRODUCCIÓN

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO



CASTILLO HERMANDAD S.A.
AGENCIA DE SERVICIOS FINANCIEROS Y ADMINISTRATIVOS
CALLE ALFARO CONTABILIDAD 13

FACTURA
Nº: 002 001 00000017

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN: 28110302

Fecha y Hora de Autorización: 2022-11-28 17:18:04

AMBIENTE: PRODUCCIÓN

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO

RUC: 17917756001
FACTURA No. 004-003-00001833

MOJUNA ROSAS MOLINARO CIA. LTDA.
Calle Comercio 1000
Calle Comercio 1000
Calle Comercio 1000
Calle Comercio 1000

Fecha de Emisión: 2022-11-28 17:18:03

Fecha de Autorización: 2022-11-28 17:18:03

Clave de Acceso: 00000000000000000000000000000000

Razón Social: **Castillo Hermandad S.A.** Identificación: **171346037**

Fecha de Emisión: **28/11/2022**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
0001	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0002	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0003	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0004	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
SUBTOTAL 12%					0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS					0.00
TOTAL DESCUENTO					0.00
VALOR TOTAL					0.00

Razón Social: **Castillo Hermandad S.A.** Identificación: **171346037**

Fecha de Emisión: **28/11/2022**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
0001	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0002	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0003	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0004	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
SUBTOTAL 12%					0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS					0.00
TOTAL DESCUENTO					0.00
VALOR TOTAL					0.00

Razón Social: **Castillo Hermandad S.A.** Identificación: **171346037**

Fecha de Emisión: **28/11/2022**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
0001	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0002	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0003	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0004	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
SUBTOTAL 12%					0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS					0.00
TOTAL DESCUENTO					0.00
VALOR TOTAL					0.00

RUC: 17917756001

FACTURA
Nº: 002 001 00000017

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN: 28110302

Fecha y Hora de Autorización: 2022-11-28 17:18:03

AMBIENTE: PRODUCCIÓN

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO

RUC: 17917756001

FACTURA
Nº: 002 001 00000017

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN: 28110302

Fecha y Hora de Autorización: 2022-11-28 17:18:04

AMBIENTE: PRODUCCIÓN

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO

RUC: 17917756001

FACTURA
Nº: 002 001 00000017

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN: 28110302

Fecha y Hora de Autorización: 2022-11-28 17:18:03

AMBIENTE: PRODUCCIÓN

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO

Razón Social: **ALFREDO VALAREZO** Identificación: **171346037**

Fecha de Emisión: **28/11/2022**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
0001	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0002	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0003	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0004	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
SUBTOTAL 12%					0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS					0.00
TOTAL DESCUENTO					0.00
VALOR TOTAL					0.00

Razón Social: **ALFREDO VALAREZO** Identificación: **171346037**

Fecha de Emisión: **28/11/2022**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
0001	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0002	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0003	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0004	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
SUBTOTAL 12%					0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS					0.00
TOTAL DESCUENTO					0.00
VALOR TOTAL					0.00

Razón Social: **ALFREDO VALAREZO** Identificación: **171346037**

Fecha de Emisión: **28/11/2022**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
0001	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0002	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0003	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
0004	LIBRO DE CUENTAS	1.000	0.00	0.00	0.00
SUBTOTAL 12%					0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS					0.00
TOTAL DESCUENTO					0.00
VALOR TOTAL					0.00

RUC: 17917756001

FACTURA
Nº: 002 001 00000017

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN: 28110302

Fecha y Hora de Autorización: 2022-11-28 17:18:03

AMBIENTE: PRODUCCIÓN

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO

RUC: 1724018237001

FACTURA No. 001-001-00

0000046

Fecha: **01 de Diciembre 2022**

Cliente: **Alfredo Valarezo**

R.U.C. (C): **171346037**

Dirigido a: **Alfredo Valarezo**

Razón Social: **ALFREDO VALAREZO** Identificación: **171346037**

Fecha de Emisión: **28/11/2022**

Comprobante que se modifica: **FACTURA 002 002 00000043**

Fecha Emisión (Comprobante a modificar): **28/11/2022**

Razón de Modificación: **CAMBIO DE MERCADERIA**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
0001	FUENTE PODER PIGAL 24V SA (SD) (PDA-6)	1.000	31.250	0.00	31.250
SUBTOTAL 12%					31.250
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS					0.00
TOTAL DESCUENTO					0.00
VALOR TOTAL					31.250

Razón Social: **ALFREDO VALAREZO** Identificación: **171346037**

Fecha de Emisión: **28/11/2022**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
0001	FUENTE PODER PIGAL 24V SA (SD) (PDA-6)	1.000	31.250	0.00	31.250
SUBTOTAL 12%					31.250
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS					0.00
TOTAL DESCUENTO					0.00
VALOR TOTAL					31.250

Razón Social: **ALFREDO VALAREZO** Identificación: **171346037**

Fecha de Emisión: **28/11/2022**

Código	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
0001	FUENTE PODER PIGAL 24V SA (SD) (PDA-6)	1.000	31.250	0.00	31.250
SUBTOTAL 12%					31.250
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS					0.00
TOTAL DESCUENTO					0.00
VALOR TOTAL					31.250

Figura 73. Facturas de las compras realizadas en el mes de diciembre - Parte 2

Anexo F.5: Componentes de carpetas

En las siguientes figuras se presentan algunas de las carpetas en las que se han guardado los trabajos realizados a lo largo del semestre.

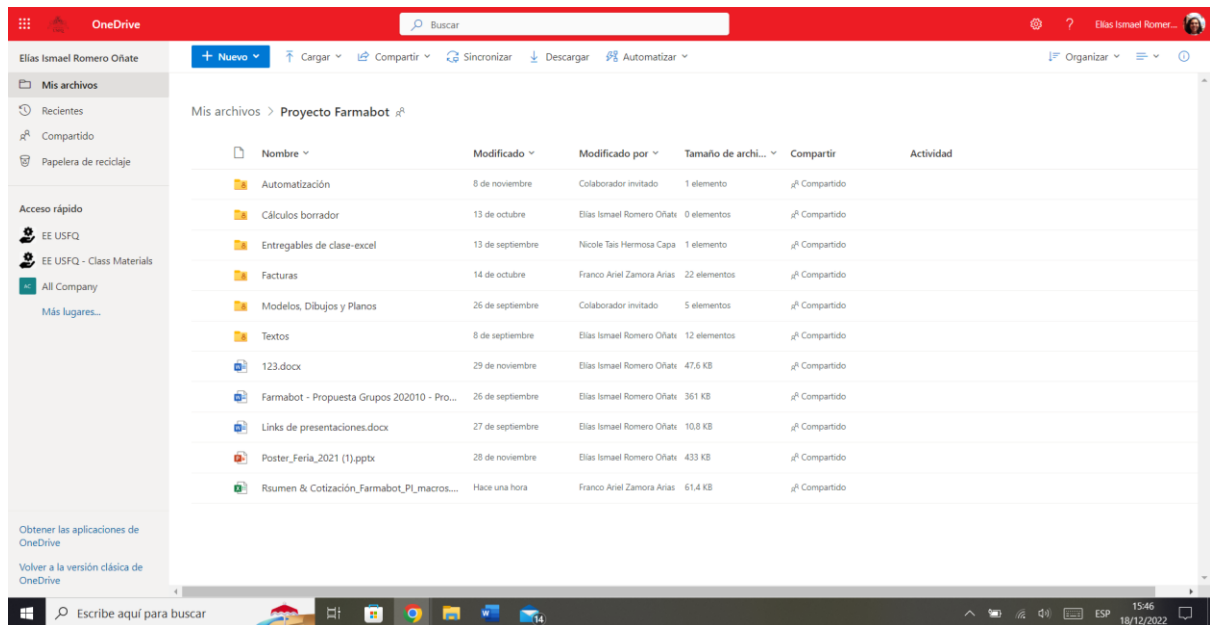


Figura 74. Carpeta general del proyecto

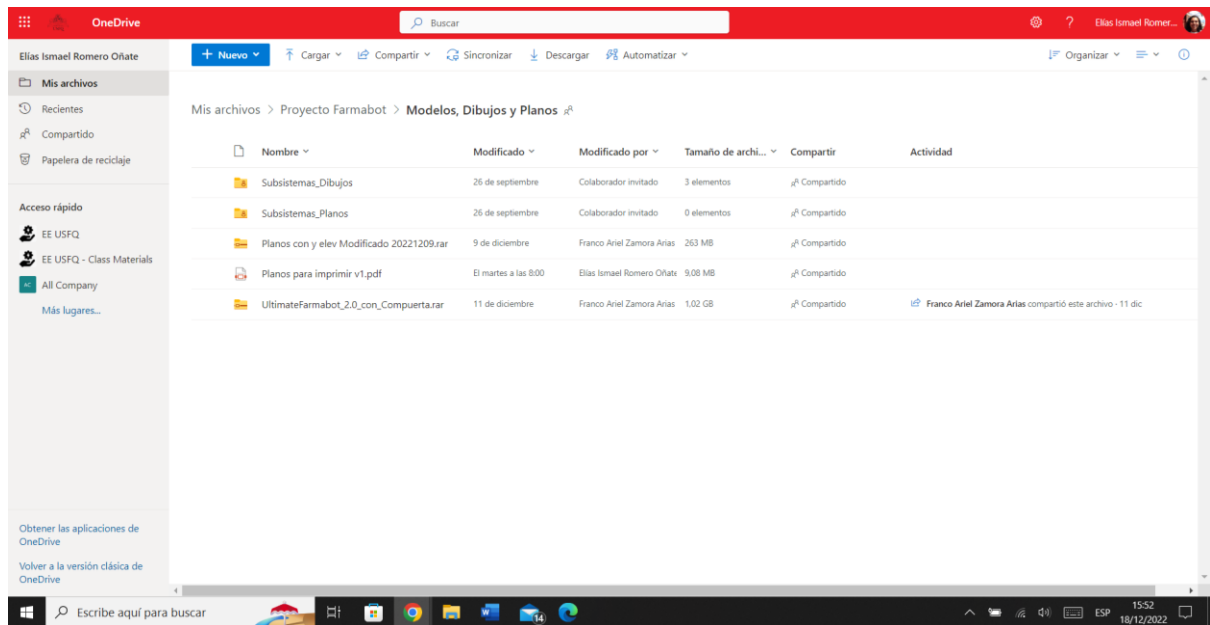


Figura 75. Carpeta de diseños 3D y planos de la Farmabot

OneDrive interface showing the 'Textos' folder under 'Proyecto Farmabot'. The folder contains the following files:

Nombre	Modificado	Modificado por	Tamaño de archi...	Compartir	Actividad
Carta Síme	29 de septiembre	Elias Ismael Romero Oñate	1 elemento	Compartido	
Carta Síme 2	3 de noviembre	Elias Ismael Romero Oñate	1 elemento	Compartido	
Deliverable 11 (Maintenance & operation)	8 de diciembre	Elias Ismael Romero Oñate	2 elementos	Compartido	
Deliverable 2.2 -Introducción-Estado del Arte	8 de septiembre	Elias Ismael Romero Oñate	1 elemento	Compartido	
Deliverable 4 (Design alternatives and selec...	29 de septiembre	Elias Ismael Romero Oñate	2 elementos	Compartido	
Deliverable 5 (Risk analysis)	28 de septiembre	Elias Ismael Romero Oñate	2 elementos	Compartido	
Deliverable 6 (Calculations Part 1)	18 de octubre	Elias Ismael Romero Oñate	2 elementos	Compartido	
Deliverable 7 (Calculations Part 2)	9 de diciembre	Elias Ismael Romero Oñate	2 elementos	Compartido	
Deliverable 9b (Manufacturing plan)	8 de diciembre	Elias Ismael Romero Oñate	2 elementos	Compartido	
Documento Final	18 de noviembre	Elias Ismael Romero Oñate	4 elementos	Compartido	
guia-biblioteca-pregrado.docx	8 de septiembre	Elias Ismael Romero Oñate	56,0 KB	Compartido	
Rsumen & Cotización_Farmabot_PL.xlsx	Ayer a las 10:37	Franco Ariel Zamora Arias	49,0 KB	Compartido	

Figura 76. Carpeta de los textos realizados a lo largo del proyecto

OneDrive interface showing the 'Facturas' folder under 'Proyecto Farmabot'. The folder contains the following files:

Nombre	Modificado	Modificado por	Tamaño de archi...	Compartir	Actividad
facturas de Diciembre	2 de diciembre	Franco Ariel Zamora Arias	12 elementos	Compartido	Franco Ariel Zamora Arias compartió este archivo - 8 dic
4cb37bba-fb45-4b68-a989-f6bd5ed0d368.j...	15 de octubre	Franco Ariel Zamora Arias	116 KB	Compartido	
Factura 1st Conveyor Esteban.jpg	4 de noviembre	Franco Ariel Zamora Arias	201 KB	Compartido	
Factura Banda Lisa.PDF	14 de noviembre	Franco Ariel Zamora Arias	270 KB	Compartido	
Factura correderas robot.pdf	20 de noviembre	Franco Ariel Zamora Arias	9,09 KB	Compartido	
factura correderas.PDF	14 de noviembre	Franco Ariel Zamora Arias	77,3 KB	Compartido	
factura electronicos DIC 3.pdf	25 de noviembre	Franco Ariel Zamora Arias	9,39 KB	Compartido	
Factura fuente de pover 24 DIC 2.PDF	25 de noviembre	Franco Ariel Zamora Arias	209 KB	Compartido	
Factura octubre.pdf	20 de noviembre	Franco Ariel Zamora Arias	396 KB	Compartido	
factura perfil aluminio.pdf	9 de noviembre	Franco Ariel Zamora Arias	608 KB	Compartido	
factura perno 1.pdf	15 de octubre	Franco Ariel Zamora Arias	445 KB	Compartido	
factura perno 2.pdf	15 de octubre	Franco Ariel Zamora Arias	727 KB	Compartido	
factura pernos 3.pdf	18 de octubre	Franco Ariel Zamora Arias	266 KB	Compartido	
factura pernos DIC 1.pdf	25 de noviembre	Franco Ariel Zamora Arias	75,4 KB	Compartido	

Figura 77. Carpeta de las facturas de los gastos del proyecto

ANEXO G: CÓDIGO DE FUNCIONAMIENTO DE LA FARMABOT

En el presente anexo se puede observar el código implementado en el Arduino MEGA para el funcionamiento de la Farmabot:

```
// Variables Inicializadas
#include <IRremote.h>
#include "HX711.h"
#include <AccelStepper.h>

int RECV_PIN = 53;
int act=0;
unsigned long valor;
int a=10;
int b=10;
int i=0;
int starter=0;
int selec=0;
int op[]={10,7};
String c;
int pis[8];
char abc[3]={'0','0','0'};
int pos=0;
int tol=8;
int velocidad=-200;

IRrecv irrecv(RECV_PIN);

decode_results results;

// Código que permite usar Serial como cout
template<class T> inline Print &operator <<(Print &obj, T arg) {
  obj.print(arg);
  return obj;
}

// Inicializar Variables Motor
#define ENABLE A15

// Inicializar Celda de Carga
const int LOADCELL_DOUT_PIN = A14;
const int LOADCELL_SCK_PIN = A13;
unsigned long t_pre=0;
unsigned long t_act;
float peso_act;
int Peso=LOW;
float sensibility=0.01055;
HX711 scale;
```



```

// Inicializar Motores Paso a Paso
#include <NewPing.h>

#define TRIGGER_PIN A12
#define ECHO_PISO_2 A11
#define ECHO_PISO_1 A10
#define MAX_DISTANCE 300
#define FDC A0

NewPing sonar1(TRIGGER_PIN, ECHO_PISO_1, MAX_DISTANCE);
NewPing sonar2(TRIGGER_PIN, ECHO_PISO_2, MAX_DISTANCE);

// Include the AccelStepper library:

// Define stepper motor connections and motor interface type. Motor interface type must be set to
// 1 when using a driver:
#define dirPin 51
#define stepPin 52
#define motorInterfaceType 1

// Create a new instance of the AccelStepper class:
AccelStepper stepper = AccelStepper(motorInterfaceType, stepPin, dirPin);
// BARRERA

const int numReadings = 50;
float readings[numReadings]; // the readings from the analog input
int readIndex = 0;          // the index of the current reading
float total = 0;           // the running total
float average = 0;        // the average
int sign=1;
int inputPin = A6;
float ldet=0.02;
float totali=2;

// Inicializar Fines de Carrera

// FUNCIONES IMPORTANTES
// Funcion de Operación del Proceso
int Operacion(int numero,int piso, float sensibility){ // function declaration
// Operación del Elevador
Serial<<"Operación\n";
for(int k=0; k<1000000; k++){
if(pos==0){
stepper.setSpeed(-300);
stepper.runSpeed();}
else if(pos>piso){
stepper.setSpeed(-300);
stepper.runSpeed();}
}
}

```

```

else if(pos< piso){
  stepper.setSpeed(300);
  stepper.runSpeed();}
else if(piso==pos){
  stepper.setSpeed(0);
  stepper.runSpeed();
  break;
}
t_act=millis();
if(t_act-t_pre>=1000){
  Serial<<"EVALUACIÓN"<<"\n";
  int Input1 = sonar1.ping_cm(tol);
  if(Input1!=0){
    pos=1;}
  int Input2 = sonar2.ping_cm(tol);
  if(Input2!=0){
    pos=2;}
  t_pre=t_act;
}
}
delay(200);
Serial<<"Detección"<<"\n";
// Operación del Conveyor
int var=HIGH;
float der=0;
while(var!=0){
  digitalWrite(numero, HIGH);
// subtract the last reading:
total = total - readings[readIndex];
// read from the sensor:
readings[readIndex] = analogRead(inputPin);
// add the reading to the total:
total = total + readings[readIndex];
// advance to the next position in the array:
readIndex = readIndex + 1;
// if we're at the end of the array...
if (readIndex >= numReadings) {
  // ...wrap around to the beginning:
  readIndex = 0;
}
// calculate the average:
average = total / numReadings - total/numReadings;
// send it to the computer as ASCII digits
Serial.println(average);
delay(1); // delay in between reads for stability
int contacto=digitalRead(A2);
if(contacto==1){
  var=LOW;
  Serial.println("El producto cayó");
  digitalWrite(numero,LOW);}
if(sign==0&&average>ldet){

```

```

    var=LOW;
    Serial.println("El producto cayó");
    digitalWrite(numero,LOW);}
if(average>ldet){
    sign=1;
    Serial.println(sign);
}
if(average<ldet){
    sign=0;
    Serial.println(sign);
}
}
}

int Retorno(){ // function declaration
    Serial<<"RETORNOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOO " <<"\n";
    for(int k=1; k<1000000; k++){
        stepper.setSpeed(300);
        stepper.runSpeed();
        int contacto=digitalRead(A0);
        Serial<<"Contacto" <<contacto<<"\n";
        if(contacto==1){
            stepper.setSpeed(0);
            stepper.runSpeed();
            pos=0;
            break;}
    }
}

// Ordenamiento de Órdenes
int cmp_asc(const void *c1, const void *c2){
    return *((int *)c1) - *((int *)c2);
}

//



---



void setup()
{
    Serial.begin(57600);
    irrecv.enableIRIn(); // Empezamos la recepción por IR
    pinMode(ENABLE,OUTPUT);
    pinMode(2,OUTPUT);
    digitalWrite(2,LOW);
    analogWrite(ENABLE,255);

    // Setup Celda de Carga
    scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN);
    scale.set_scale(-459.542);
    scale.tare();
}

```

```

// Setup de Motor
stepper.setMaxSpeed(1000);

// Inicializar Barrera
for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++) {
  readings[thisReading] = 0;
}

total=totali;
}

//

```

```

void loop()
{
if (irrecv.decode(&results))
{
  switch(results.value)
  {
    case 1083179136: Serial.println("1"); //Tecla 1
      if (a!=10&&b!=10){
        a=1;
        b=10;}
      if (a!=10){
        b=1;}
      if (a==10&&b==10){
        a=1;}
      break;
    case 1083181192: Serial.println("2"); //Tecla 2
      if (a!=10&&b!=10){
        a=2;
        b=10;}
      if (a!=10){
        b=2;}
      if (a==10&&b==10){
        a=2;}
      break;

    case 1083180164: Serial.println("3"); //Tecla 3
      if (a!=10&&b!=10){
        a=3;
        b=10;}
      if (a!=10){
        b=3;}
      if (a==10&&b==10){
        a=3;}
      break;
  }
}

```

```
case 1083182220: Serial.println("4"); //Tecla 4
    if (a!=10&&b!=10){
        a=4;
        b=10;}
    if (a!=10){
        b=4;}
    if (a==10&&b==10){
        a=4;}
    break;
```

```
case 1083179650: Serial.println("5"); //Tecla 5
    if (a!=10&&b!=10){
        a=5;
        b=10;}
    if (a!=10){
        b=5;}
    if (a==10&&b==10){
        a=5;}
    break;
```

```
case 1083181706: Serial.println("6"); //Tecla 6
    if (a!=10&&b!=10){
        a=6;
        b=10;}
    if (a!=10){
        b=6;}
    if (a==10&&b==10){
        a=6;}
    break;
```

```
case 1083180678: Serial.println("7"); //Tecla 7
    if (a!=10&&b!=10){
        a=7;
        b=10;}
    if (a!=10){
        b=7;}
    if (a==10&&b==10){
        a=7;}
    break;
```

```
case 1083182734: Serial.println("8"); //Tecla 8
    if (a!=10&&b!=10){
        a=8;
        b=10;}
    if (a!=10){
        b=8;}
    if (a==10&&b==10){
        a=8;}
    break;
```

```

        break;

    case 1083179393: Serial.println("9"); //Tecla 9
        if (a!=10&&b!=10){
            a=9;
            b=10;}
        if (a!=10&&b==10){
            b=9;}
        if (a==10&&b==10){
            a=9;}
        break;

    case 1083181449: Serial.println("0"); //Tecla 0
        if (a!=10&&b!=10){
            a=0;
            b=10;}
        if (a!=10&&b==10){
            b=0;}
        if (a==10&&b==10){
            a=0;}
        break;

    case 1083179056: Serial.println("Select"); //Tecla Select
        selec=1;
        break;

    case 1083705006: Serial.println("OK"); //Tecla Ok
        starter=1;
        break;

    case 1083179682: Serial.println("Clear");
        a=10;
        b=10;
        selec=0;
        break;

    case 1083179008: Serial.println("Cancel");
        for(int r=0;r<8;r++){
            op[r]=0;
        }

    }
    irrecv.resume();
}

// Asignar la entrada del control remoto como una variable
if(a!=10&&b!=10&&selec==1){
String ab=String(a)+String(b);
char buf[2];
ab.toCharArray(buf, ab.length() + 1);

```

```

int x = atoi(buf);
if (x<=48){
op[i]=x;
i++;}
else {
    Serial.println("No existe el compartimento");}
a=10;
b=10;
selec=0;
Serial.println(x);
}

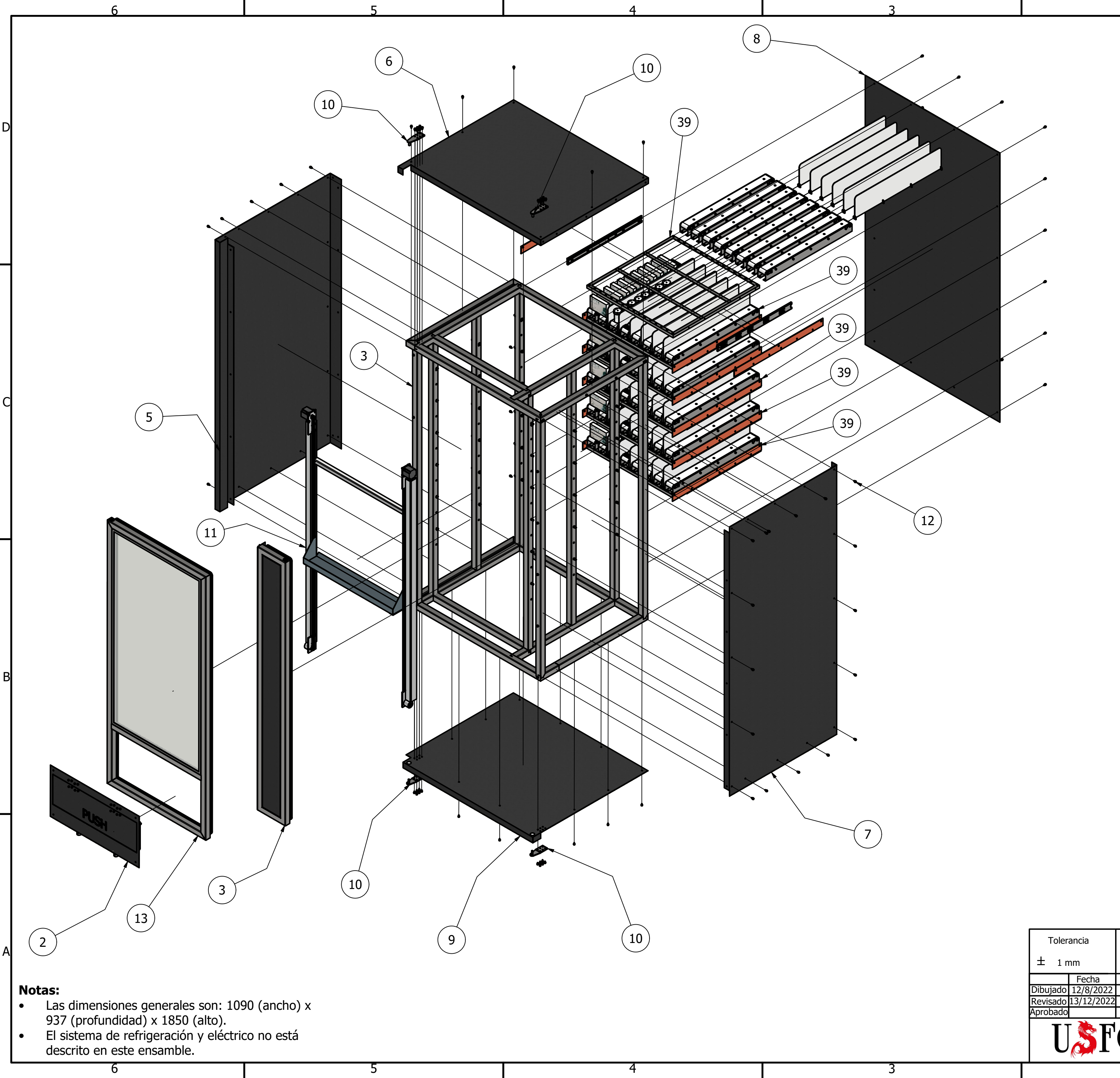
if(starter==1){
// Ordenar op de menor a mayor
qsort(op, 8, sizeof(int), cmp_asc);
    Serial.print("LOS NÚMEROS ORDENADOS SON:");
    for (int x = 0; x < sizeof(op) / sizeof(op[0]); x++){
        Serial<<op[x]<<"\n";
    }

    Serial.print("Ordenados");
// Determinar el piso de cada
for (int j = 0; j < sizeof(op) / sizeof(op[0]); j++) {
    if (op[j]!=0){
        pis[j]=ceil(op[j]/8.0); //Conveyor/Numero Conveyors por piso
        Serial<<"\nPiso de Conveyor "<<op[j]<<" es el "<<pis[j]<<"\n";
        Operacion(op[j],pis[j],sensibility);
    }
}
Retorno();
starter=0;
for (int x = 0; x < sizeof(op) / sizeof(op[0]); x++){
    op[x] = 0;
}
i=0;
}
}
}

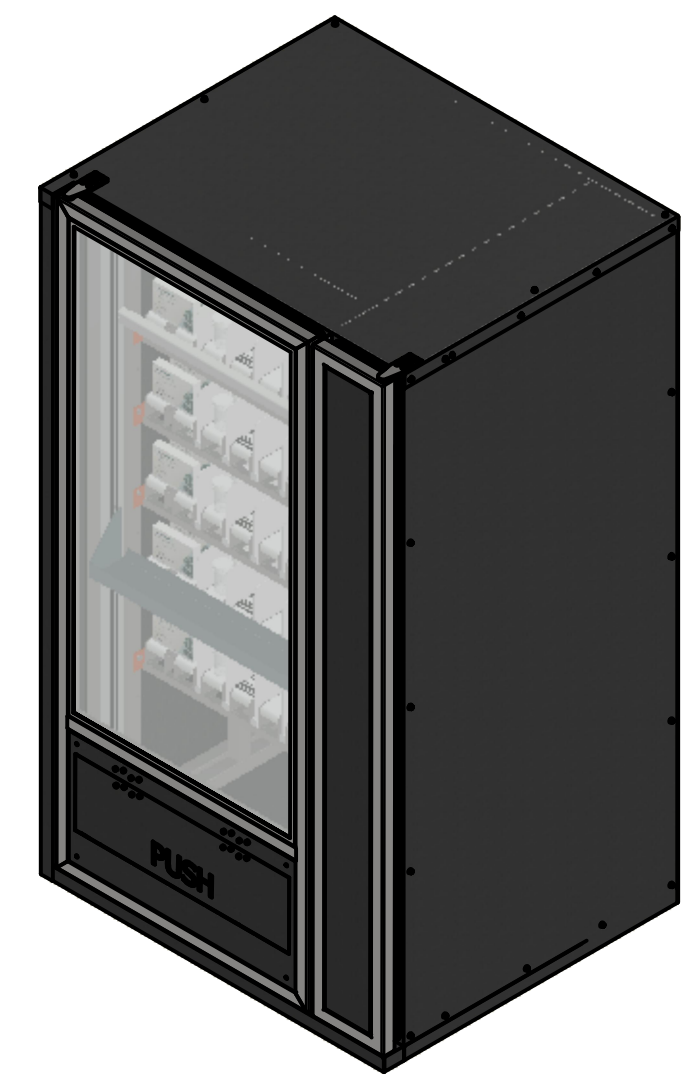
```

ANEXO H: PLANOS DE LA FARMABOT

En el presente Anexo se encuentran los planos diseñados para la Farmabot. Se puede encontrar el plano de ensamble general, los planos de los subsistemas y piezas que componen la Farmabot. Cada uno de los planos cuentan con las tolerancias dimensionales, peso, escala, código (de la pieza en el plano), proceso, tratamiento superficial y calidad de la superficie. Los planos comienzan desde la siguiente página para evitar reducir el tamaño del primer plano y, de esa forma, reducir la visualización de este.



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Estructura Principal	E01-01
2	1	Compuerta	B00-00
3	1	Puerta Secundaria	E04
5	1	Carcasa Izquierda	E02-02
6	1	Carcasa Superior	E02-01
7	1	Carcasa Derecha	E02-04
8	1	Carcasa Posterior	E02-03
9	1	Carcasa Inferior	E02-05
10	4	Pivote Puertas Batientes	E05-01
11	1	Elevador	EI00-000
12	78	IFI 502 - M5x0.8 x 10, HFHTSTFM	Stock
13	1	Puerta Principal	E03
39	6	Cajón	J00-00

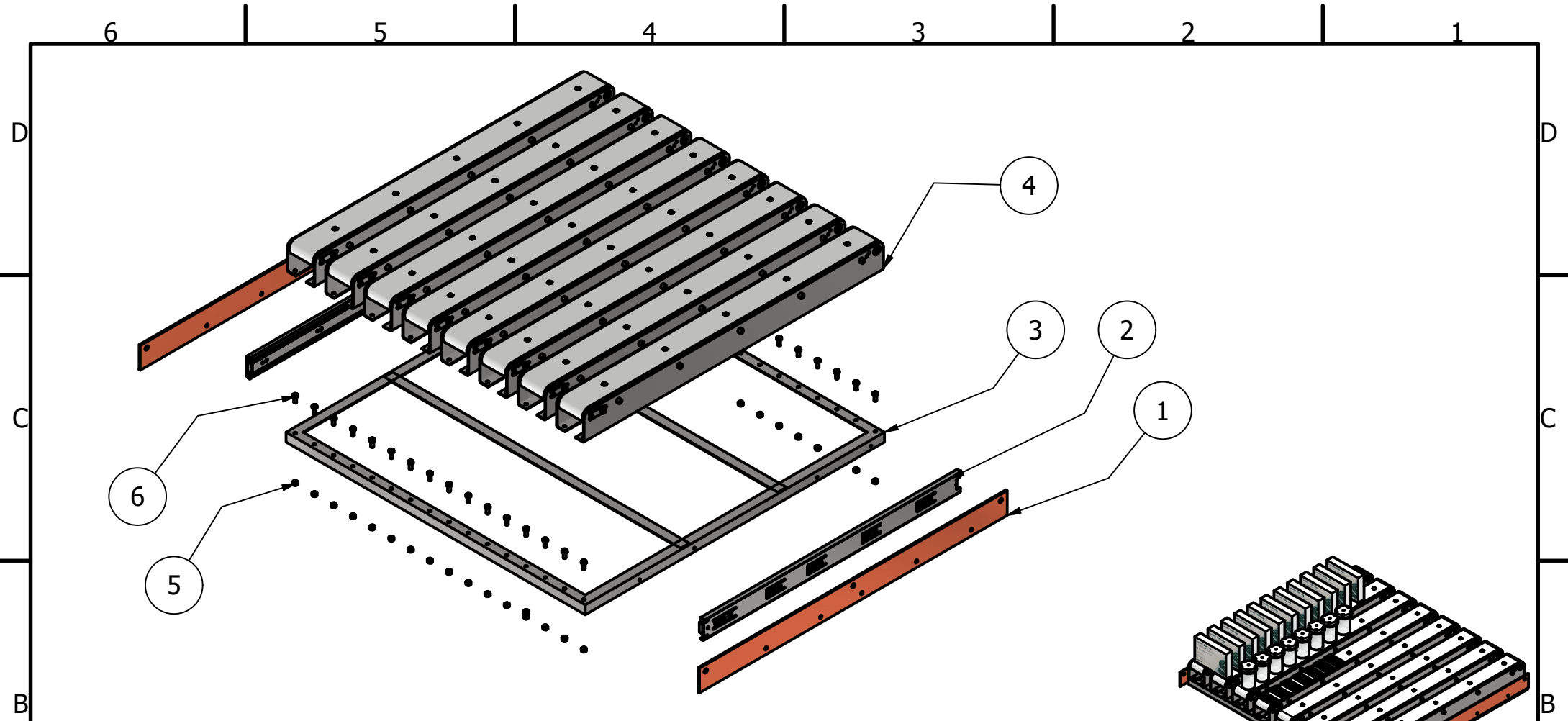


Notas:

- Las dimensiones generales son: 1090 (ancho) x 937 (profundidad) x 1850 (alto).
- El sistema de refrigeración y eléctrico no está descrito en este ensamble.

Tolerancia	Peso			Escala
± 1 mm	393 kg			
Dibujado	Fecha	Nombre	Ensamble Farmabot	
Revisado	12/8/2022	L. Cornejo		
Aprobado	13/12/2022	A. Valarezo		
Código		Trat. Superficial	Hoja	
FG		N/A	1/55	

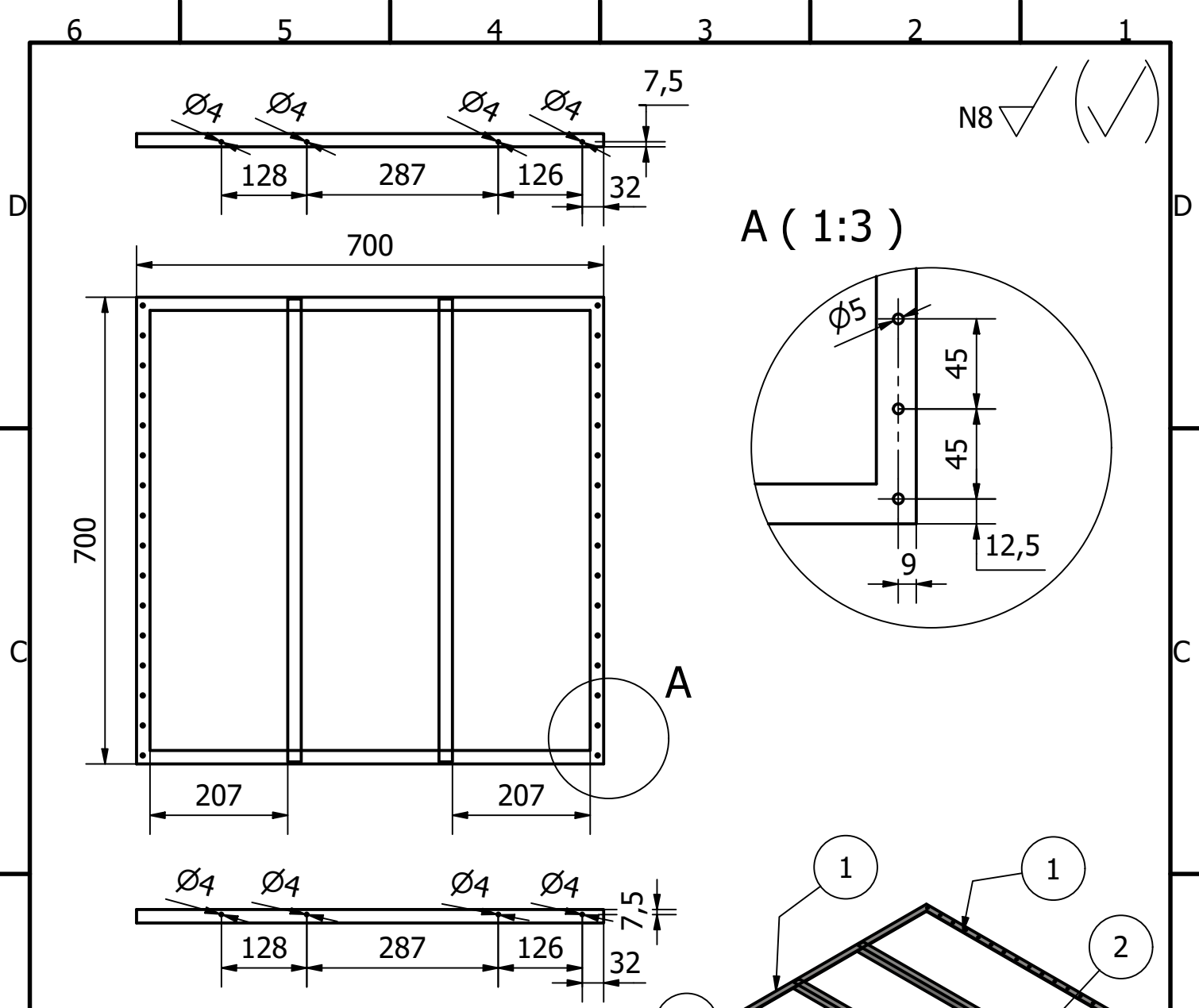




PARTS LIST

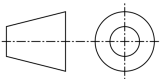

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2	Platina Cajón	
2	2	Corredera	TNN 24"
3	1	Perfiles Cajón	
4	8	Conveyor	
5	34	AS 1112 - M5 Type 5	Stock
6	34	AS 1110 - M5 x 12	Stock

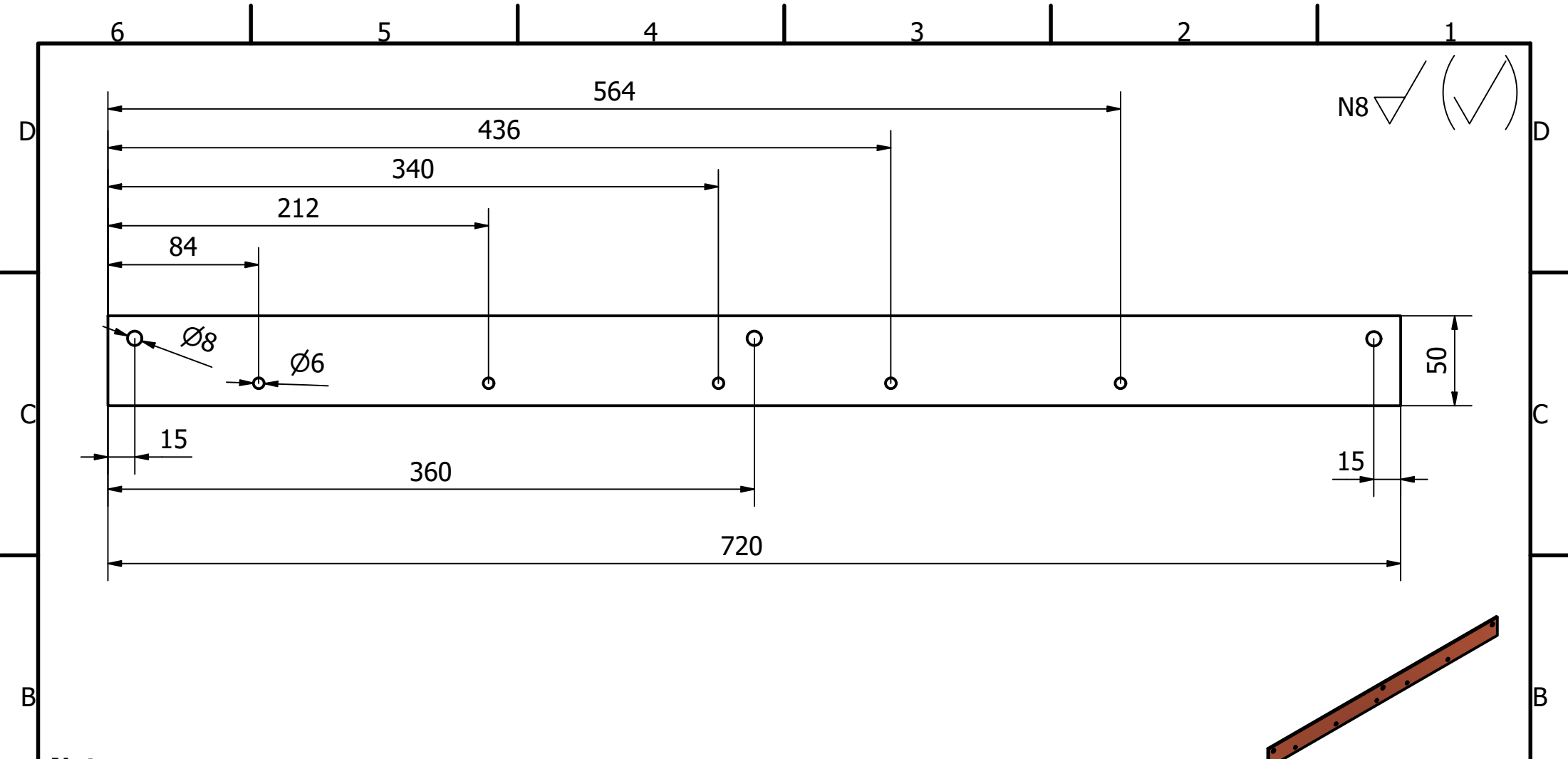
Tolerancia		Peso	
± 0.5		32.667 kg	
Fecha		Nombre	Ensamble Cajón
Dibujado	9/27/2022	S. Insuasti	
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo	
Aprobado			Escala 1 : 16
		Código	Hoja
		J00-00	2/46
		Trat. Superficial	
		N/A	



Notas:

- Los agujeros no acotados el plano son pasantes y Ø5.
- La distancia entre agujeros no acotados es igual a la especificada en el detalle A.
- Los perfiles utilizados son ISO 657-1 - L20x20x3.
- Proceso: tronzado, taladrado y soldadura para unir las piezas.

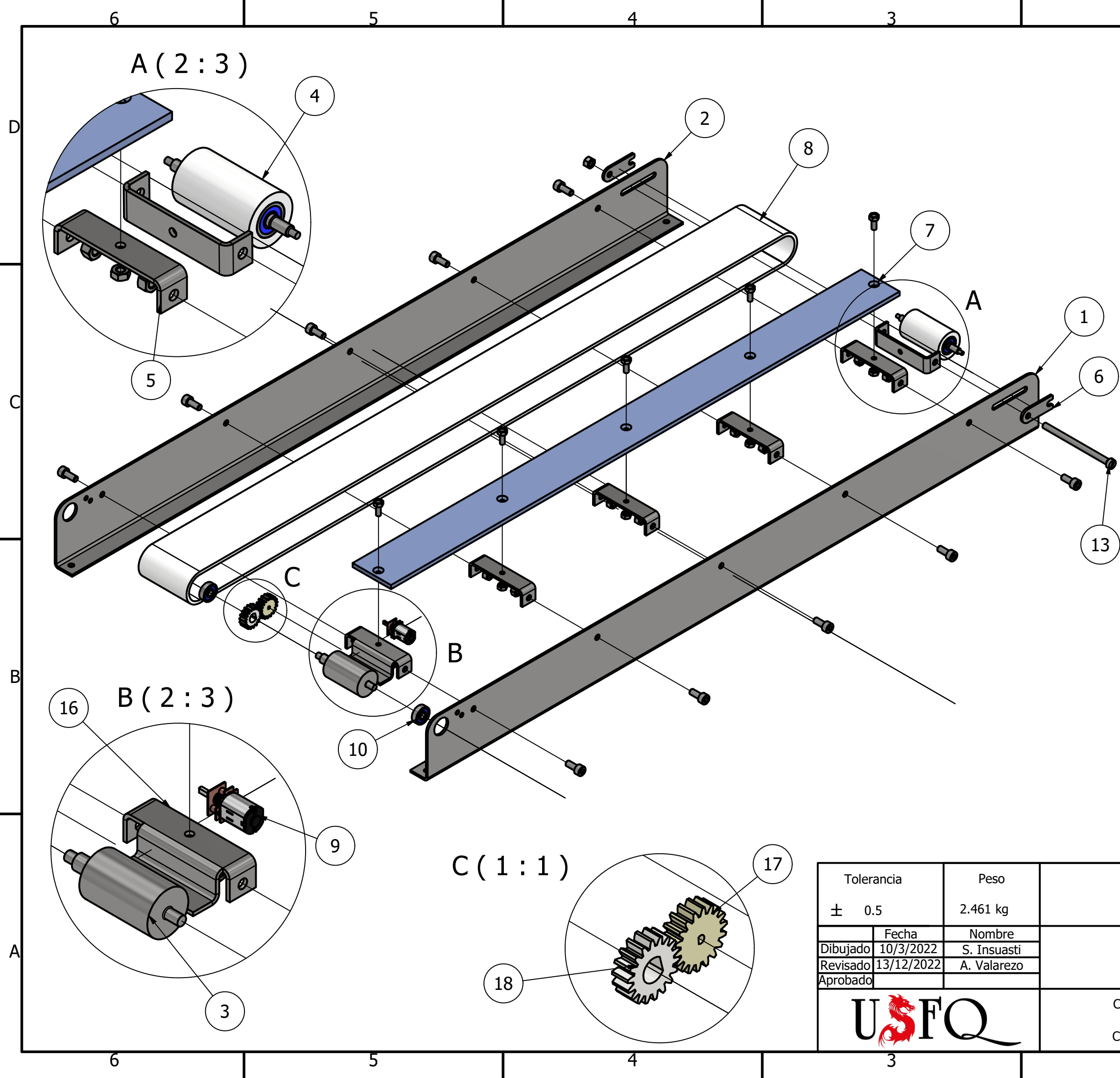
Tolerancia	Peso	Perfil L 20x20x3 A36	
± 1	3.620 kg		
Dibujado	Fecha	Perfiles Cajón	Escala 1 : 15
Revisado	Nombre		
Aprobado			
		Código	Trat. Superficial
		J01-01	Pintura Electroestática
			Hoja 3/46



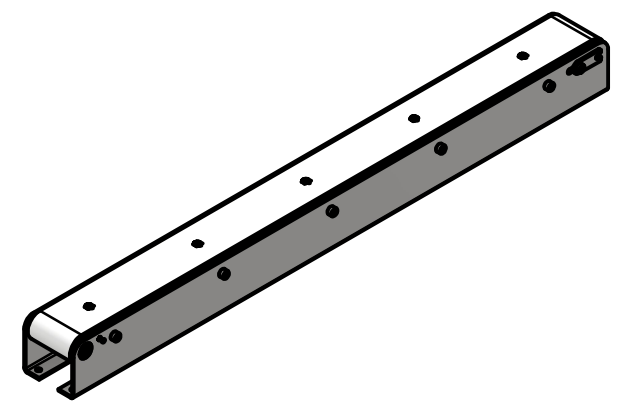
Notas:

- La plancha de material tiene un espesor de 3 mm
- Los agujeros superiores son del mismo diámetro Ø8.
- Los agujeros inferiores son del mismo diámetro Ø6.
- Proceso: tronzado y taladrado.

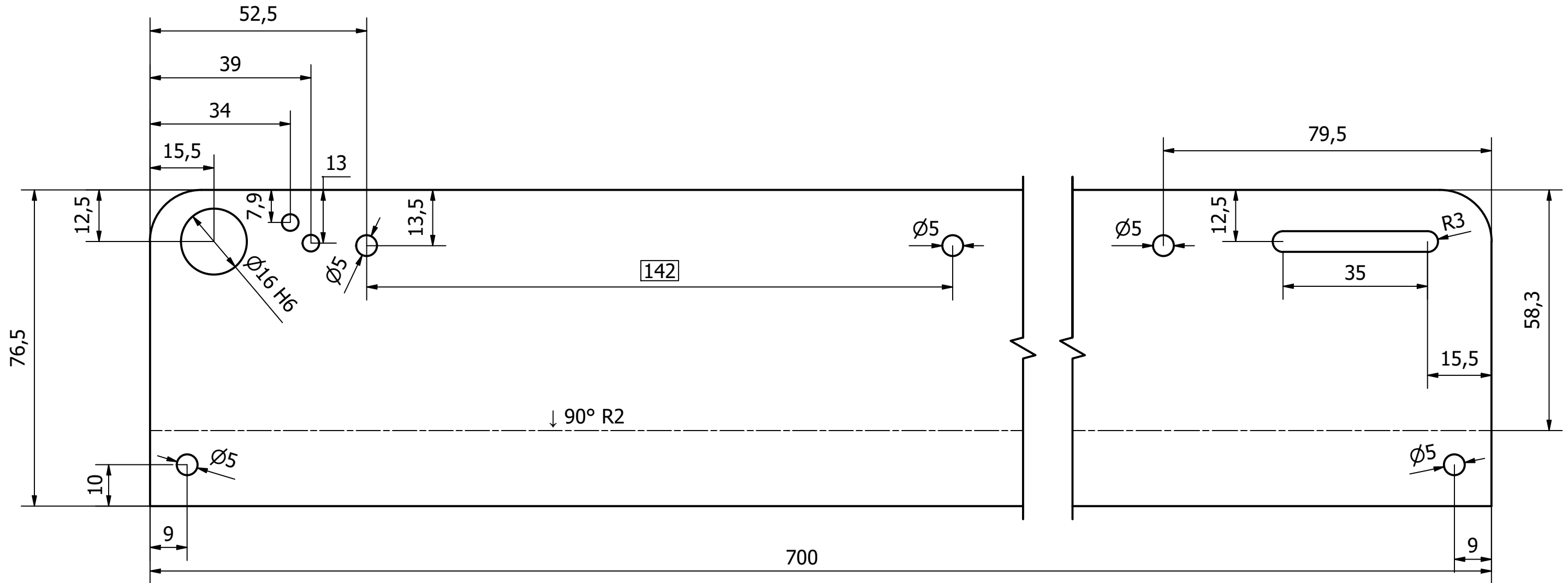
Tolerancia		Peso	Platina 3mm A36	
± 0.5		0.841 kg		
	Fecha	Nombre	Platina Cajón	Escala
Dibujado	9/27/2022	S. Insuasti		1 : 3
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo		
Aprobado				
			Código	Hoja
			J02-01	4/46
			Trat. Superficial	
			N/A	



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	CÓDIGO
1	1	Lateral Conveyor 1	C01-01
2	1	Lateral Conveyor 2	C02-01
3	1	Eje Motriz	C03-01
4	1	Ensamble Eje Conducido	C04-00
5	5	Unión entre Laterales Conveyor	C05-01
6	2	Pieza de Tensión	C07-01
7	1	Superficie de Acrílico	C09-01
8	1	Banda Lisa (1360x55x0.8)	
9	1	Micromotor 30 RPM - 12V	
10	2	Rodamiento 625-2rs	
11	10	AS 1420 - 1973 - M5 x 12	
12	5	AS 1427 - M4 x 10	
13	1	AS 1427 - M5 x 75	
14	5	AS 1112 - M4 Type 5	
15	11	AS 1112 - M5 Type 5	
16	1	Soporte Piso Motor	C06-01
17	1	Engranaje Transmisión 1	C03-001
18	1	Engranaje Transmisión 2	C03-002

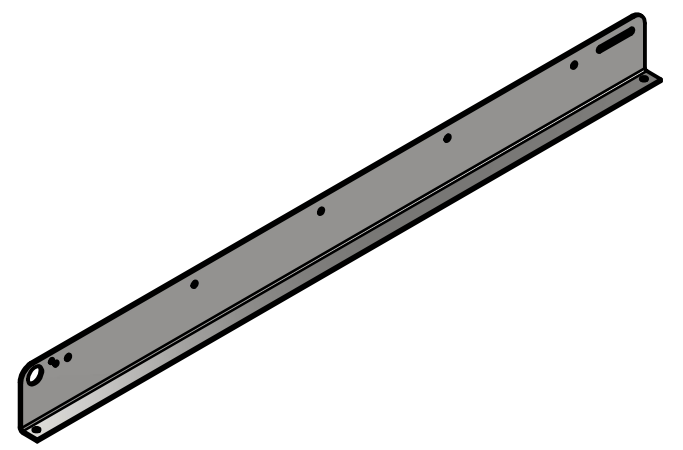
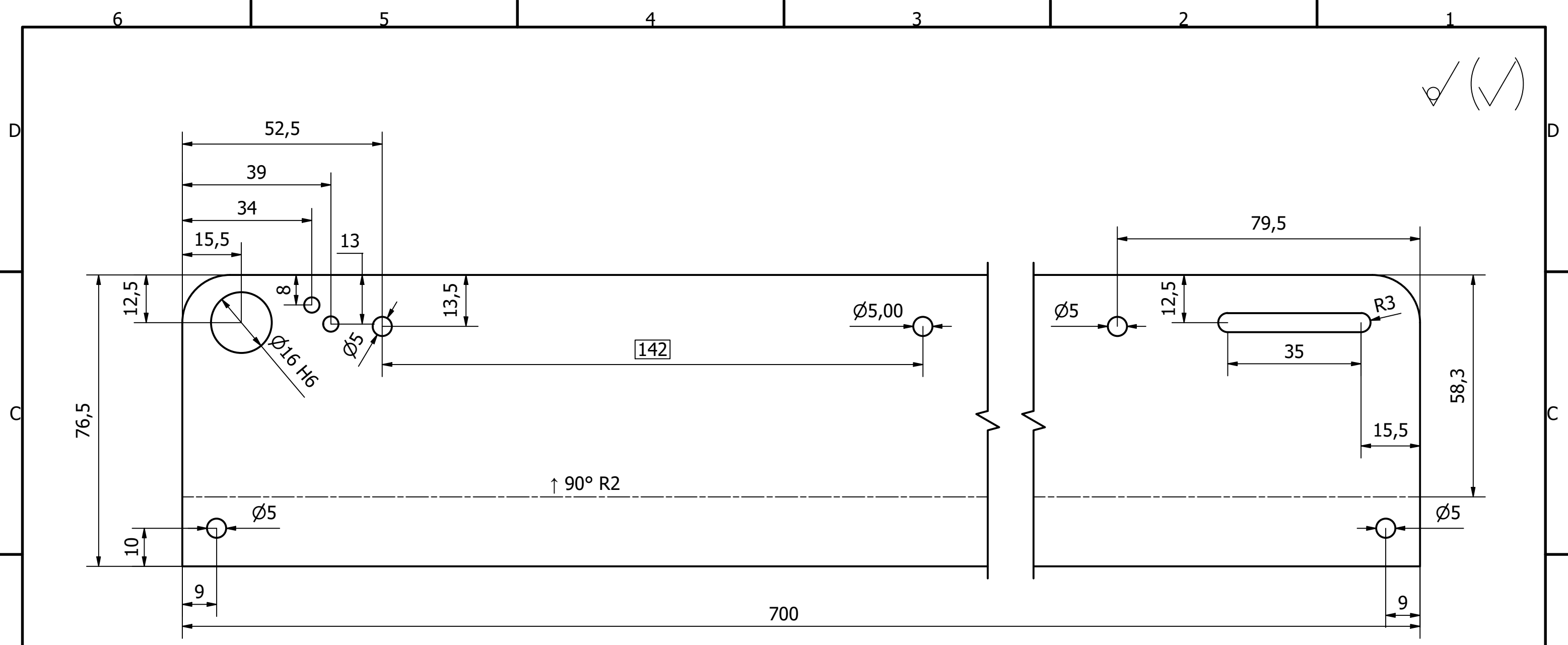


Tolerancia	Peso			
± 0.5	2.461 kg			
Dibujado	Fecha	Ensamble General Conveyor		
Revisado	Nombre			
Aprobado	Nombre			
		Código	Trat. Superficial	Escala
		C00-00	N/A	1 : 3
				Hoja
				5/46

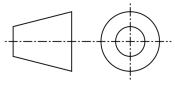



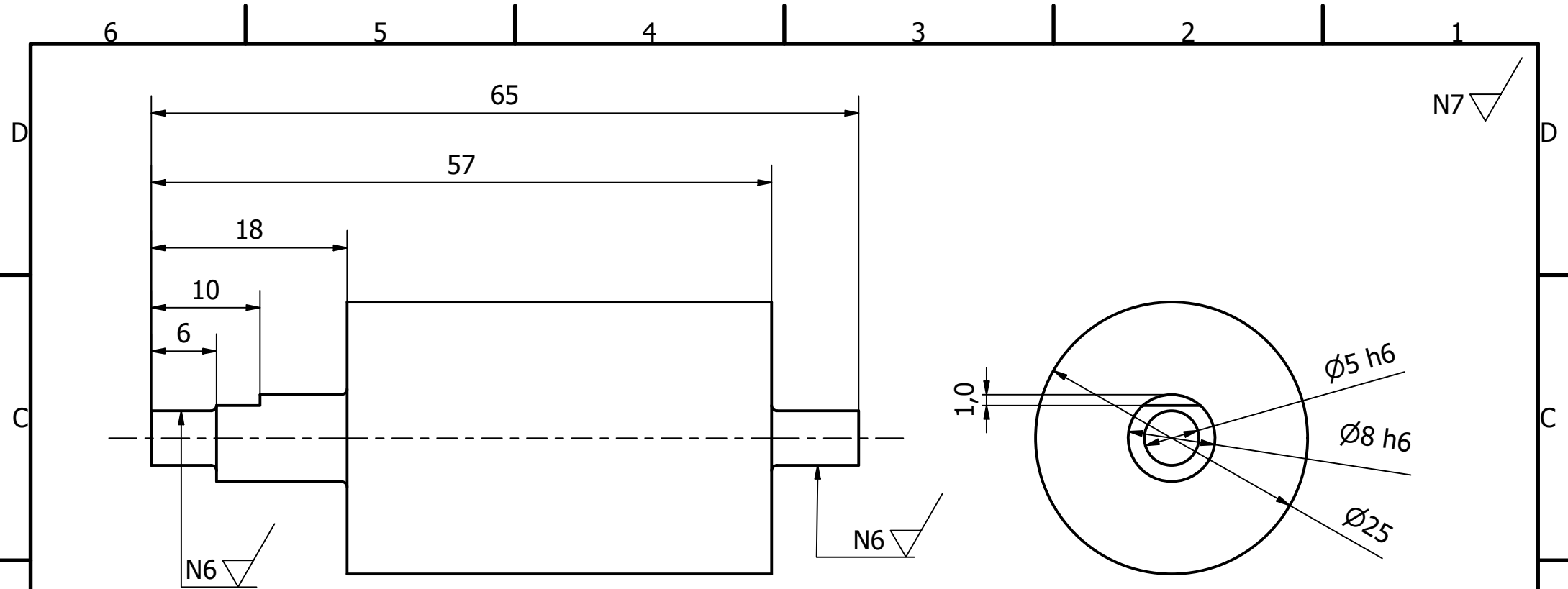
- Notas:**
- Los agujeros sin acotar son $\varnothing 3$ mm.
 - La distancia de los agujeros encerrada en un rectángulo se repite 4 veces.
 - La plancha de material tiene un espesor de 2 mm.
 - Proceso: corte láser y doblado 90° con plegadora.

Tolerancia	Peso	Plancha de 2mm A36	
± 0.1	0.833 kg		
Dibujado	Fecha	Lateral Conveyor 1	Escala
Revisado	Nombre		
Aprobado			
		Código	Trat. Superficial
		C02-01	Pintura Electroestática
			Hoja
			6/46



- Notas:**
- Los agujeros sin acotar son $\varnothing 3$ mm.
 - La distancia de los agujeros encerrada en un rectángulo se repite 4 veces.
 - La plancha de material tiene un espesor de 2 mm.
 - Proceso: corte láser y doblado 90° con plegadora.

Tolerancia	Peso	Plancha de 2mm A36	
± 0.1	0.833 kg		
Dibujado	Fecha	Lateral Conveyor 2	Escala
Revisado	Nombre		
Aprobado			
		Código	Trat. Superficial
		C01-01	Pintura Electroestática
			Hoja
			7/46



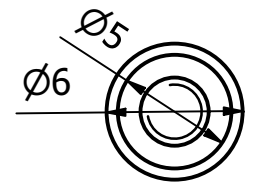
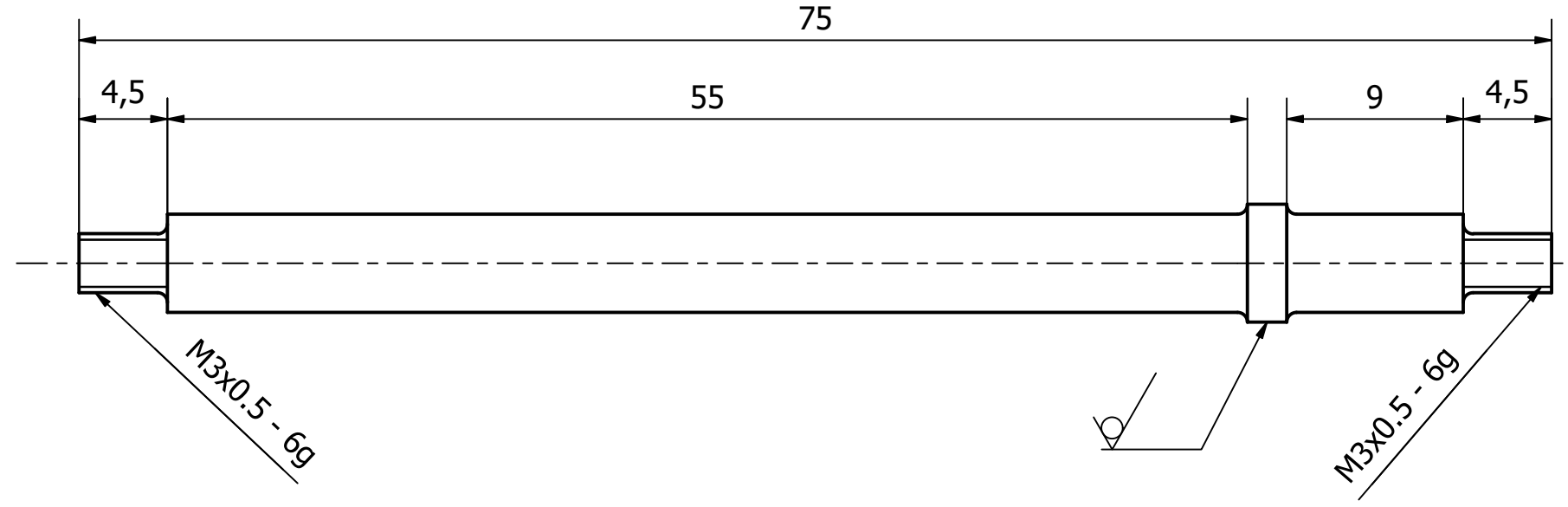
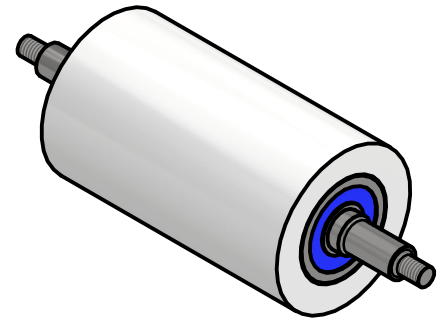
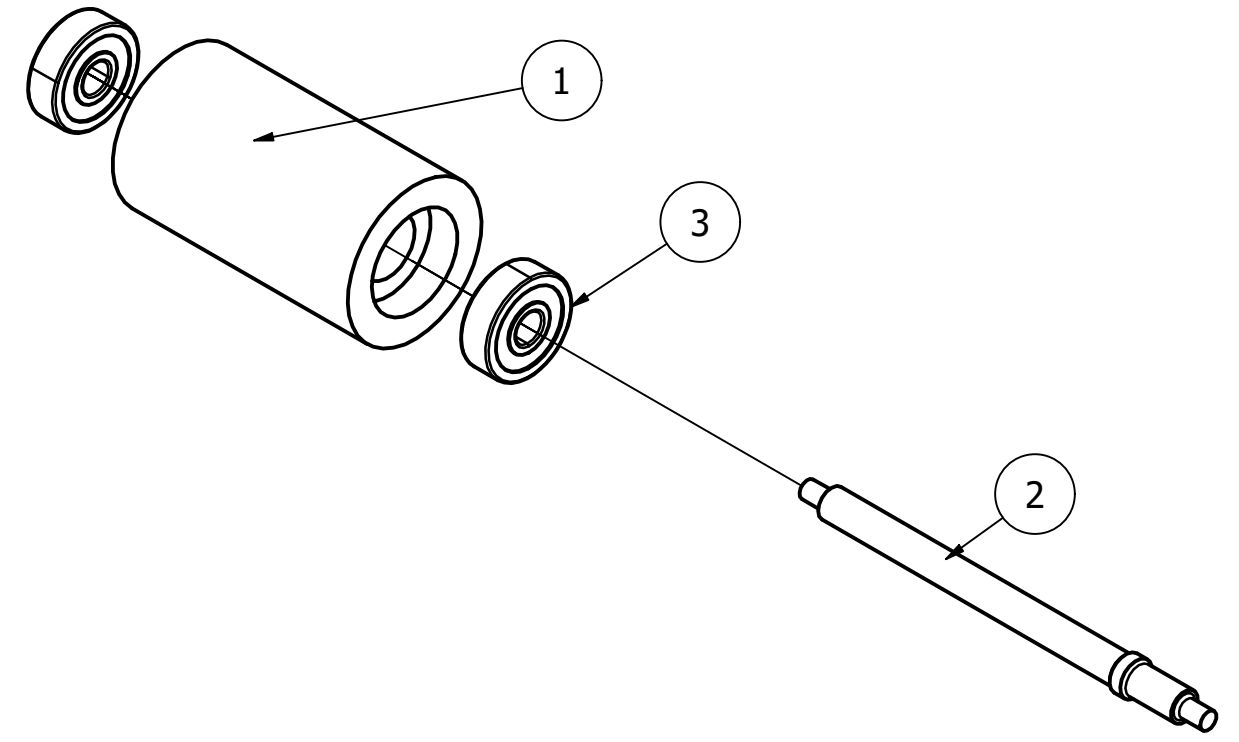
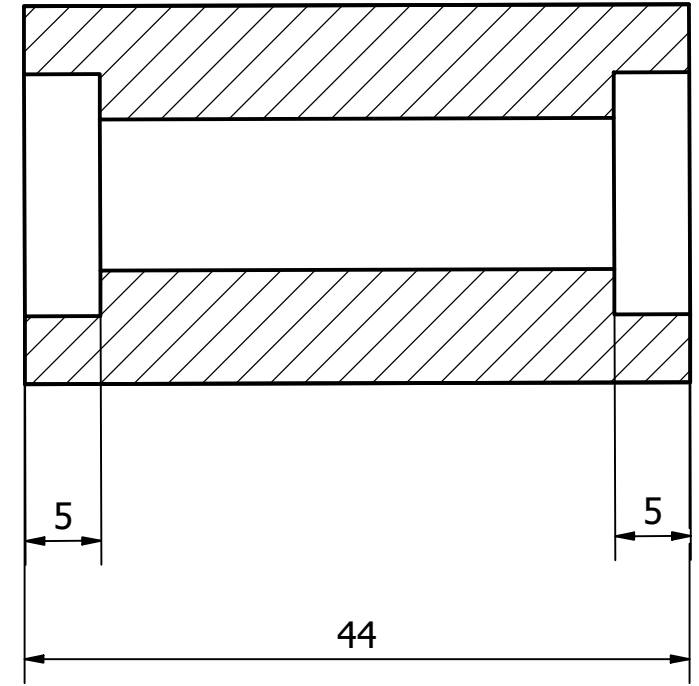
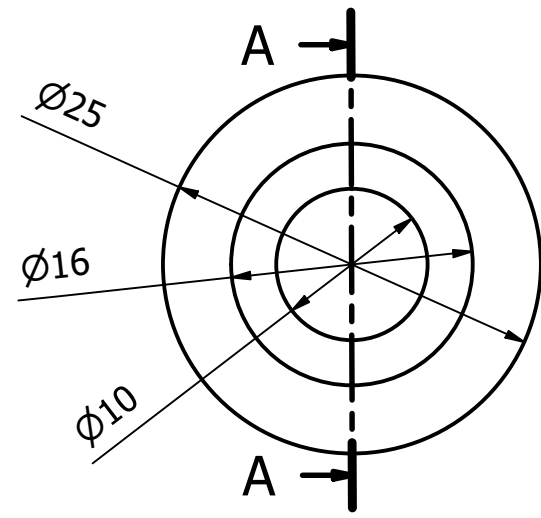
Tolerancia		Peso	Varilla de 1" A36	
± 0.02		0.157 kg		
	Fecha	Nombre	Eje Motriz Conveyor	Escala
Dibujado	10/3/2022	S. Insuasti		1:1.5
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo		
Aprobado				
		Código	Trat. Superficial	Hoja
		C03-01	N/A	8/46

Notas:

- Los radios de acuerdo son de 0.5 mm.
- Proceso: Torneado de precisión y fresado.

N7

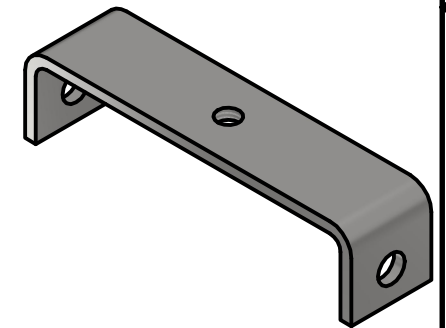
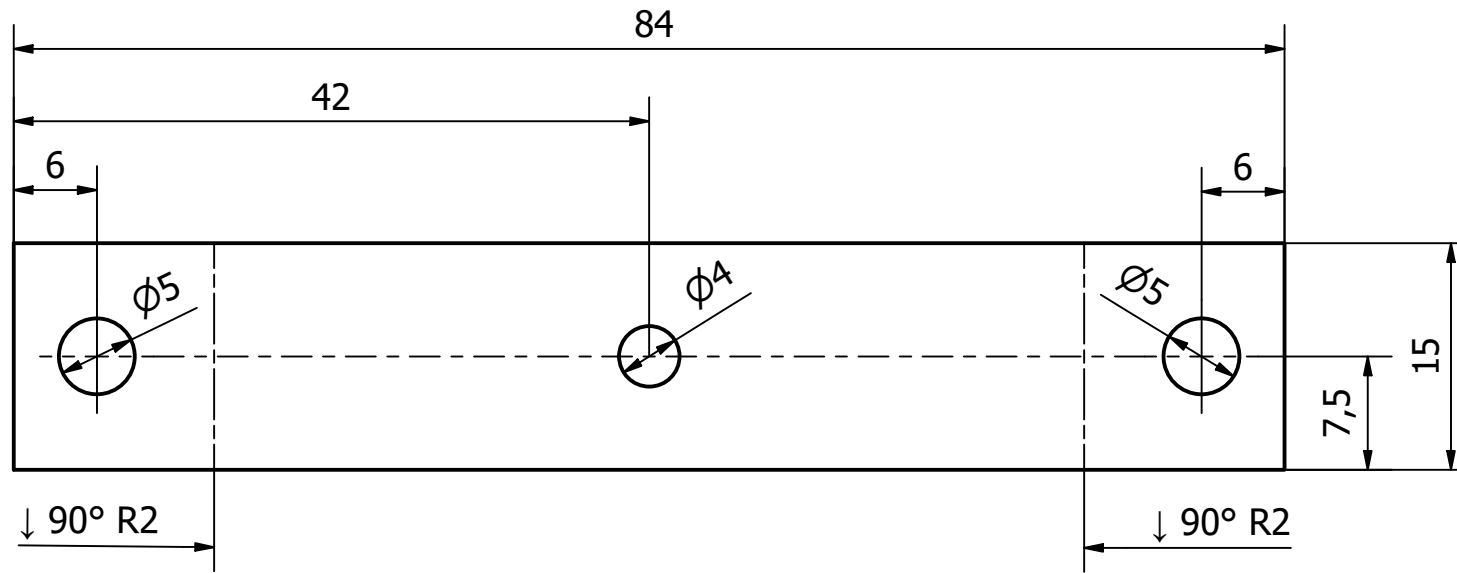
A-A (2:1)



PARTS LIST			
N#	Cantidad	Pieza	Material
1	1	Rodillo Conducido	Duralón
2	1	Eje Conducido	Varilla 6mm A36
3	2	Rodamiento 625-2RS	Stock

Tolerancia	Peso			
± 0.02	0.045 kg			
	Fecha	Nombre		Eje Conducido
Dibujado	10/12/2022	S. Insuasti		
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo		
Aprobado				Escala
		Código	Trat. Superficial	Hoja
		C04-00	N/A	9/46

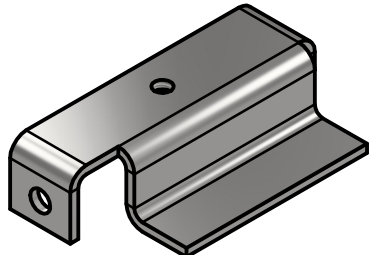
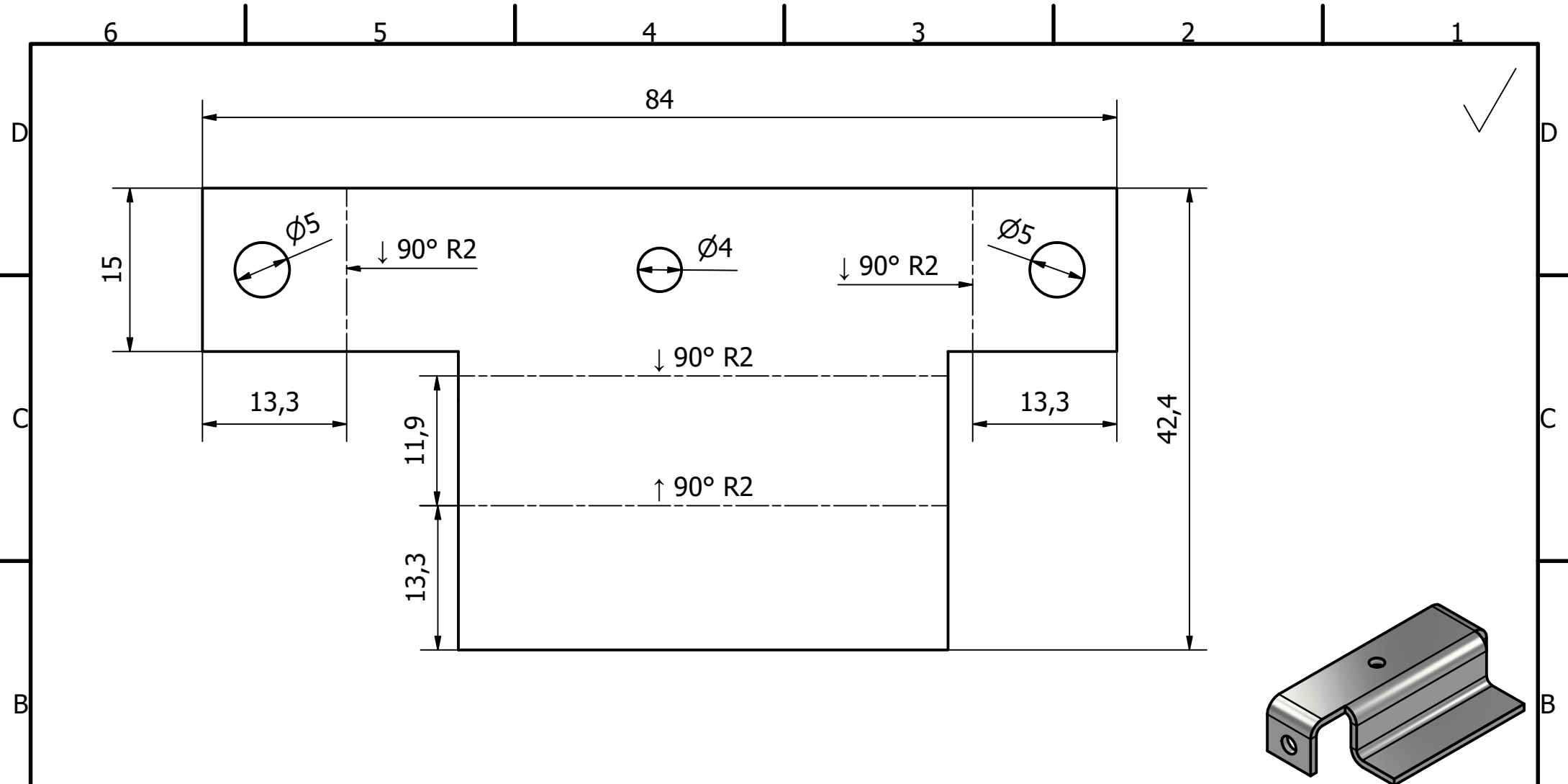
- Notas:**
- Los radios de acuerdo deben ser de mínimo 0.5 mm.
 - Proceso: Torneado de precisión y fresado.



Tolerancia		Peso	Plancha 2mm A36		
± 0.2		0.019 kg			
	Fecha	Nombre	Unión entre Laterales Conveyor		Escala
Dibujado	10/3/2022	S. Insuasti			1:1
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo			
Aprobado					
			Código	Trat. Superficial	Hoja
			C05-01	N/A	10/46

Notas:

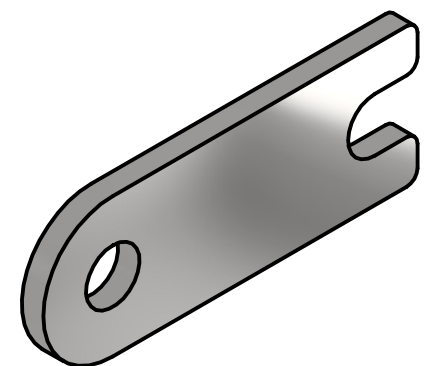
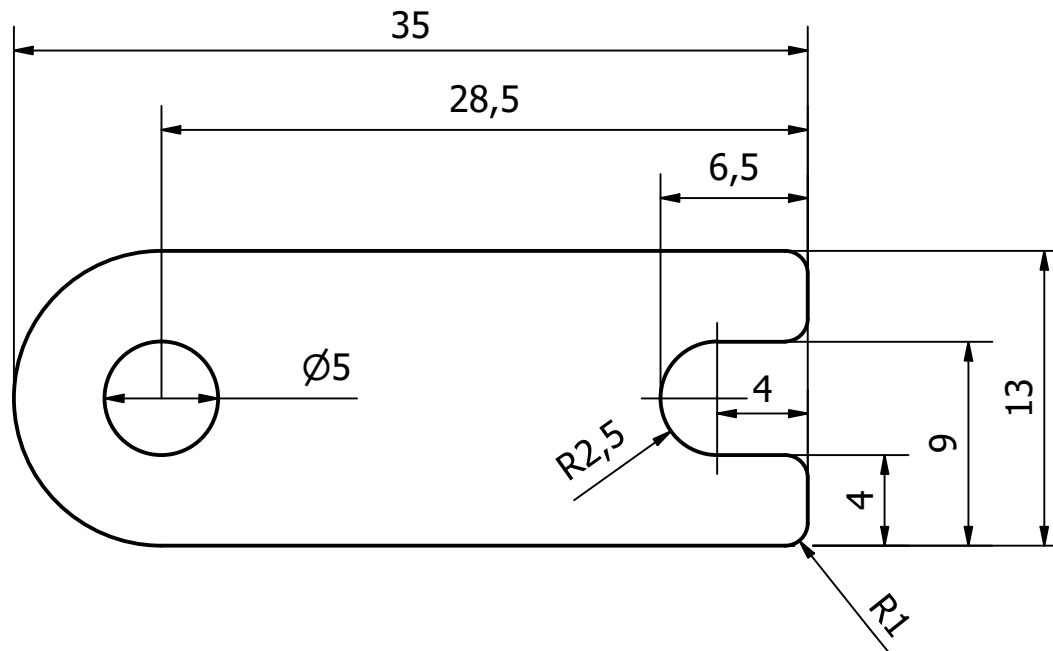
- La plancha de material tiene un espesor de 2 mm.
- Proceso: Corte láser y plegado 90°.



Tolerancia		Peso	Plancha 2mm A36	
± 0.2		0.039 kg		
Fecha		Nombre	Soporte Micromotor	Escala
Dibujado	10/3/2022	S. Insuasti		2:1
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo		
Aprobado			Código	Trat. Superficial
			C06-01	N/A
				Hoja
				11/46

Nota:

- Proceso: Corte láser y plegado 90° con plegadora.



Tolerancia		Peso	Plancha 2mm A36		
± 0.2		0.006 kg	Pieza de Tensión		
Dibujado	Fecha	Nombre	Pieza de Tensión		Escala
Revisado	10/4/2022	S. Insuasti			2:1
Aprobado	13/12/2022	A. Valarezo			
			Código	Trat. Superficial	Hoja
			C07-01	N/A	12/46

- Notas:**
- La plancha de material tiene un espesor de 2 mm.
 - Proceso: Corte láser.

6 5 4 3 2 1

D

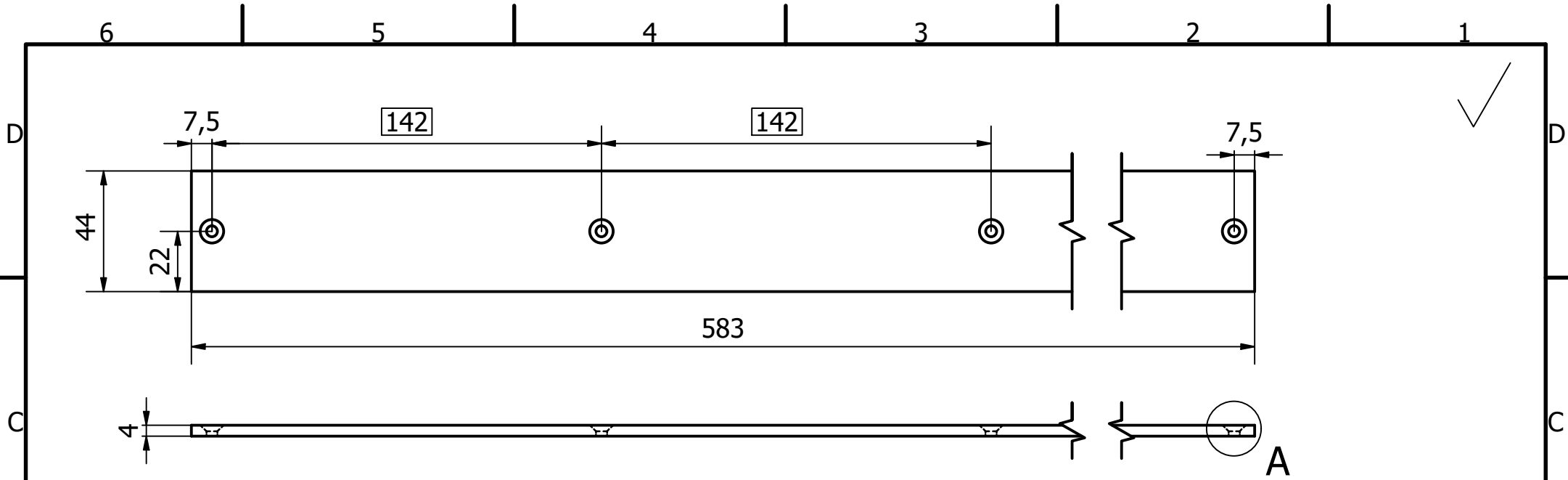
C

B

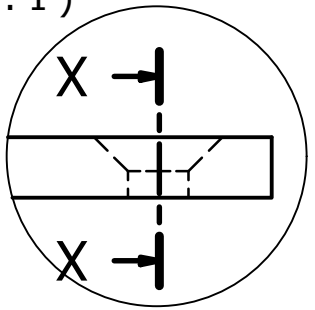
A

6 5 4 3 2 1

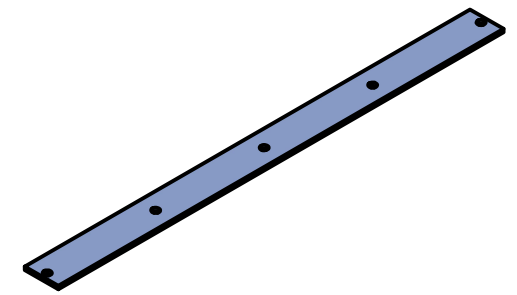
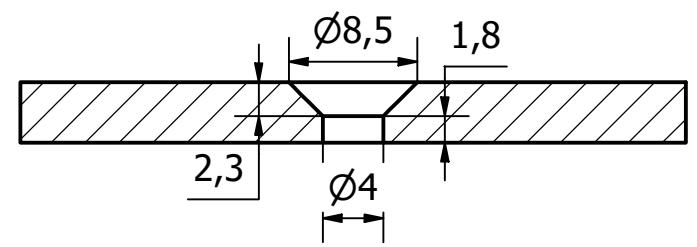
A



A (2 : 1)



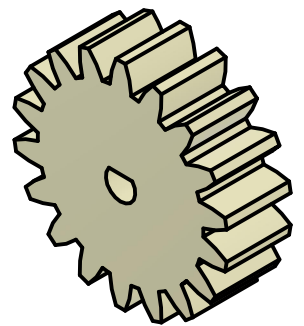
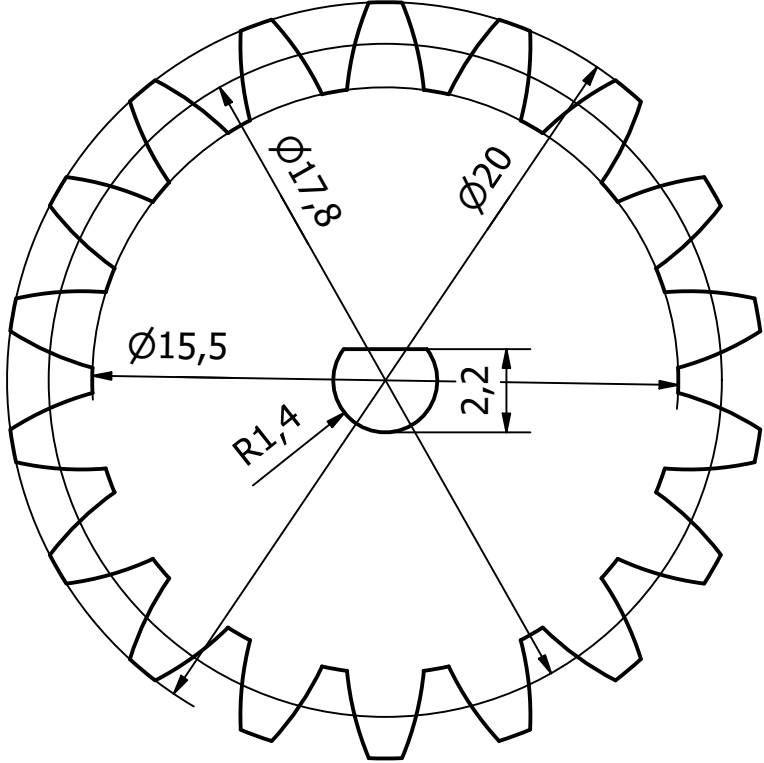
X-X (2 : 1)



Notas:

- Los agujeros son avellanados de 2.5mm de profundidad.
- La distancia de los agujeros encerrada en un rectángulo se repite 4 veces.
- Proceso: Corte CNC y taladrado.

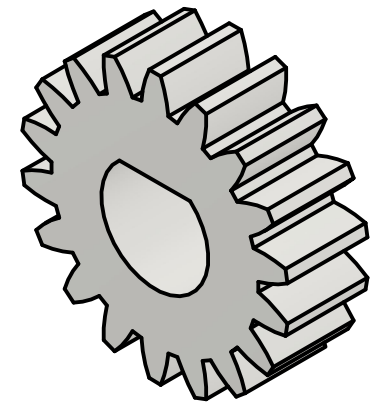
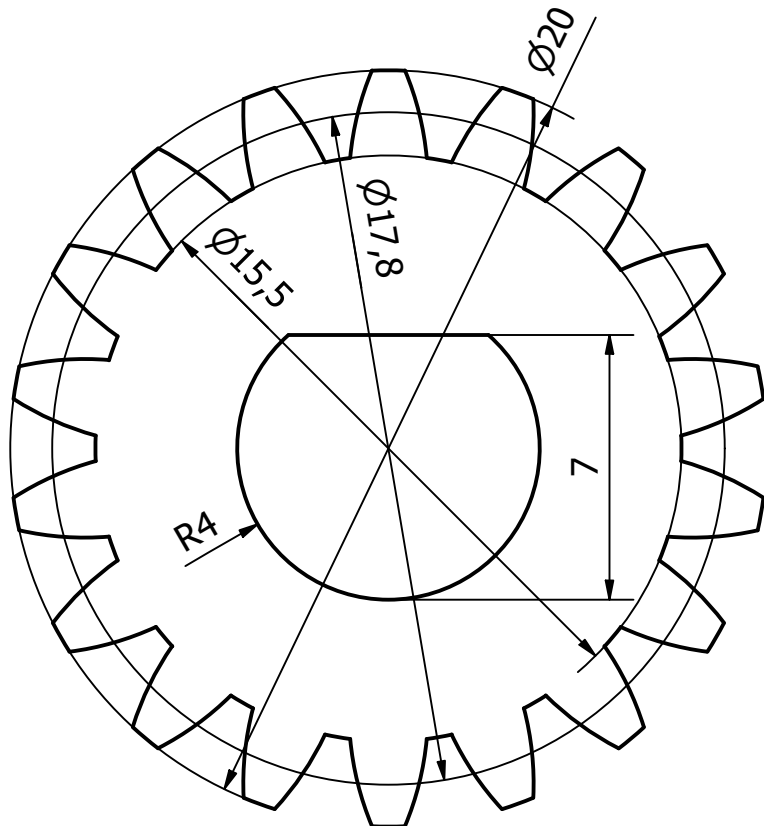
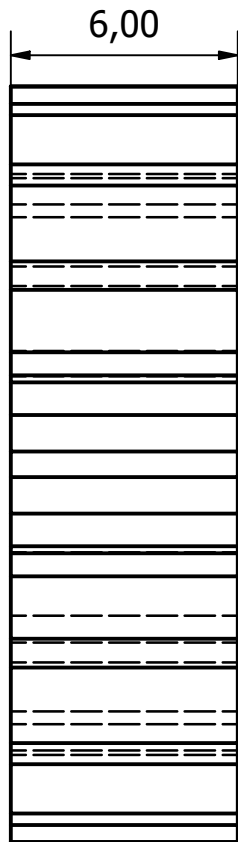
Tolerancia		Peso	Acrílico de 4 mm		
± 0.5		0.141 kg			
Dibujado	Fecha	Nombre	Superficie de Acrílico		Escala
Revisado	10/4/2022	S. Insuasti			1 : 2
Aprobado	13/12/2022	A. Valarezo			
		Código	Trat. Superficial	Hoja	
		C09-01	N/A	13/46	



N7

- Notas:**
- El engranaje es de 18 dientes y módulo 1.
 - Proceso: Fresado y torneado de precisión.

Tolerancia ± 0.02		Peso 0.001 kg	Acero A36		
Dibujado	Fecha 11/5/2022	Nombre S. Insuasti	Engranaje Transmisión 1		Escala 5: 1
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo			Hoja 14/46
Aprobado					
			Código C03-001	Trat. Superficial N/A	

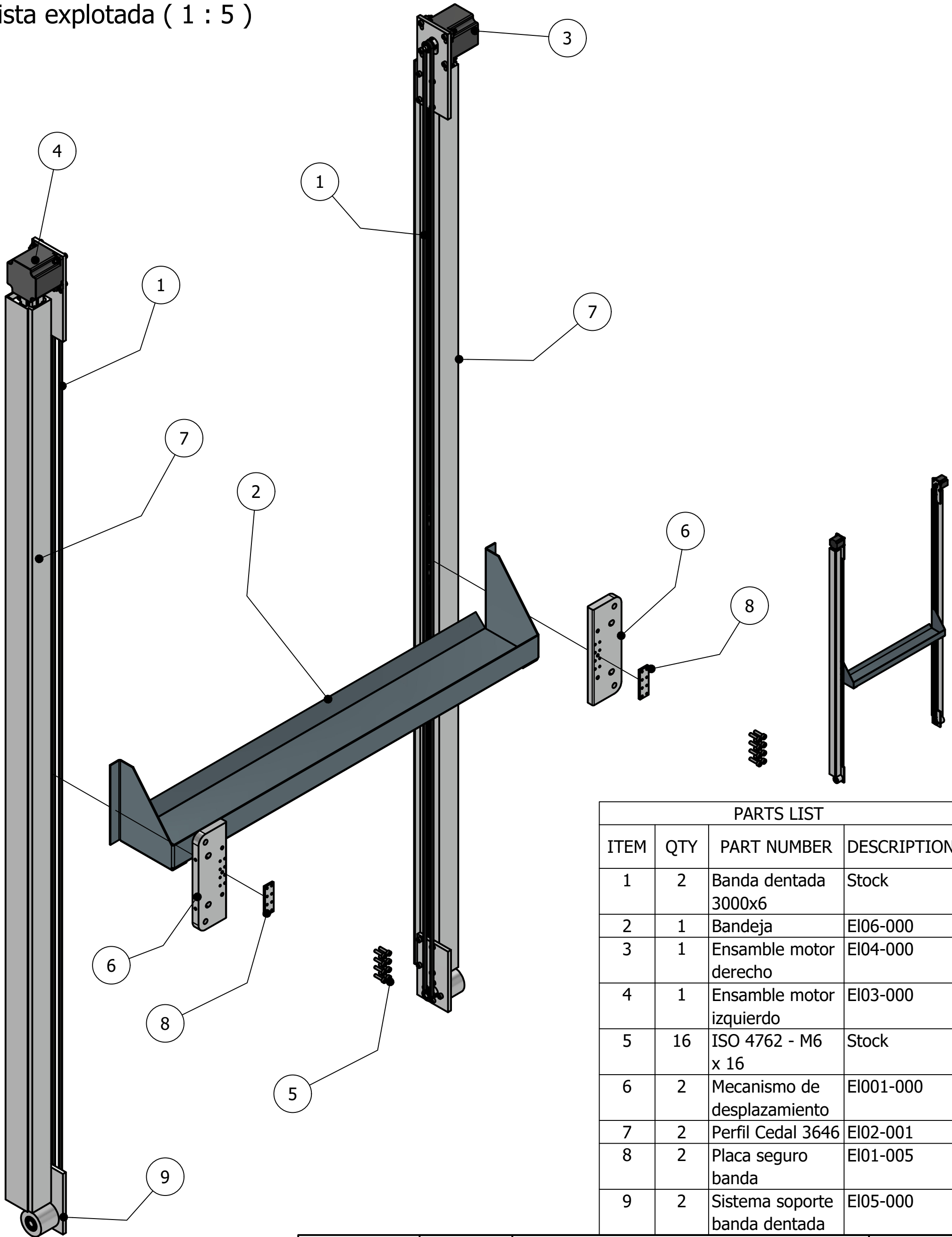


N7

- Notas:**
- El engranaje es de 18 dientes y módulo 1.
 - Proceso: Fresado y torneado de precisión.

Tolerancia ± 0.02		Peso 0.010 kg	Varilla 1" A36		
Dibujado	Fecha	Nombre	Engranaje Transmisión 2		Escala
Revisado	11/5/2022	S. Insuasti			5 : 1
Aprobado	13/12/2022	A. Valarezo			
			Código C03-002	Trat. Superficial N/A	Hoja 15/46

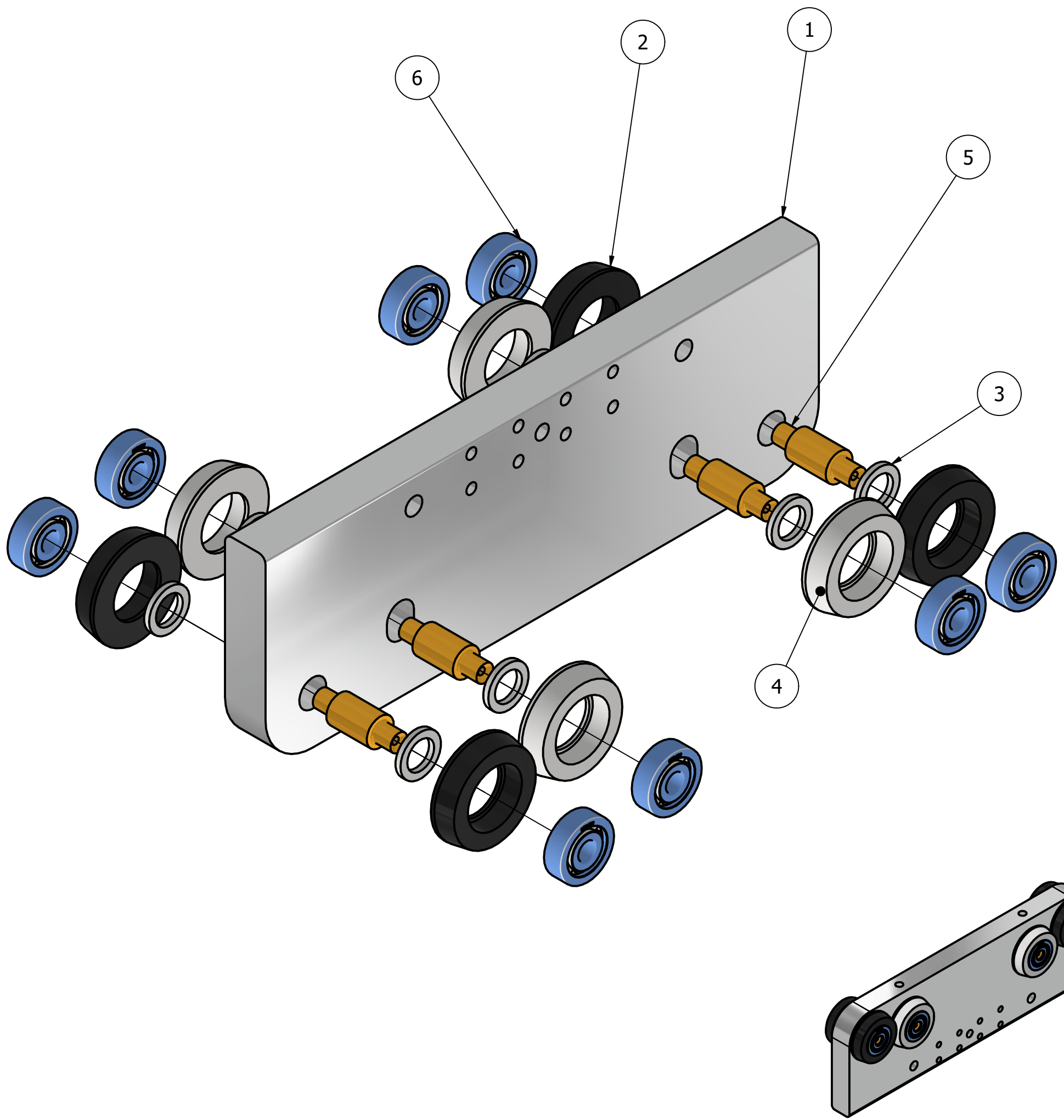
Vista explotada (1 : 5)



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2	Banda dentada 3000x6	Stock
2	1	Bandeja	EI06-000
3	1	Ensamble motor derecho	EI04-000
4	1	Ensamble motor izquierdo	EI03-000
5	16	ISO 4762 - M6 x 16	Stock
6	2	Mecanismo de desplazamiento	EI001-000
7	2	Perfil Cedal 3646	EI02-001
8	2	Placa seguro banda	EI01-005
9	2	Sistema soporte banda dentada	EI05-000

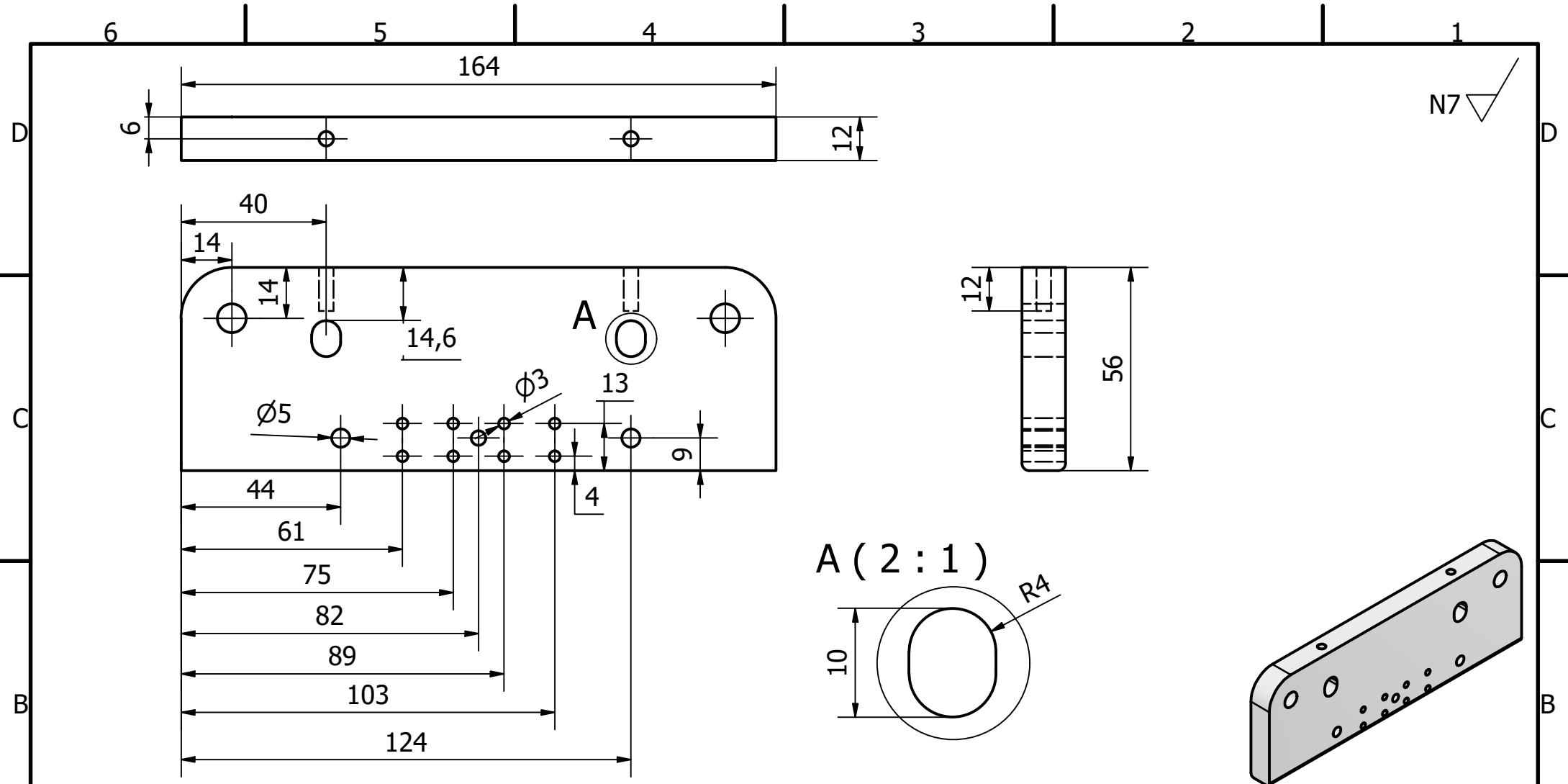
Tolerancia ±	Peso N/A			
Dibujado	Fecha	Nombre		Escala 1 : 5
Revisado	11/1/2022	N.Hermosa		
Aprobado	13/12/2022	A. Valarezo		
		Código	Trat. Superficial	Hoja
		EI00-000	N/A	16/46

Ensamble sistema elevador

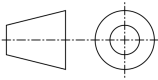



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Placa soporte MD	EI01-001
2	4	Rueda superior MD	EI01-002
3	8	Rodela 16 x 2	Stock
4	4	Rueda inferior MD	EI01-003
5	4	Eje_ruedas_P_riel	EI01-004
6	8	5mm Bearing SFK 625	Stock

Tolerancia		Peso	
±		0.332 kg	
Dibujado	Fecha	Nombre	Mecanismo desplazamiento
Revisado	10/10/2022	N. Hermosa	
Aprobado	13/12/2022	A. Valarezo	
		Código	Trat. Superficial
		EI001-000	N/A
			Hoja
			17/46



N7

Tolerancia		Peso	Duraluminio	
± 0.02		0.282 kg		
Fecha		Nombre	Placa MD	Escala
Dibujado	10/10/2022	N. Hermosa		1 : 2.5
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo		
Aprobado				
		Código	Trat. Superficial	Hoja
		EI01-001	N/A	18/46

Nota:
 • Proceso: Fresado

6 5 4 3 2 1

N8

D

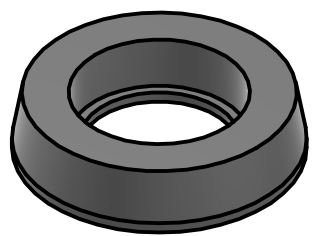
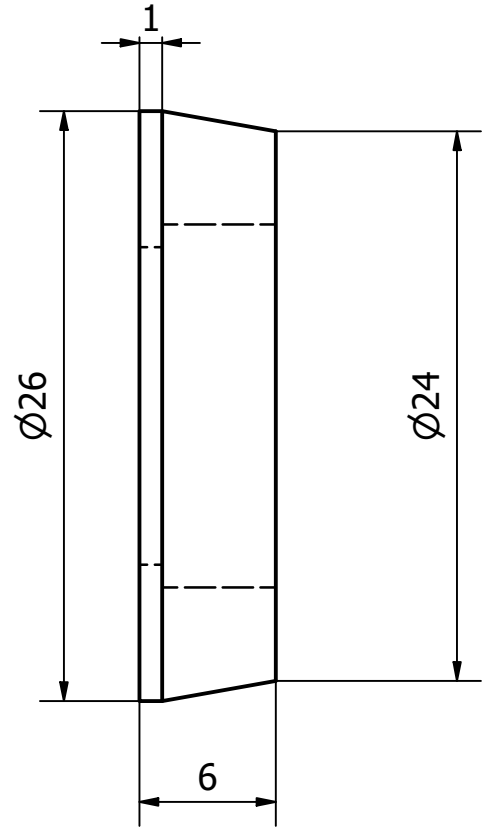
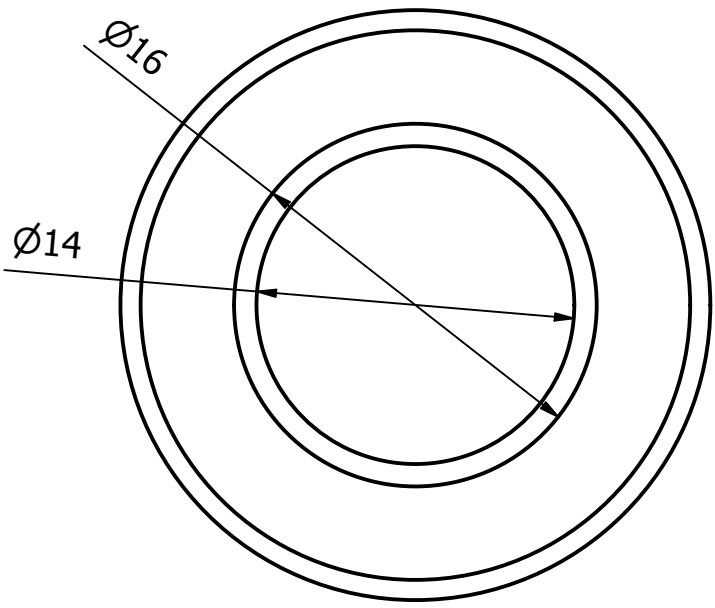
D

C

C

B

B



Nota:

- Proceso: Torneado de precisión.

Tolerancia ± 0.5		Peso 0.002 kg	Duralón		
Fecha		Nombre		Rueda Superior	Escala 1.5 : 1
Dibujado	10/10/2022	N. Hermosa			
Revisado	13/12/2022	A.Valarezo			
Aprobado					
			Código EI01-002	Trat. Superficial N/A	Hoja 19/46

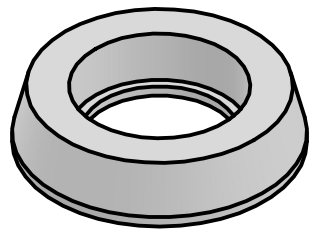
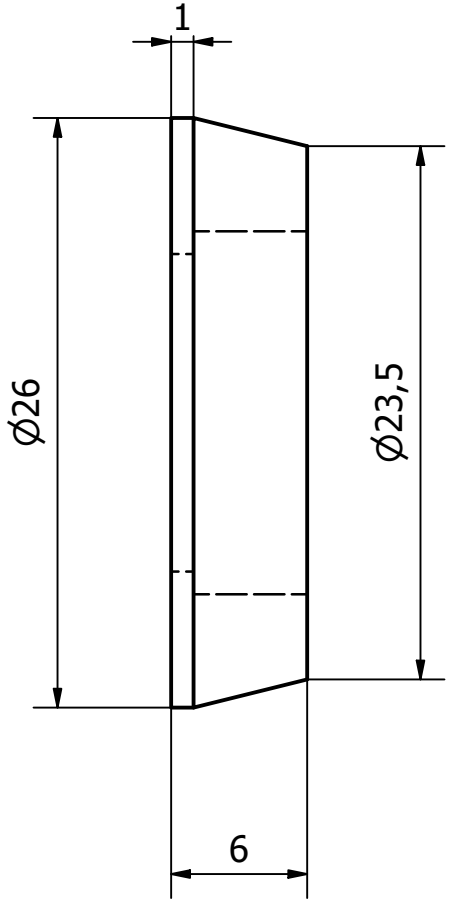
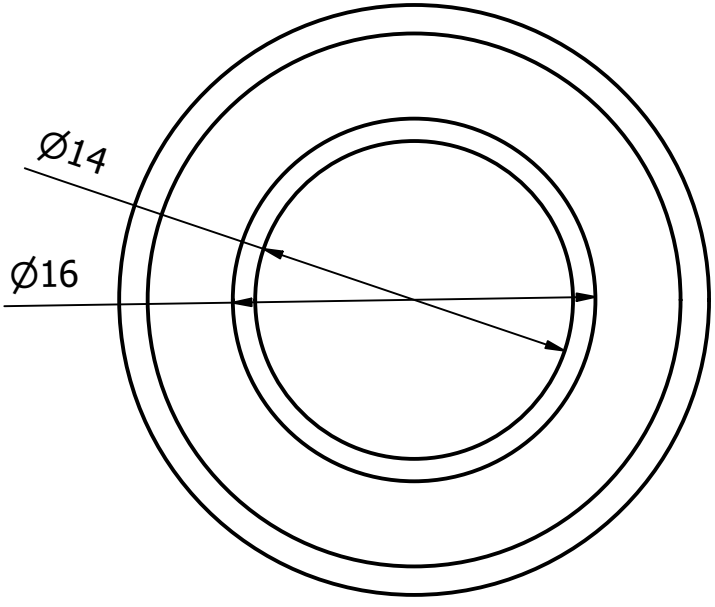
6 5 4 3 2 1

A

A

6 5 4 3 2 1

N8



Nota:

- Proceso: Torneado de precisión.

Tolerancia ± 0.5		Peso 0.002 kg	Duralón		
Fecha		Nombre		Rueda inferior	Escala
Dibujado	10/10/2022	N. Hermosa			1.5 : 1
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo			
Aprobado					
			Código EI01-003	Trat. Superficial N/A	Hoja 20/46

6 5 4 3 2 1

D

D

C

C

B

B

A

A

6 5 4 3 2 1

N7

D

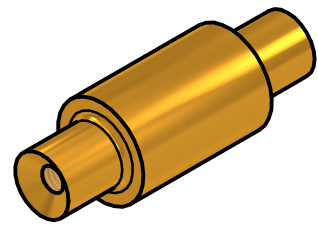
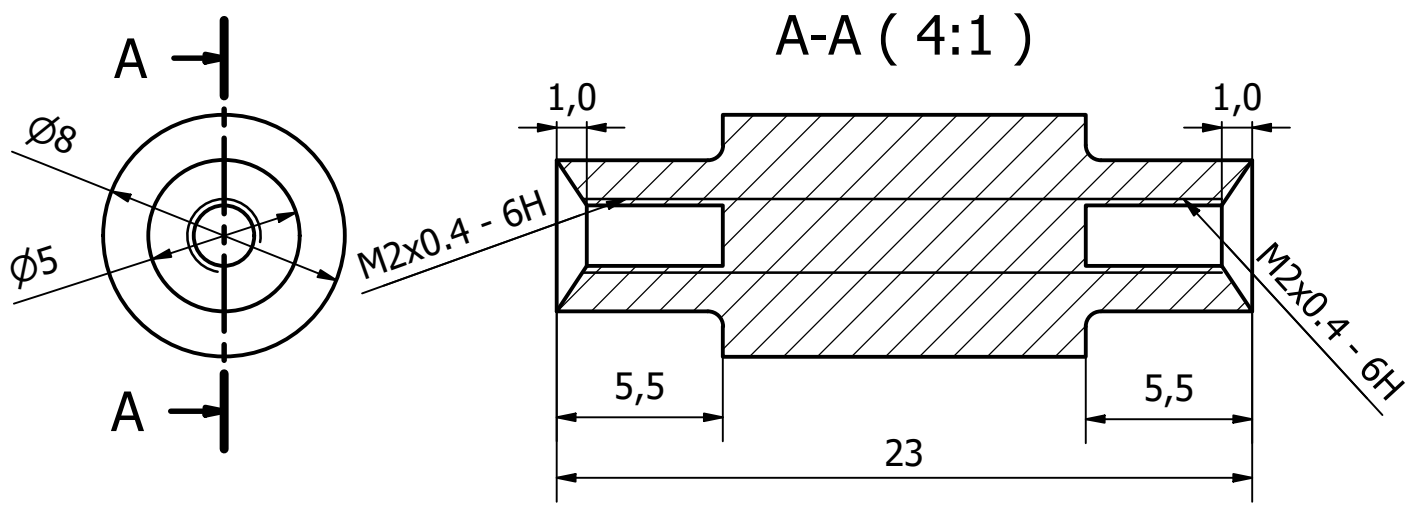
D

C

C

B

B



Nota:

- Proceso: Torneado de precisión.

Tolerancia ± 0.02		Peso 0.007 kg	Varilla bronce dulce de 6mm	
Fecha		Nombre	Eje Rueda	Escala 2 : 1
Dibujado	10/10/2022	N. Hermosa		
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo		
Aprobado				
		Código EL01-004	Trat. Superficial N/A	Hoja 21/46

A

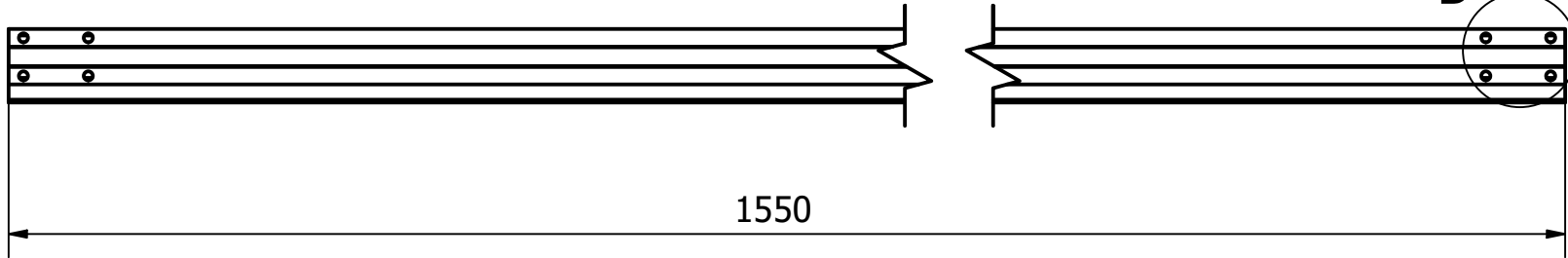
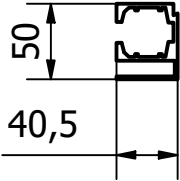
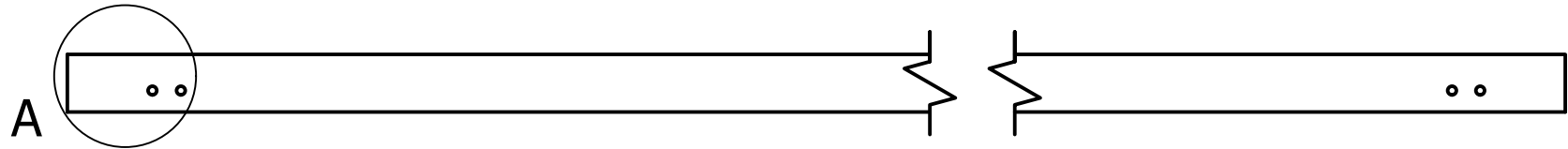
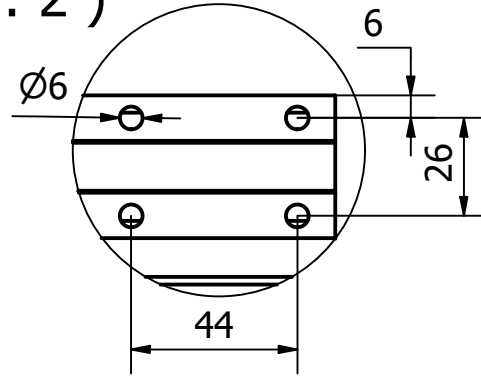
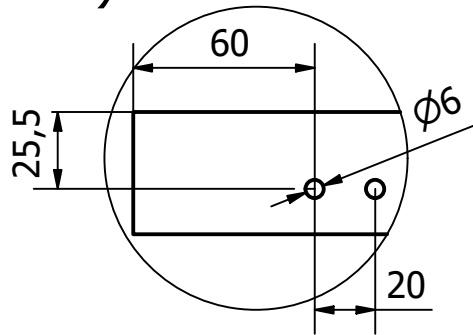
A

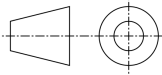

6 5 4 3 2 1

A (1:2.5)

B (1 : 2)

N8



Tolerancia		Peso	Perfil Cedal 3646	
± 0.5		2.421 kg		
	Fecha	Nombre	Parante elevador	Escala
Dibujado	10/9/2022	N. Hermosa		1 : 5
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo		
Aprobado				
			Código	Trat. Superficial
			EI02-001	N/A
				Hoja
				22/46

Nota:
 • Proceso: Taladrado.

6

5

4

3

2

1

D

D

C

C

B

B

A

A

6

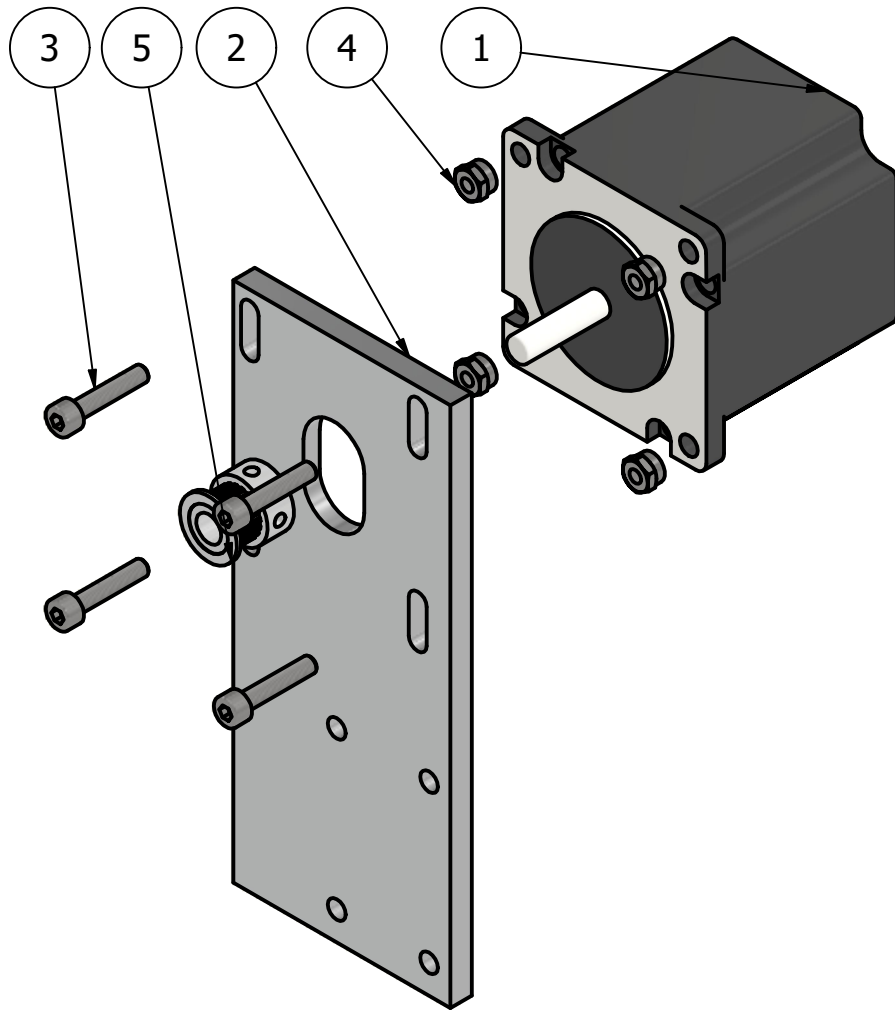
5

4

3

2

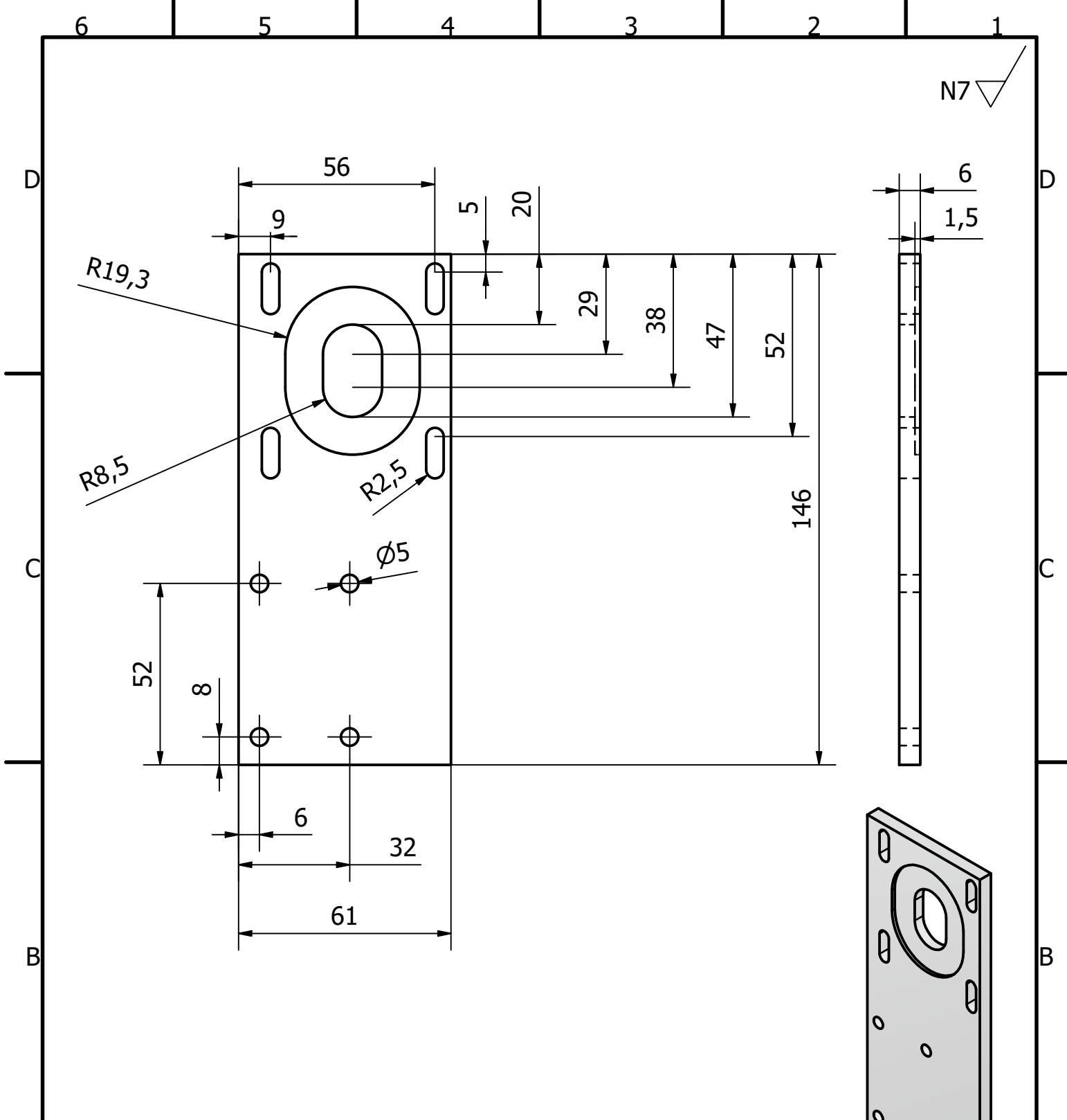
1



PARTS LIST

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Nema_23_PHB57M56-430	Stock
2	1	Placa sosten motor izquierdo	EI003-001
3	4	ISO 4762 - M4 x 20	Stock
4	4	AS 1285 - M4	Stock
5	1	Polea 15mm	Stock

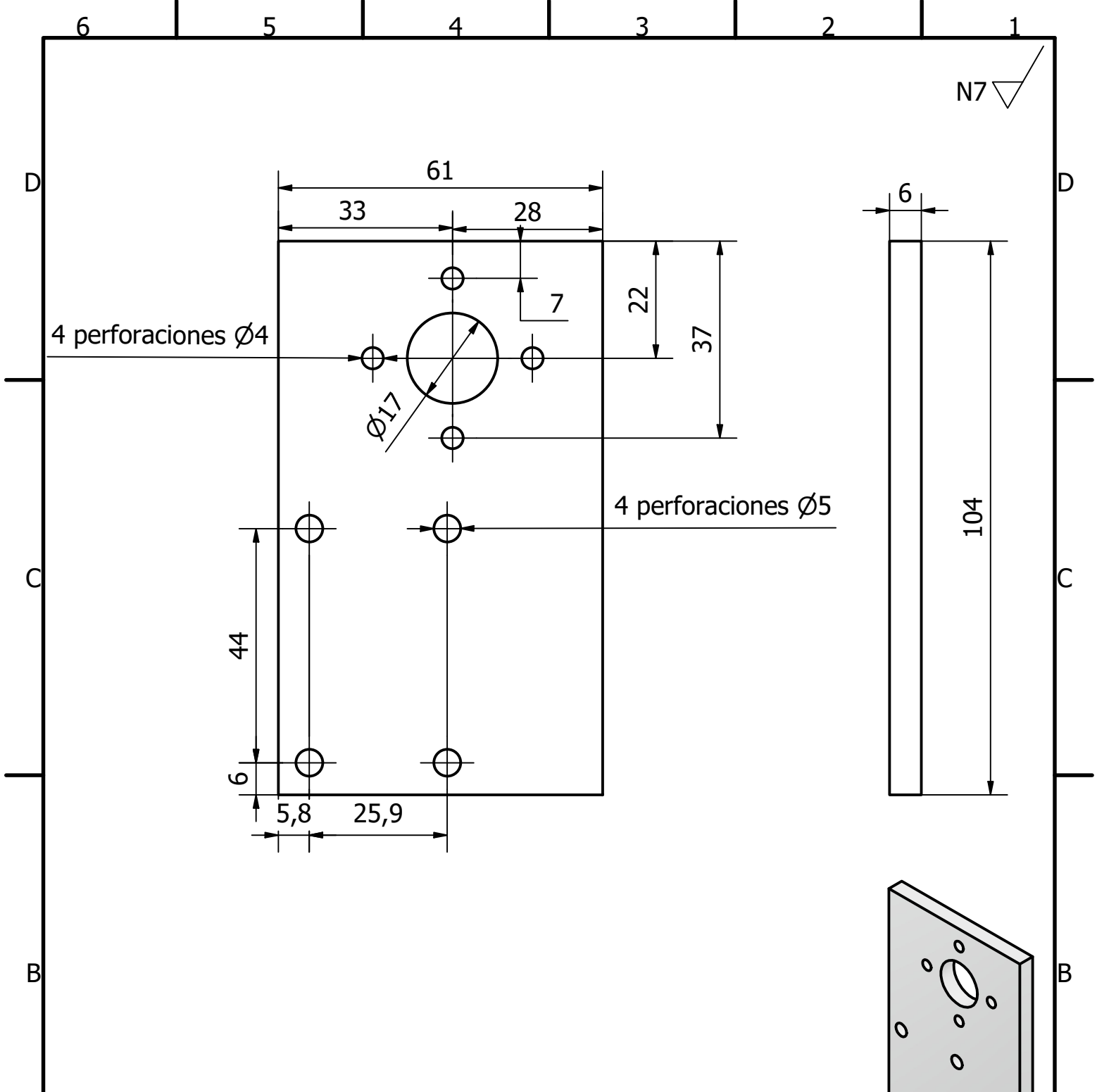
Tolerancia ±		Peso 1.377 kg		
Dibujado	Fecha 11/5/2022	Nombre N. Hermosa		
Revisado				
Aprobado				
		Código EI03-000		Trat. Superficial N/A
		Hoja 23/46		



Nota:

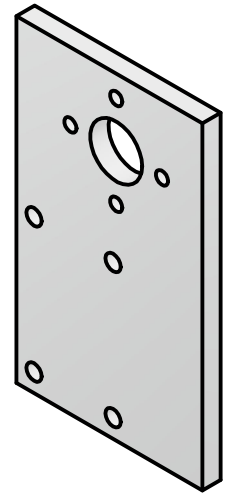
- Proceso: Fresado.

Tolerancia		Peso	Placa duraluminio de 6mm	
± 0.5		0.128 kg		
Fecha		Nombre	Placa sostén motor izquierdo	Escala
Dibujado	10/9/2022	N. Hermosa		
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo		
Aprobado				1 : 1.5
		Código	Trat. Superficial	Hoja
		EI003-001	N/A	24/46

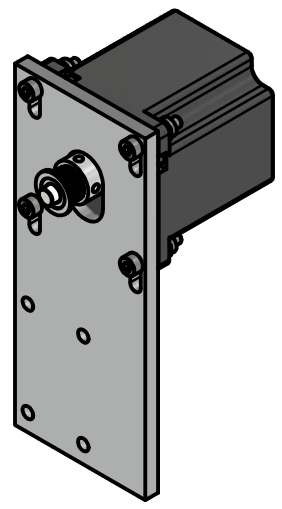
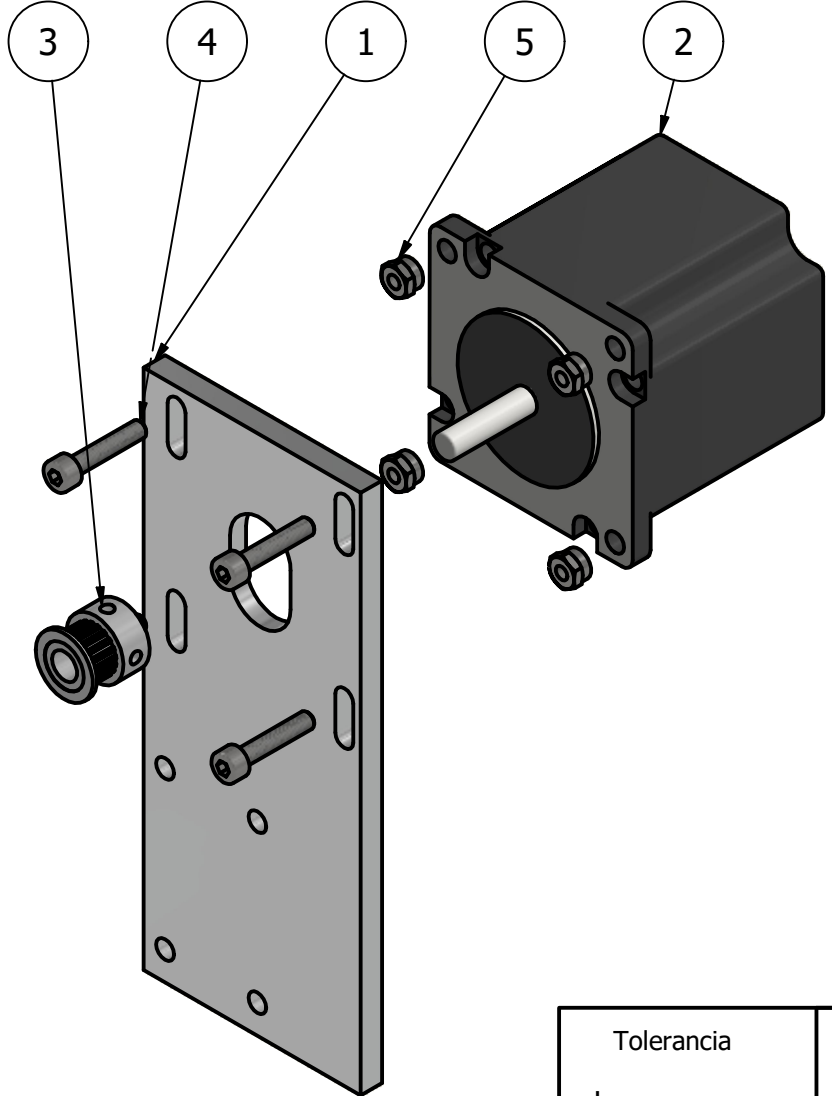


Notas:

- Usar la misma placa a derecha e izquierda para el sistema de guía.
- Proceso: Fresado

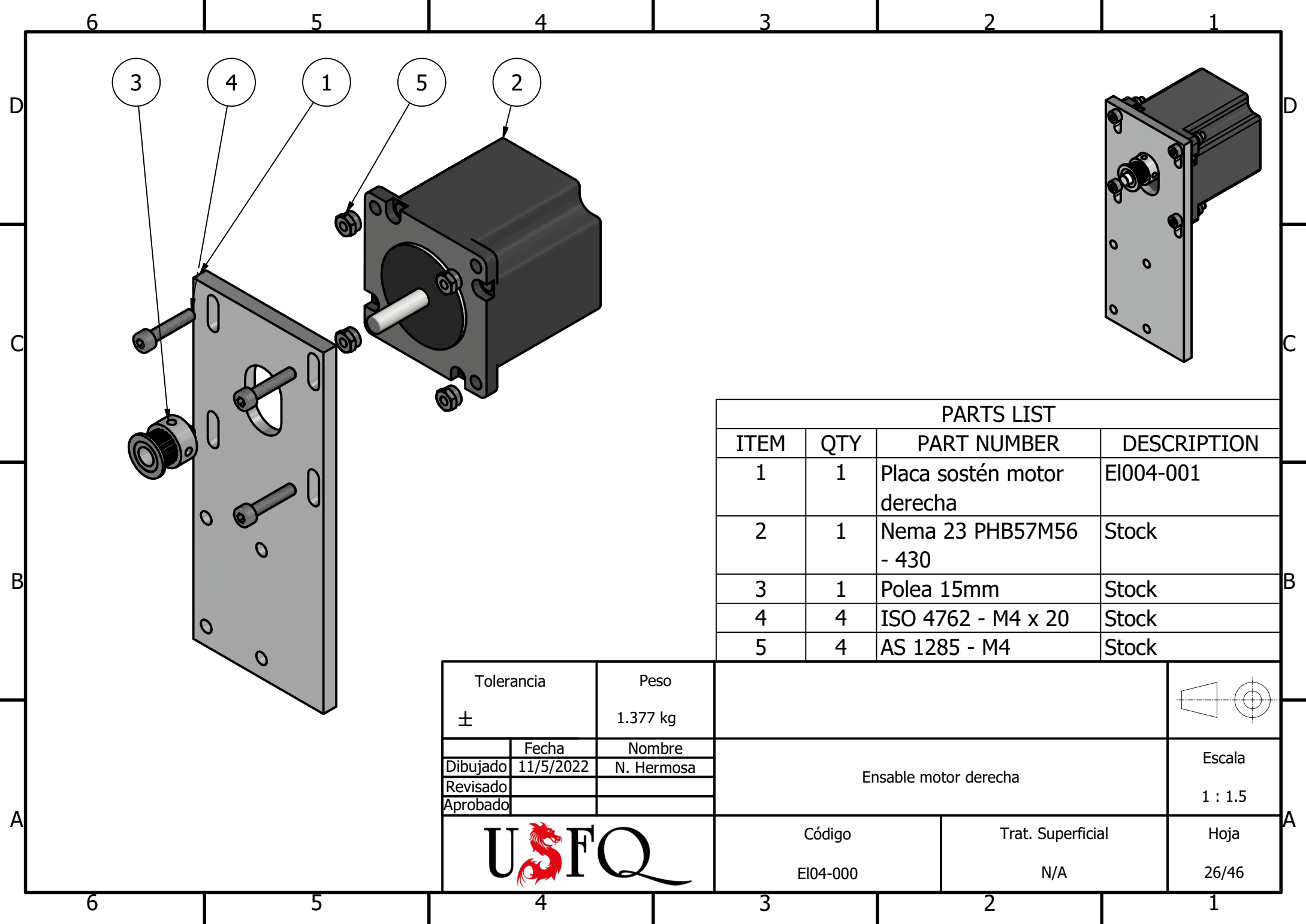


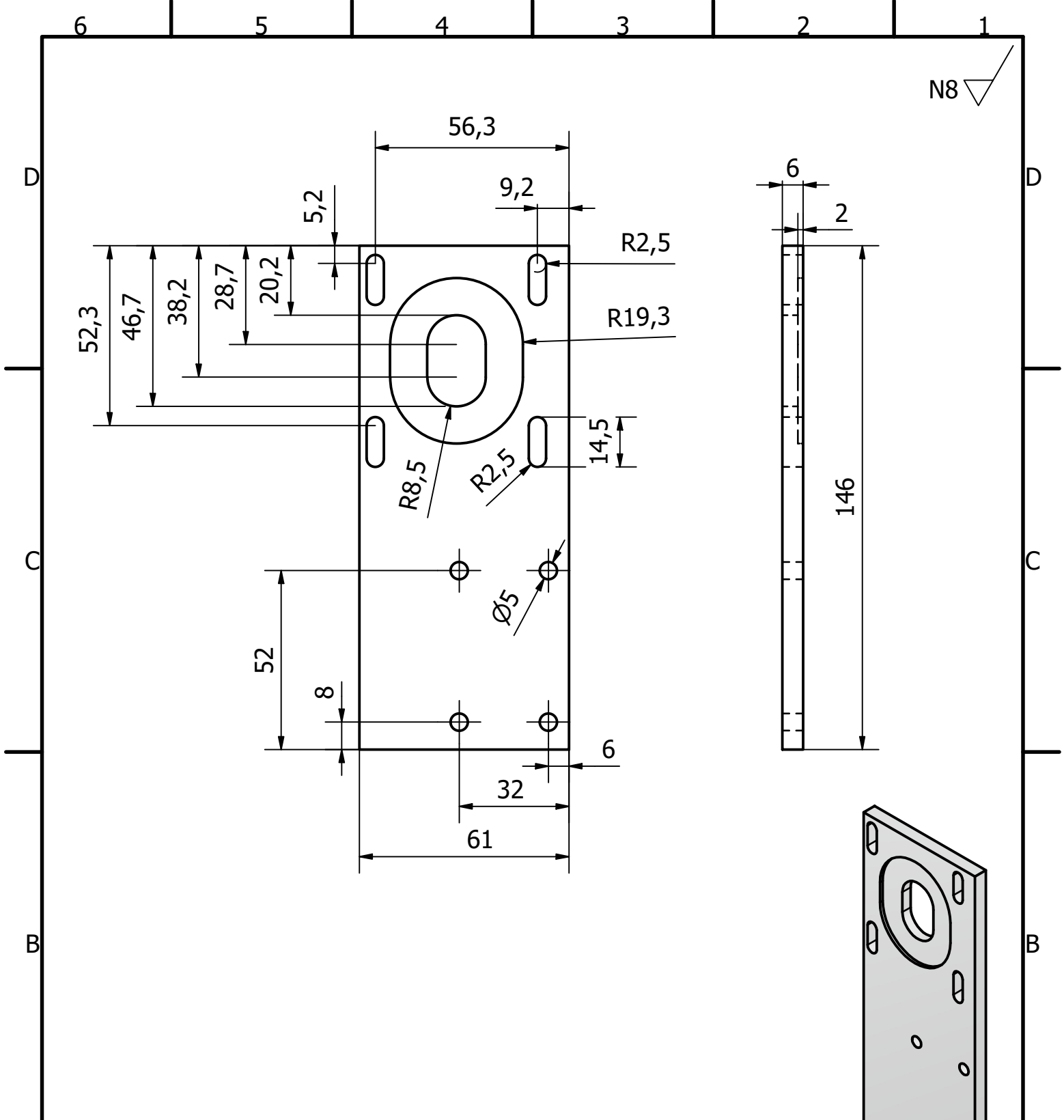
Tolerancia ± 0.5		Peso 0.097 kg	Placa duraluminio 6mm	
Fecha 10/9/2022		Nombre N. Hermosa	Placa sistema guía	Escala 1 : 1
Revisado 13/12/2022		A. Valarezo		
Aprobado				
		Código EI05-002	Trat. Superficial N/A	Hoja 25/46



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Placa sostén motor derecha	EI004-001
2	1	Nema 23 PHB57M56 - 430	Stock
3	1	Polea 15mm	Stock
4	4	ISO 4762 - M4 x 20	Stock
5	4	AS 1285 - M4	Stock

Tolerancia		Peso		
±		1.377 kg		
Fecha		Nombre		Escala 1 : 1.5
Dibujado	11/5/2022	N. Hermosa		
Revisado				
Aprobado				
				Hoja 26/46
EI04-000		N/A		

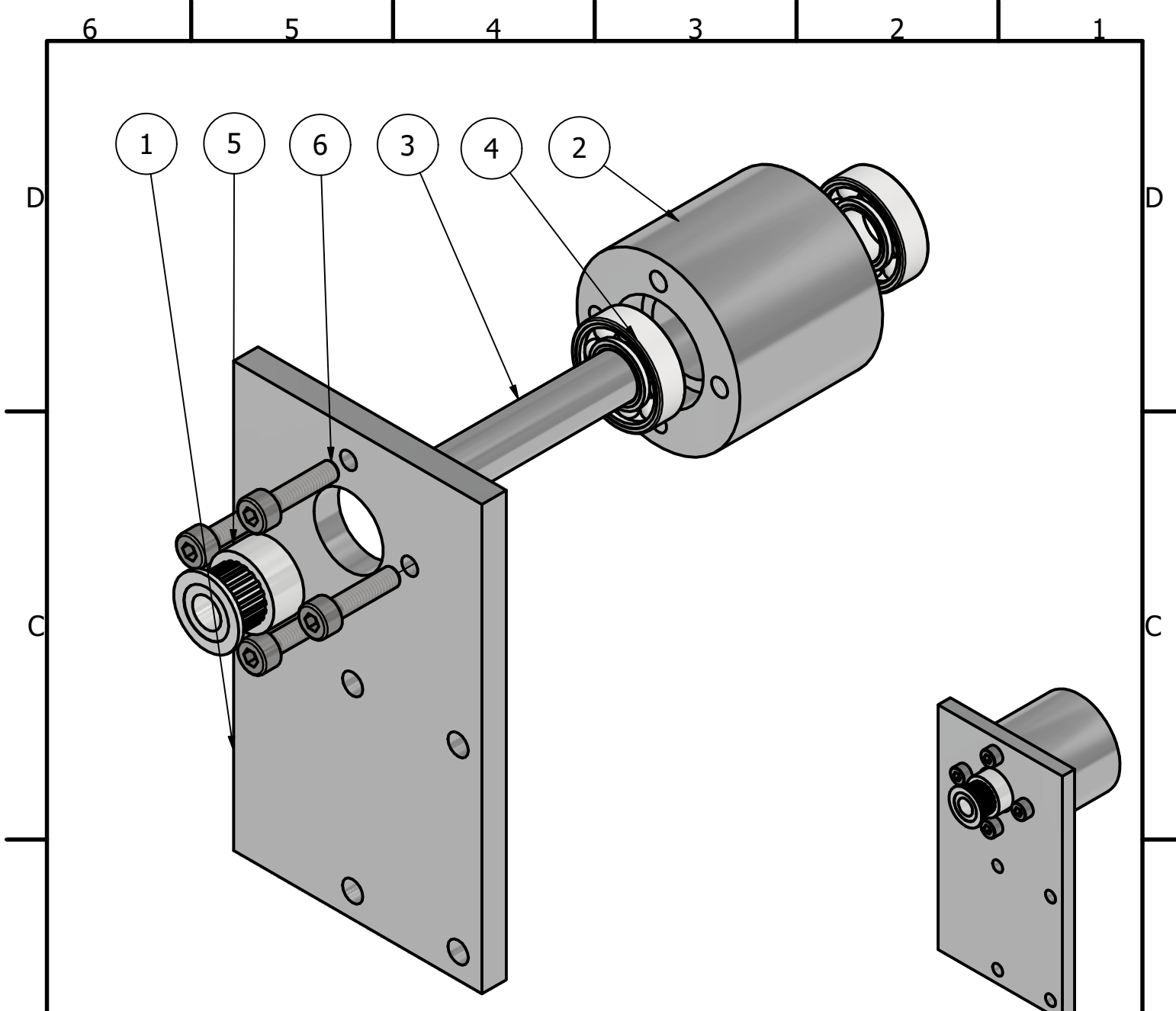




Nota:

- Proceso: Fresado.

Tolerancia ± 0.5		Peso 0.128 kg	Placa duraluminio 6mm	
Fecha		Nombre	Placa soporte motor- Derecha	Escala 1 : 2
Dibujado	10/9/2022	N. Hermosa		
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo		
Aprobado				
		Código EI004-001	Trat. Superficial N/A	Hoja 27/46



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Placa sistema guía	EI05-002
2	1	Soporte eje guía	EI05-001
3	1	Eje guía	EI05-003
4	2	22mm Bearing SKF	Stock
5	1	Polea 15mm	Stock
6	4	CNS 3932 - M 4 x 16	Stock

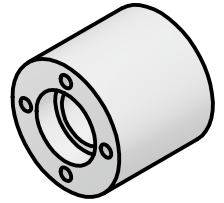
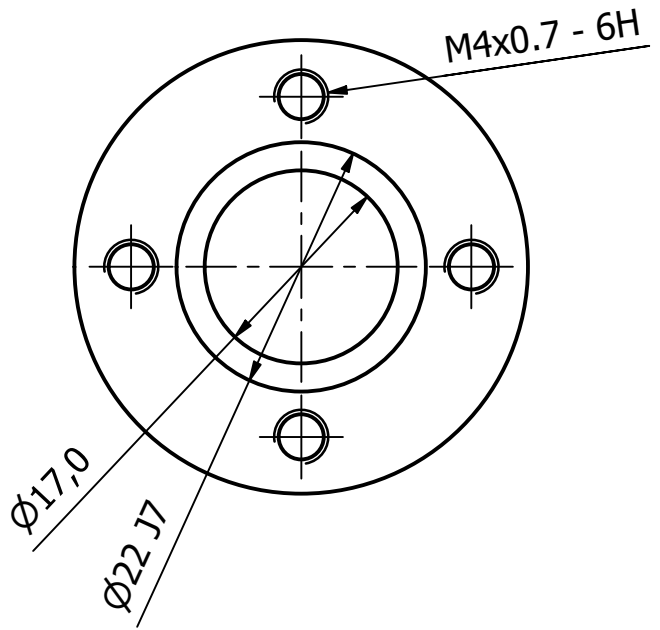
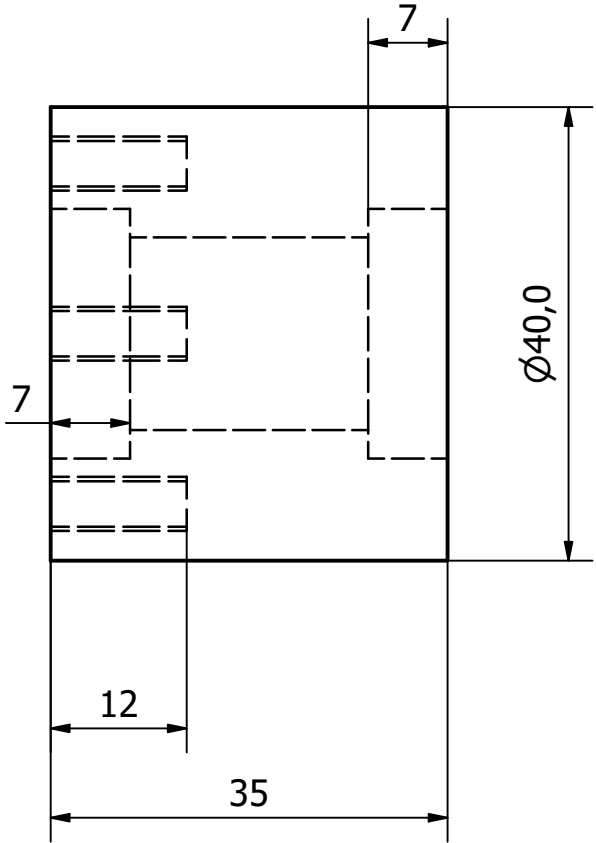
Tolerancia ±		Peso 0.215 kg		
Dibujado	Fecha 11/5/2022	Nombre N. Hermosa	Sistema de soporte-banda dentada	
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo		Hoja 28/46
Aprobado				Código EI05-000



6 5 4 3 2 1

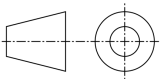

6 5 4 3 2 1

N7



Nota:

- Proceso: Torno de precisión y taladro.

Tolerancia		Peso		Aluminio			
± 0.02		0.090 kg					
Fecha		Nombre		Soporte eje guía		Escala	
Dibujado	10/9/2022	N. Hermosa				1.5:1	
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo					
Aprobado							
		Código		Trat. Superficial		Hoja	
		EI05-001		N/A		29/46	

6 5 4 3 2 1

D

D

C

C

B

B

A

A

6 5 4 3 2 1

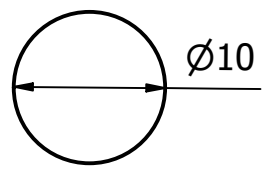
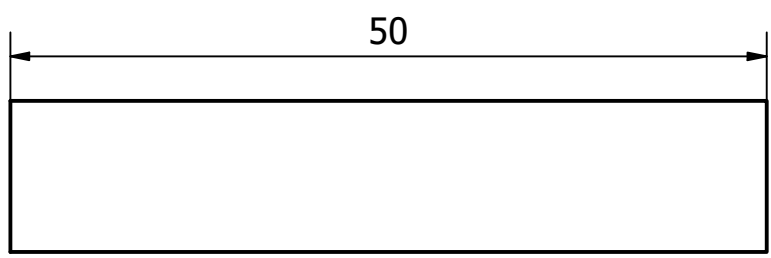
N7 

D

D

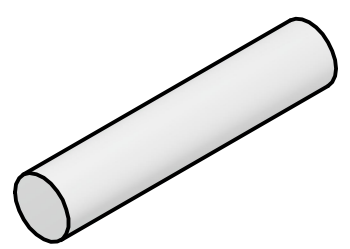
C

C



B

B

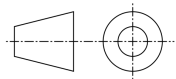



Nota:

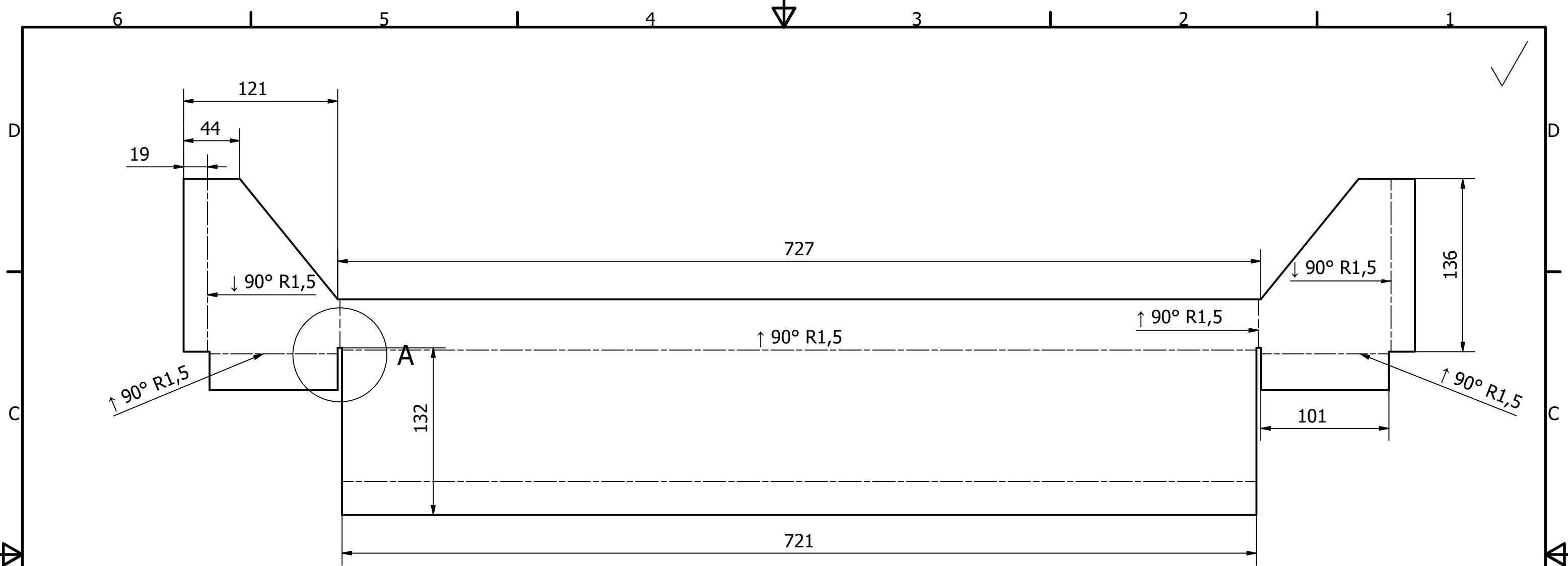
- Proceso: Torneado de precisión.

A

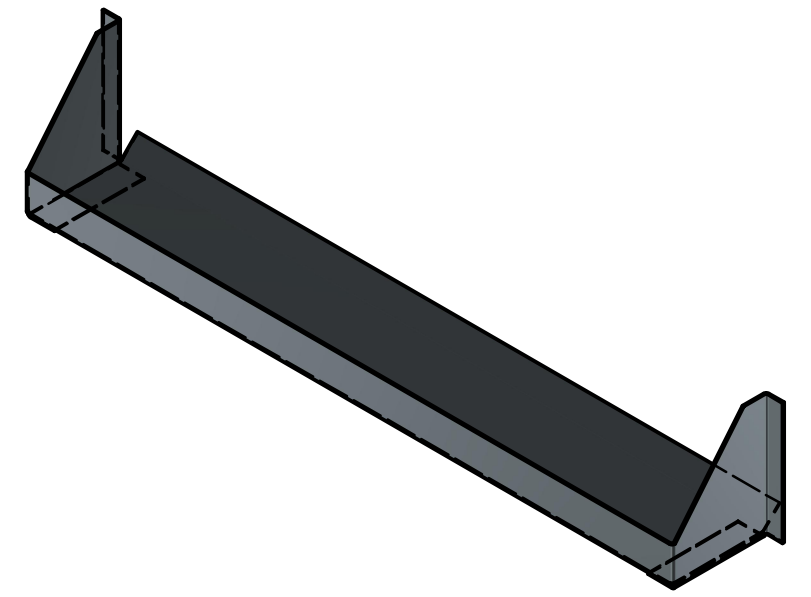
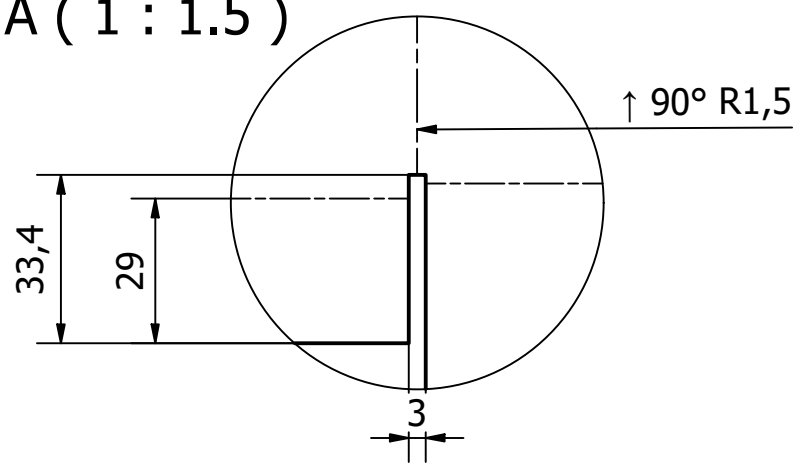
A

Tolerancia ± 0.02		Peso 0.011 kg	Varilla Aluminio 10mm		
Fecha		Nombre		Eje guía	Escala 2 : 1
Dibujado	10/12/2022	N. Hermosa			
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo			
Aprobado					
			Código EI05-003	Trat. Superficial N/A	Hoja 30/46

6 5 4 3 2 1

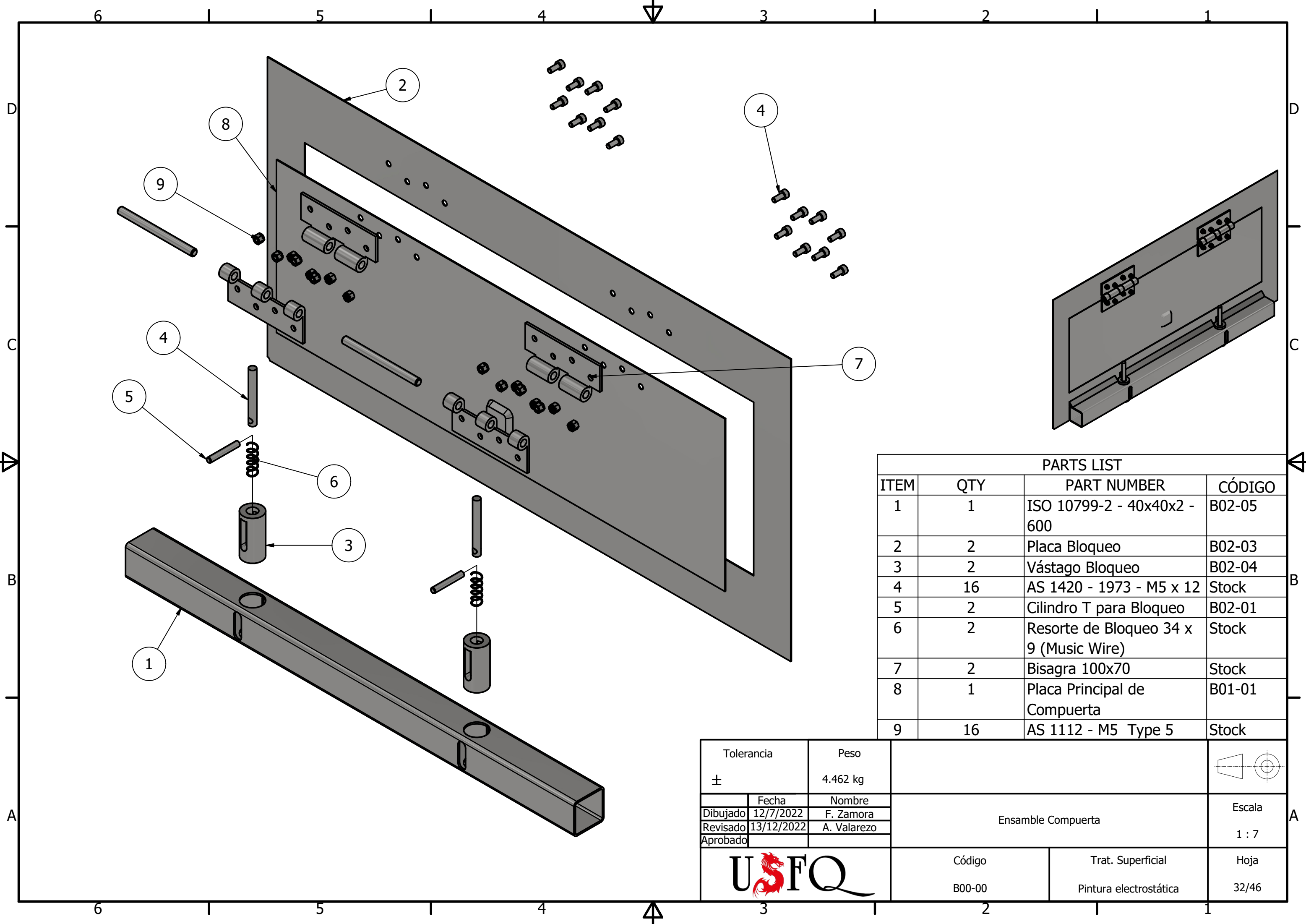


A (1 : 1.5)



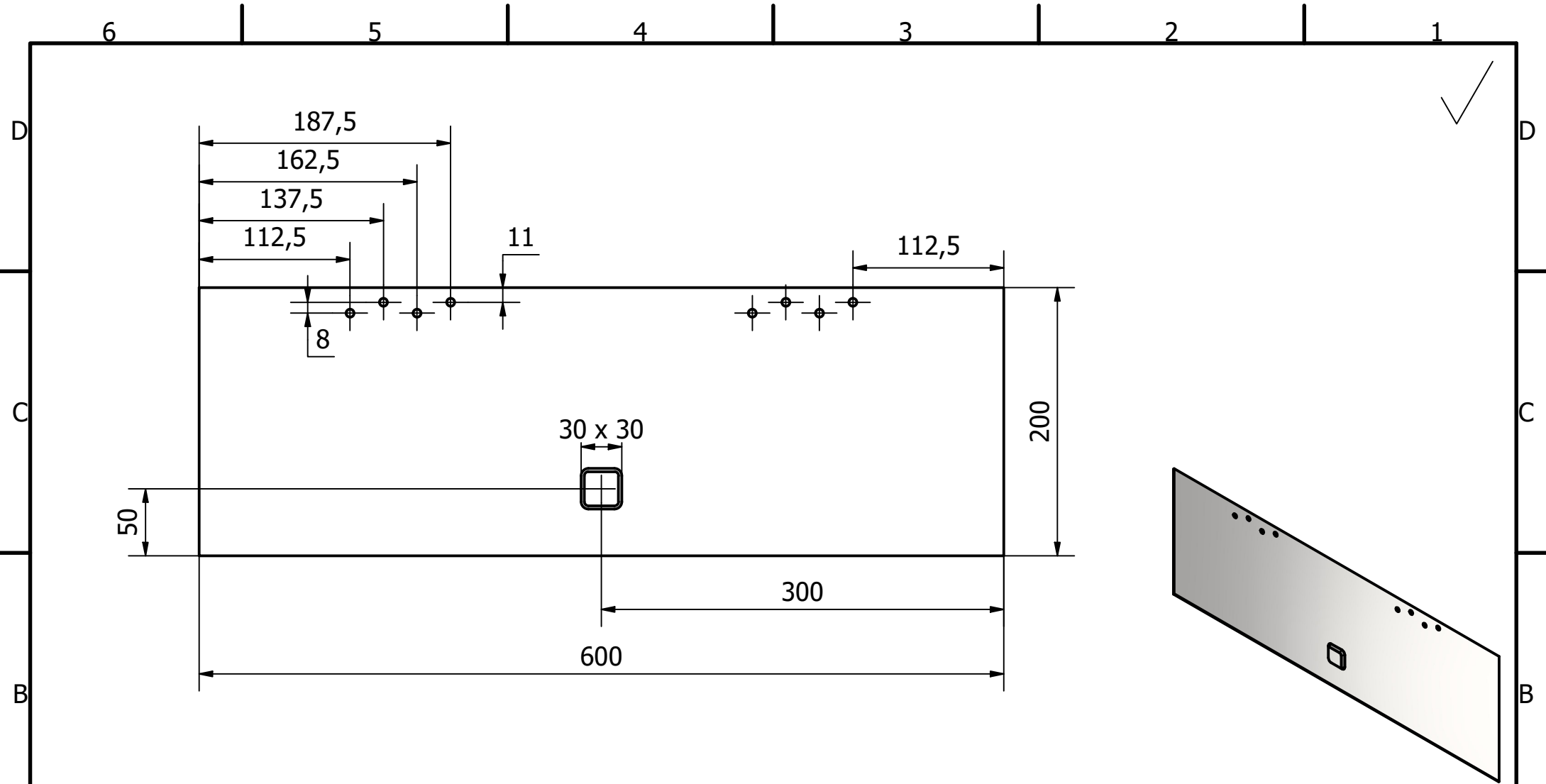
Nota:
 • Proceso: Corte, plegado y taladrado.

Tolerancia	Peso	Plancha 1mm A36		
± 0.5	1.661 kg			
	Fecha	Nombre		Escala 1 : 6
Dibujado	11/5/2022	N. Hermosa		
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo		
Aprobado				
		Código	Trat. Superficial	Hoja
		EI06-000	Pintura Electroestática	31/46



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	CÓDIGO
1	1	ISO 10799-2 - 40x40x2 - 600	B02-05
2	2	Placa Bloqueo	B02-03
3	2	Vástago Bloqueo	B02-04
4	16	AS 1420 - 1973 - M5 x 12	Stock
5	2	Cilindro T para Bloqueo	B02-01
6	2	Resorte de Bloqueo 34 x 9 (Music Wire)	Stock
7	2	Bisagra 100x70	Stock
8	1	Placa Principal de Compuerta	B01-01
9	16	AS 1112 - M5 Type 5	Stock

Tolerancia	Peso	
±	4.462 kg	
Dibujado	Fecha	Ensamble Compuerta
Revisado	Nombre	
Aprobado		
		Escala 1 : 7
Código	Trat. Superficial	Hoja
B00-00	Pintura electrostática	32/46

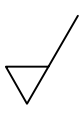



Notas:

- Todos los agujeros son \varnothing 6 mm.
- Proceso: Corte, taladrado y punzonado.

Tolerancia		Peso		Plancha de 2 mm A36			
\pm 0.5		0.974 kg		Placa principal compuerta		Escala	
Dibujado	Fecha	Nombre				1 : 4	
Revisado	12/7/2022	F. Zamora					
Aprobado	13/12/2022	A. Valarezo					
		Código		Trat. Superficial		Hoja	
		B01-01		N/A		33/46	

6 5 4 3 2 1

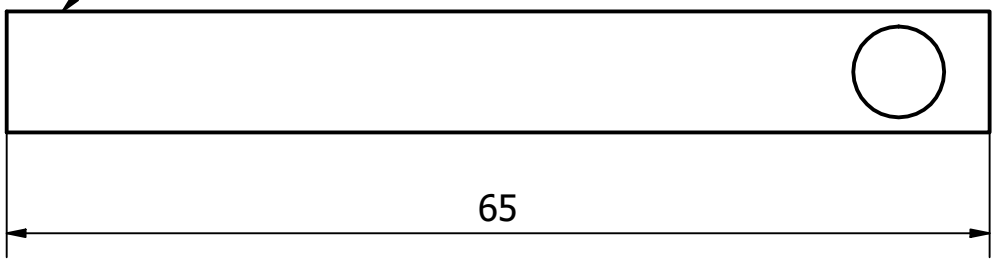
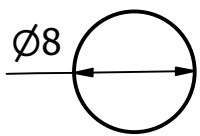
N7  ()

D

D

N7 

Ø8



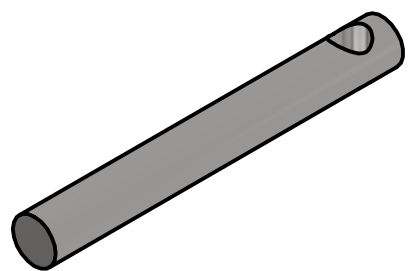
65

C

C

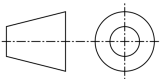

B

B



Nota:

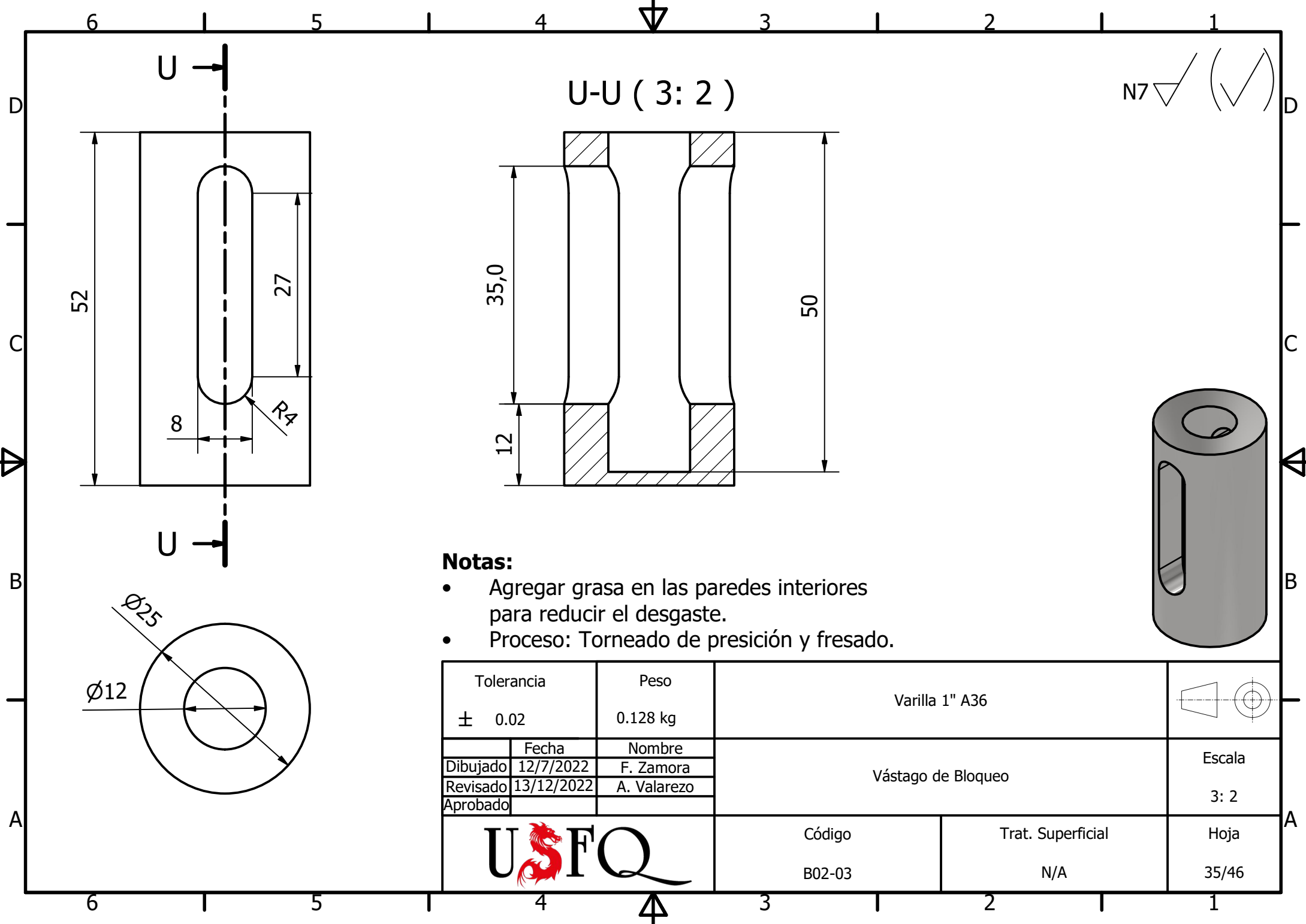
- Proceso: Torneado de precisión y taladrado.

Tolerancia ± 0.02		Peso 0.024 kg	Varilla de 10 mm A36	
Fecha 12/7/2022		Nombre F. Zamora	Cilindro T bloqueo	Escala 2:1
Revisado 13/12/2022		A. Valarezo		
Aprobado				
		Código B02-01	Trat. Superficial N/A	Hoja 34/46

A

A

6 5 4 3 2 1



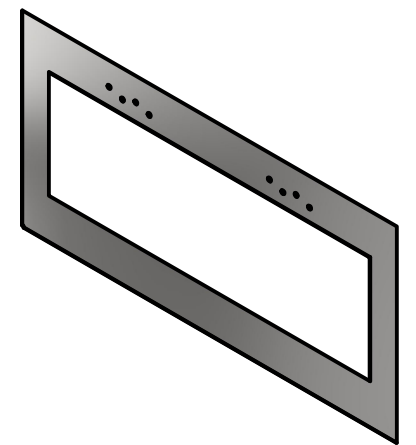
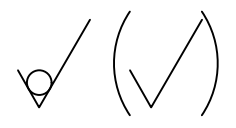
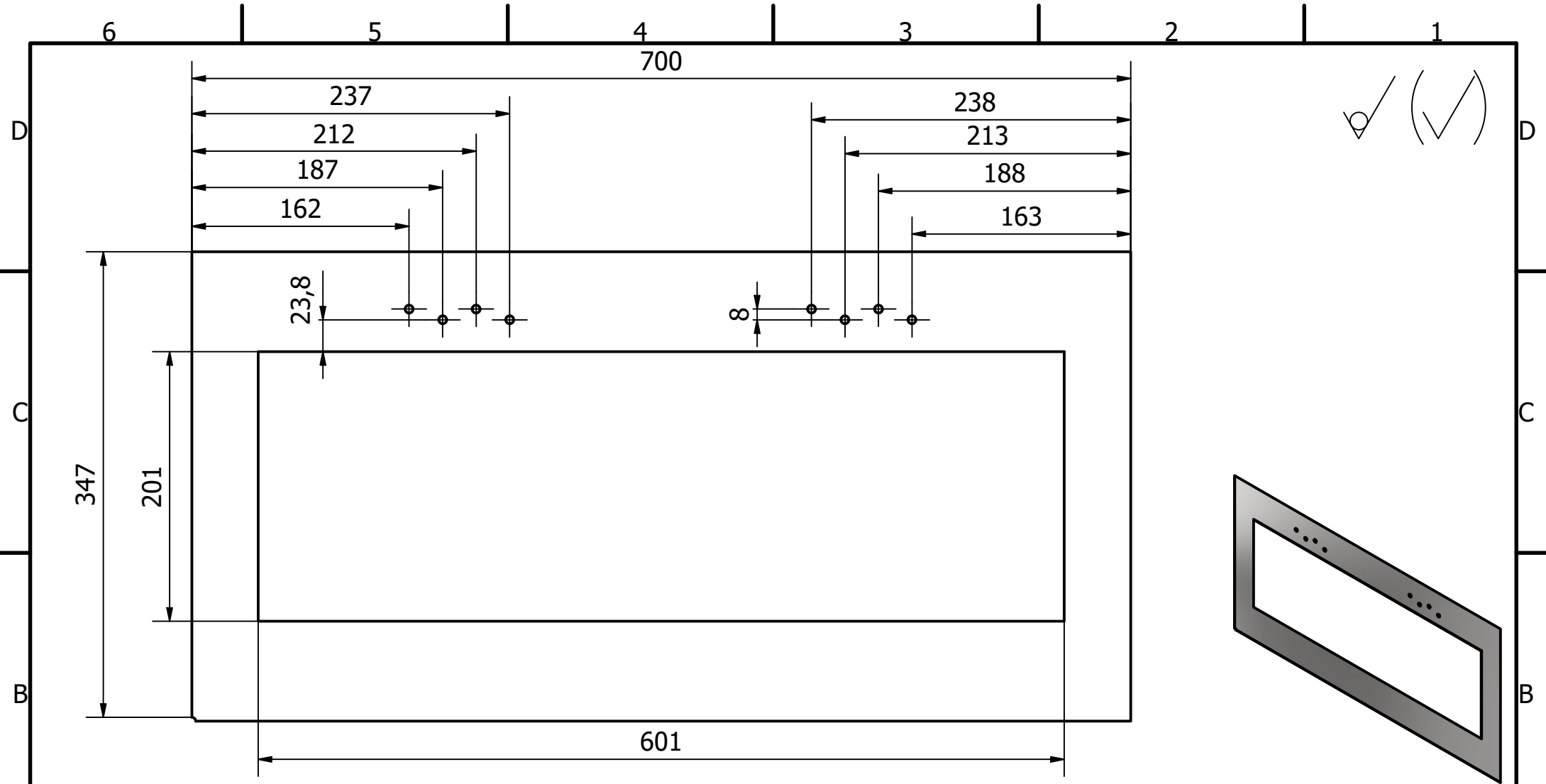
U-U (3: 2)

N7

Notas:

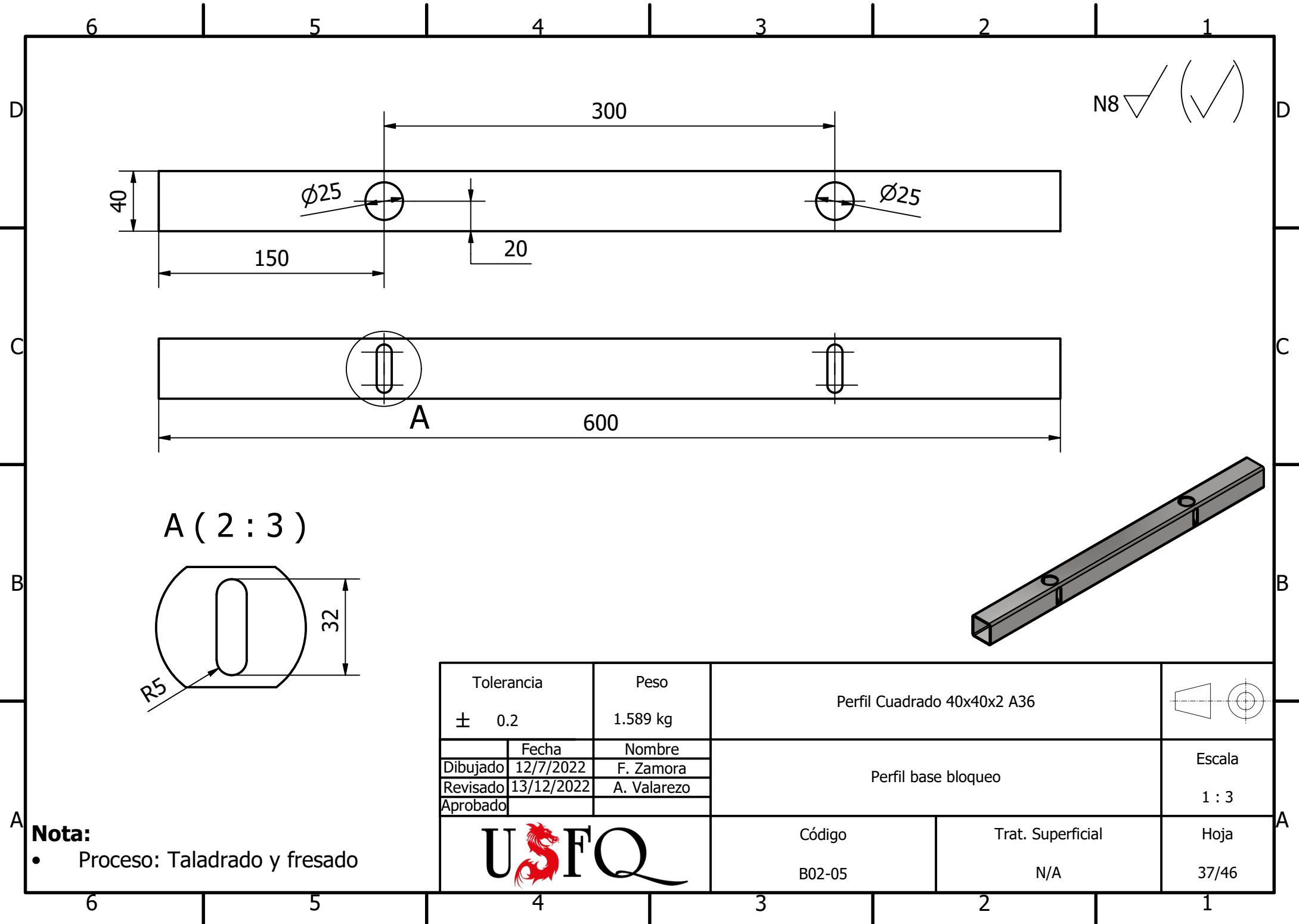
- Agregar grasa en las paredes interiores para reducir el desgaste.
- Proceso: Torneado de precisión y fresado.

Tolerancia		Peso	Varilla 1" A36	
± 0.02		0.128 kg		
Dibujado	Fecha	Nombre	Vástago de Bloqueo	Escala
Revisado	12/7/2022	F. Zamora		3: 2
Aprobado	13/12/2022	A. Valarezo		
		Código	Trat. Superficial	Hoja
		B02-03	N/A	35/46



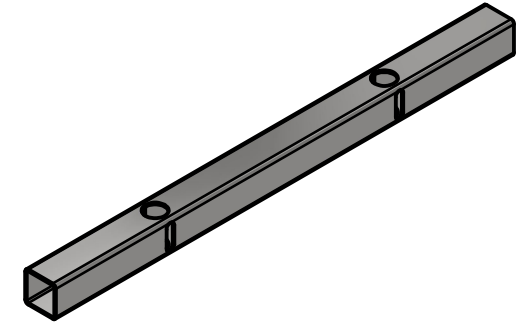
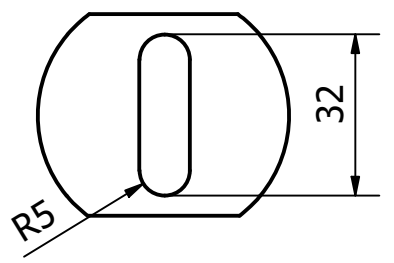
- Notas:**
- Todos los agujeros no acotados son \varnothing 6 mm.
 - Proceso: Corte y taladrado.

Tolerancia \pm 0.5		Peso 0.973 kg	Plancha 2mm A36		
Dibujado	Fecha 12/7/2022	Nombre F. Zamora	Placa base de bloqueo		
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo			Hoja 36/46
Aprobado					Código B02-04



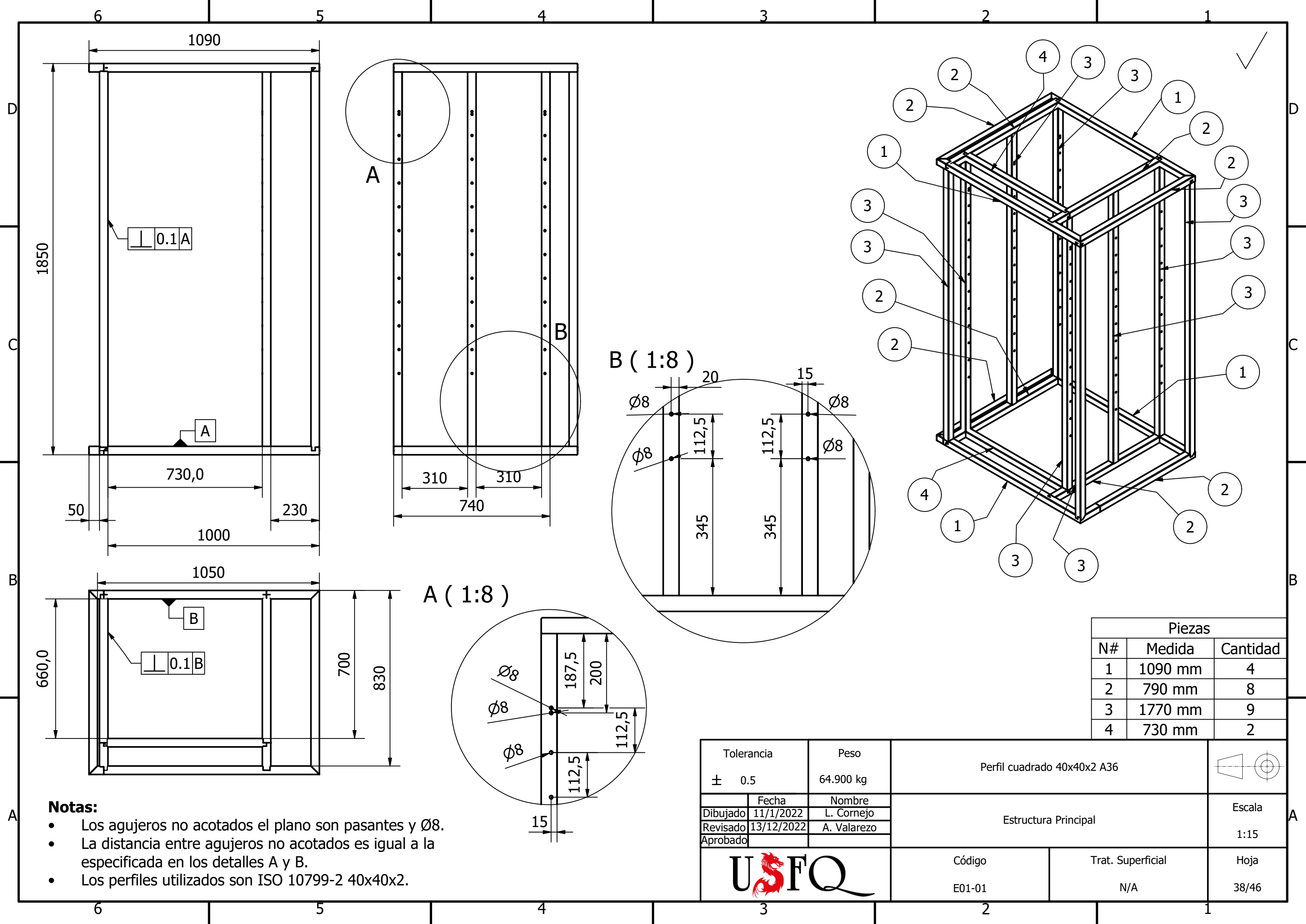
N8 (✓) (✓)

A (2 : 3)



Tolerancia		Peso	Perfil Cuadrado 40x40x2 A36		
± 0.2		1.589 kg	Perfil base bloqueo		
Dibujado	Fecha	Nombre			Escala
Revisado	12/7/2022	F. Zamora			1 : 3
Aprobado	13/12/2022	A. Valarezo			
		Código	Trat. Superficial	Hoja	
		B02-05	N/A	37/46	

Nota:
 • Proceso: Taladrado y fresado



⊥ 0.1A

1090

1850

730,0

50

1000

230

1050

660,0

⊥ 0.1B

700

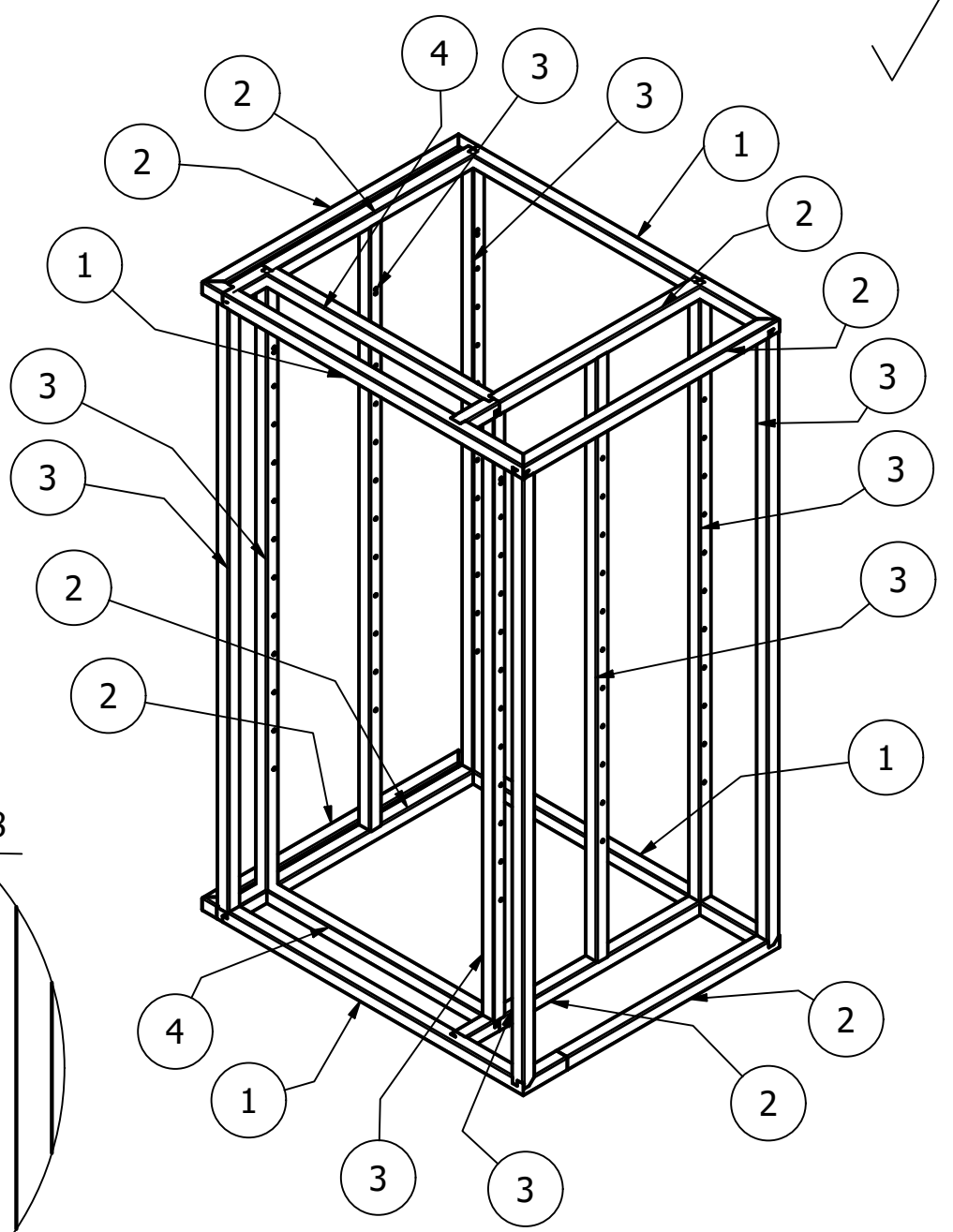
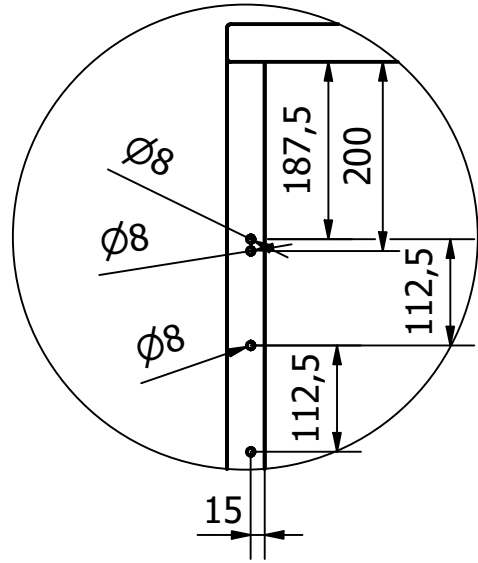
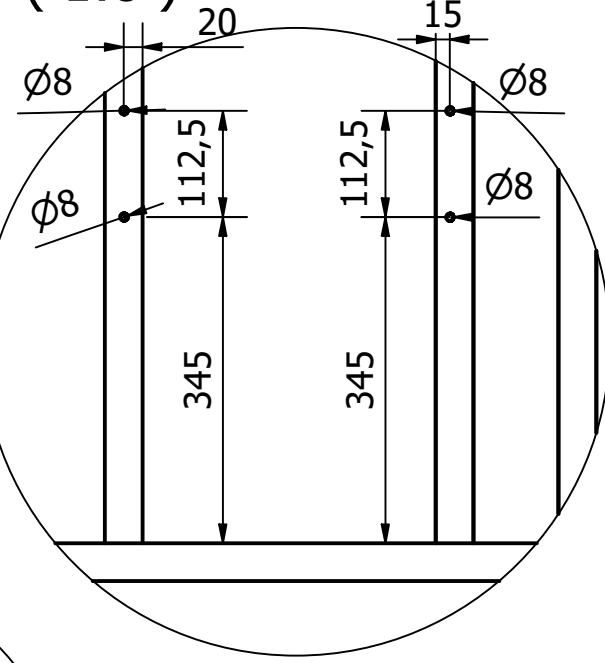
830

A

B

B (1:8)

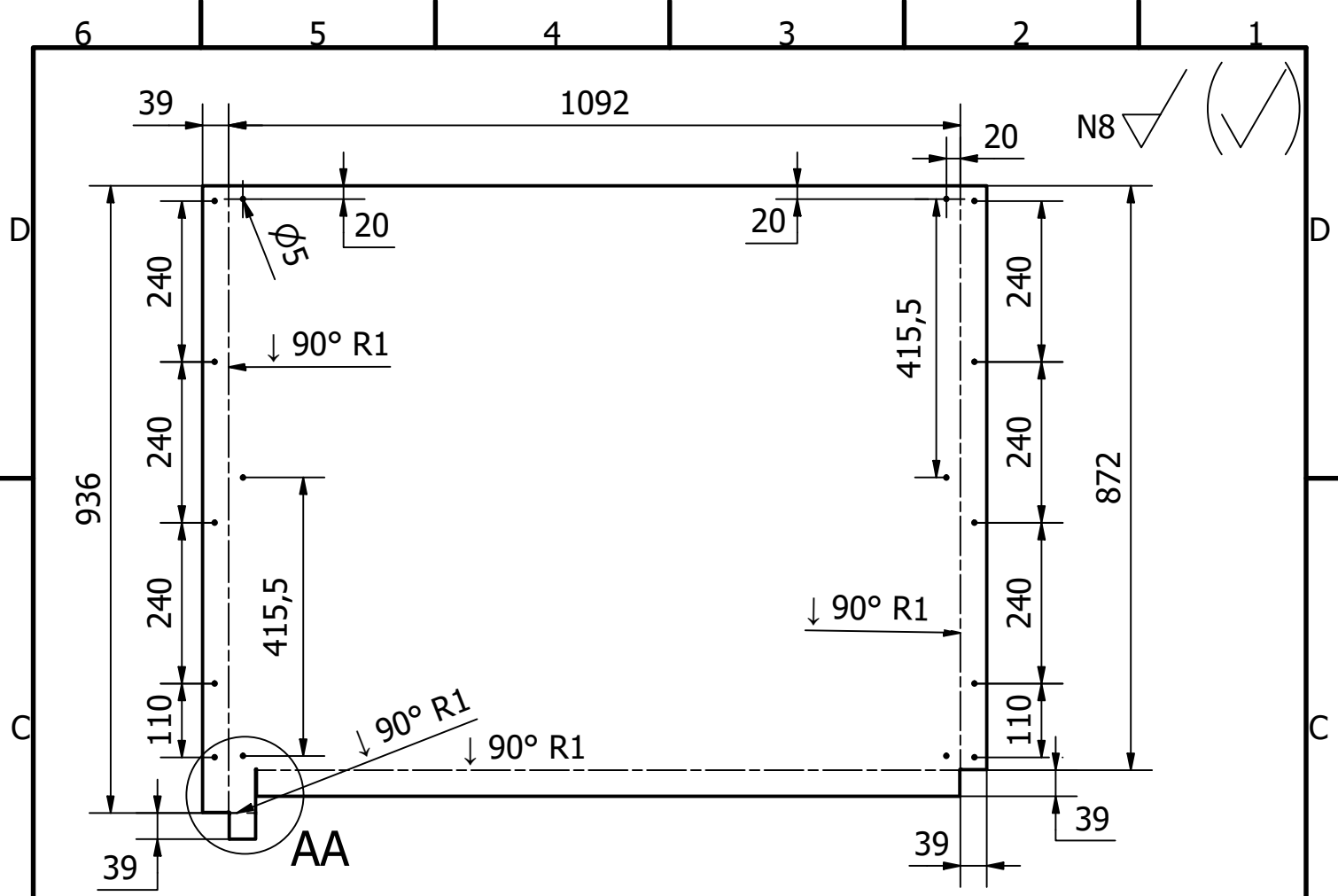
A (1:8)



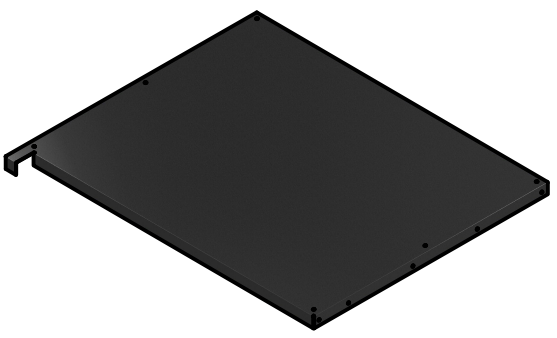
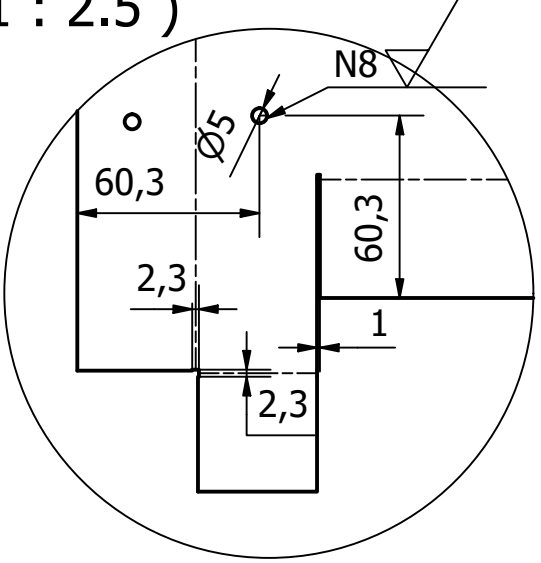
Piezas		
N#	Medida	Cantidad
1	1090 mm	4
2	790 mm	8
3	1770 mm	9
4	730 mm	2

Tolerancia	Peso	Perfil cuadrado 40x40x2 A36		
± 0.5	64.900 kg			
	Fecha	Nombre		Estructura Principal
Dibujado	11/1/2022	L. Cornejo		
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo		
Aprobado				Escala
		Código	Trat. Superficial	Hoja
		E01-01	N/A	38/46

- Notas:**
- Los agujeros no acotados el plano son pasantes y Ø8.
 - La distancia entre agujeros no acotados es igual a la especificada en los detalles A y B.
 - Los perfiles utilizados son ISO 10799-2 40x40x2.



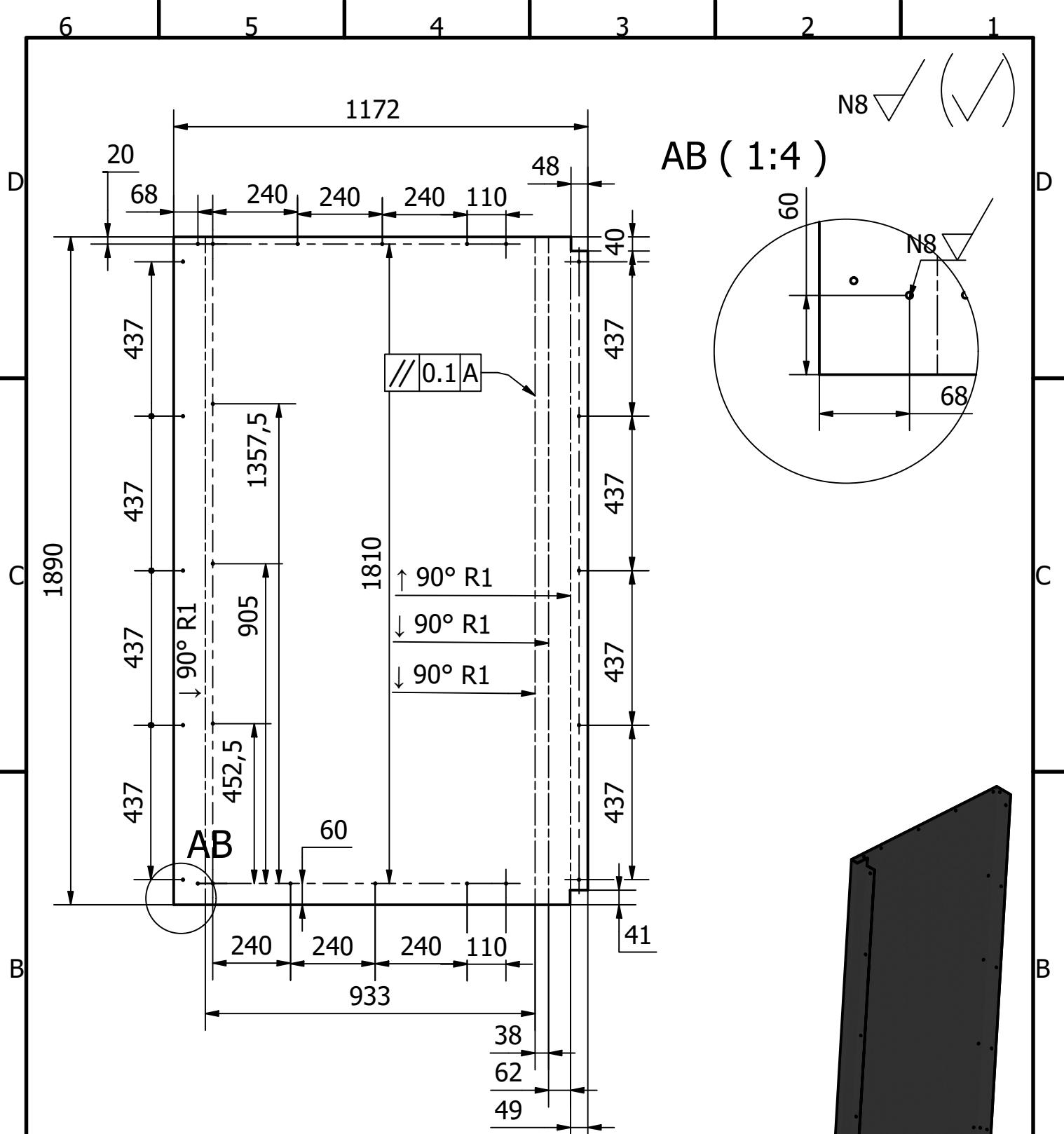
AA (1 : 2.5)



Nota:

- Los agujeros no acotados son pasantes con Ø5.
- Proceso: Corte, taladrado y plegado.

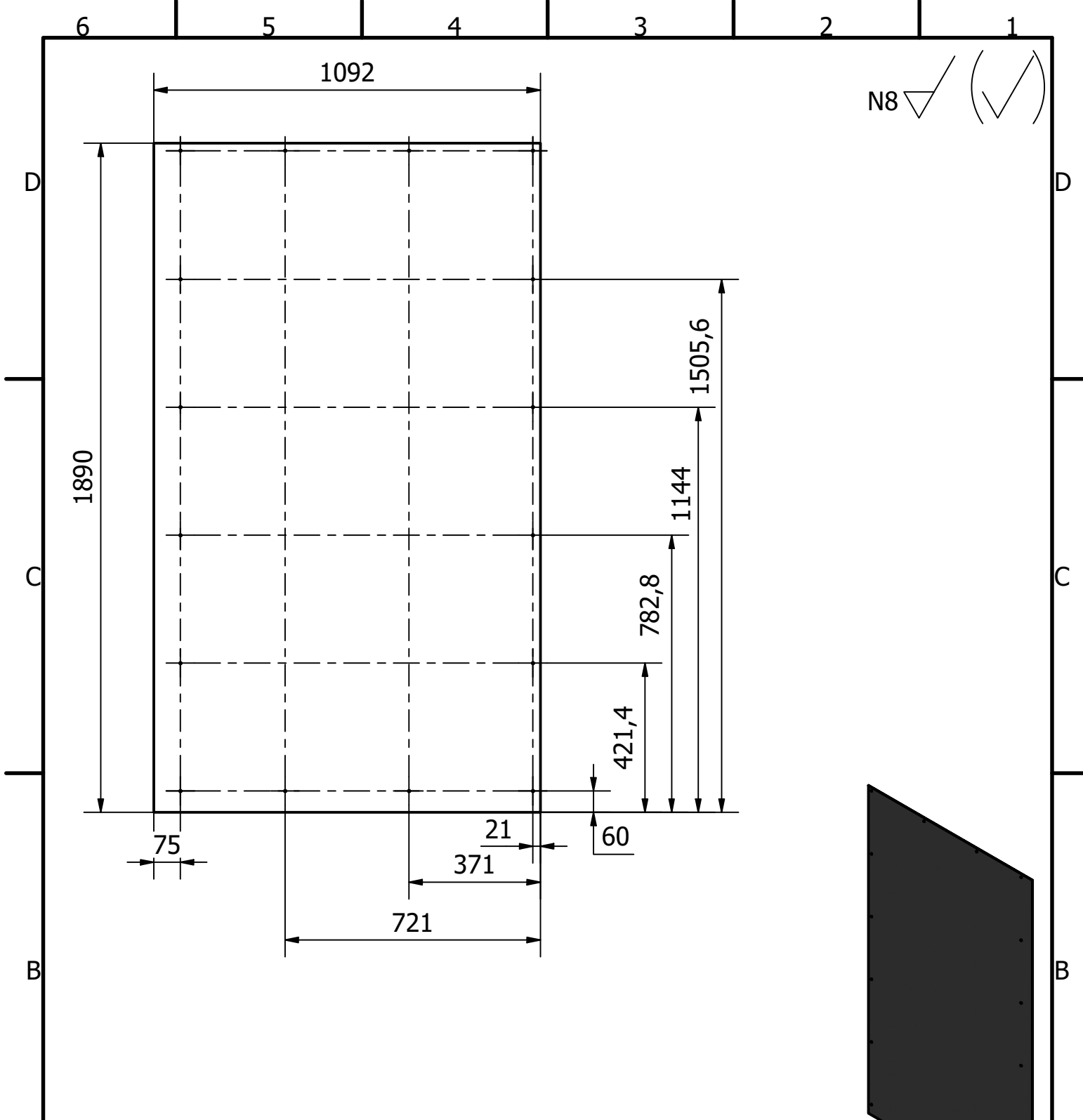
Tolerancia ± 0.5		Peso 7.639 kg	Plancha acero 1mm A36	
Fecha 12/7/2022		Nombre L. Cornejo	Carcasa Superior	Escala 1 : 20
Revisado 13/12/2022		A. Valarezo		Hoja 39/46
Aprobado				
		Código E02-01	Trat. Superficial Pintura Electroestática	



Nota:

- Los agujeros no acotados son pasantes con Ø5.
- Proceso: Corte, taladrado y plegado.

Tolerancia ± 0.5		Peso 15.812 kg	Plancha 1mm A36	
Fecha 12/7/2022		Nombre L. Cornejo	Carcasa Izquierda	Escala 1 : 15
Revisado 13/12/2022		A. Valarezo		
Aprobado				
		Código E02-02	Trat. Superficial Pintura Electroestática	Hoja 40/46

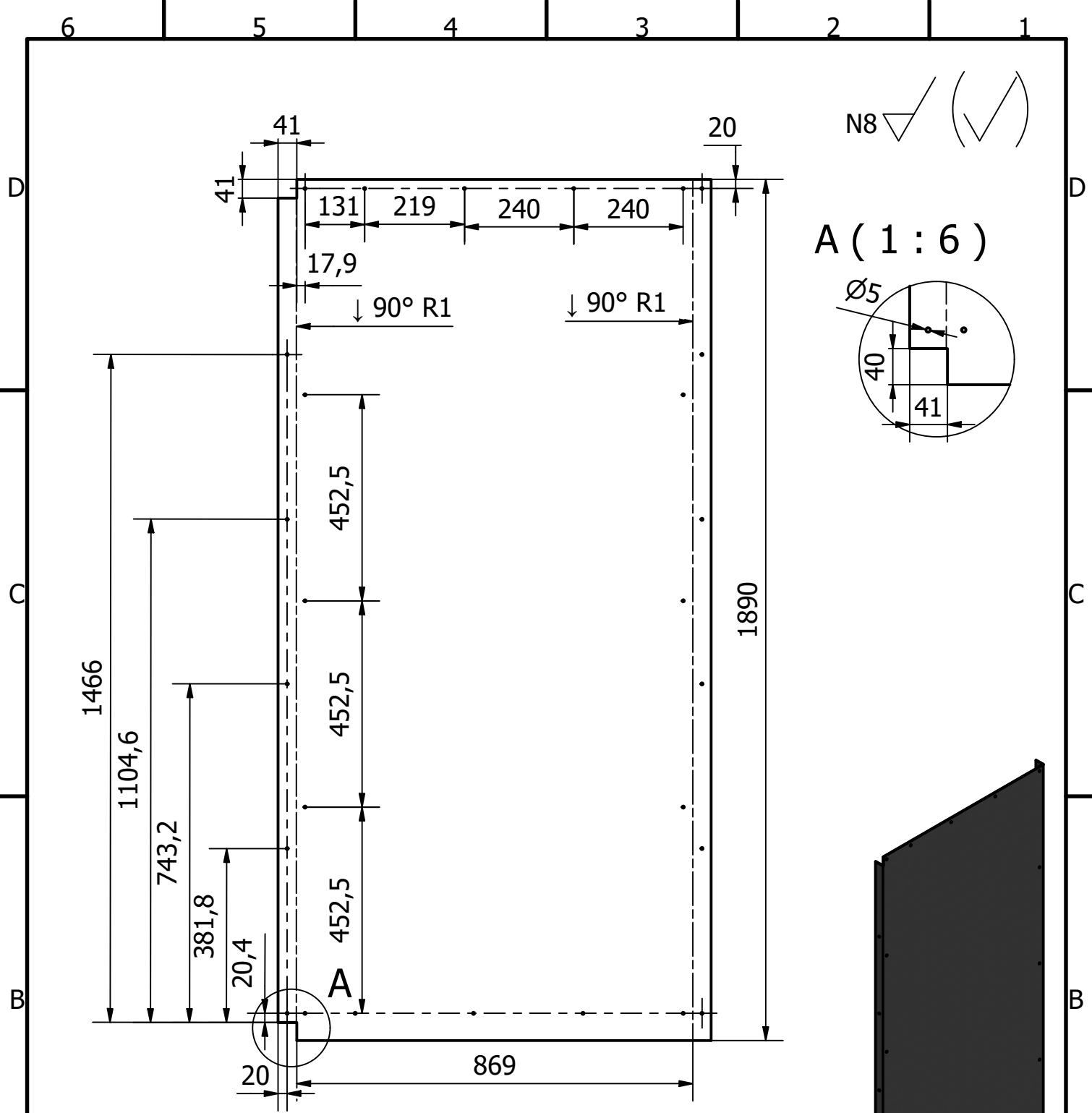


N8

Nota:

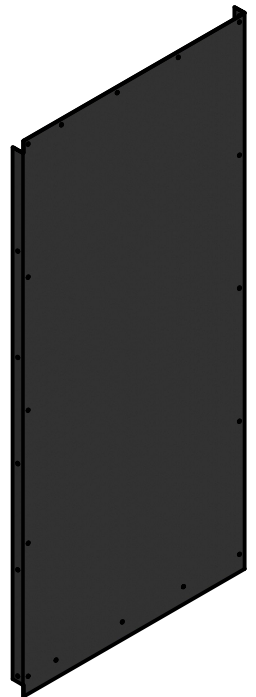
- Los agujeros no acotados son pasantes con $\varnothing 5$.
- Proceso: Corte y taladrado.

Tolerancia ± 0.5		Peso 14.754 kg	Plancha 1mm A36	
Fecha 12/8/2022		Nombre L. Cornejo	Carcasa Posterior	Escala 1 : 25
Revisado 13/12/2022		A. Valarezo		
Aprobado				
		Código E02-03	Trat. Superficial Pintura Electrostática	Hoja 41/46

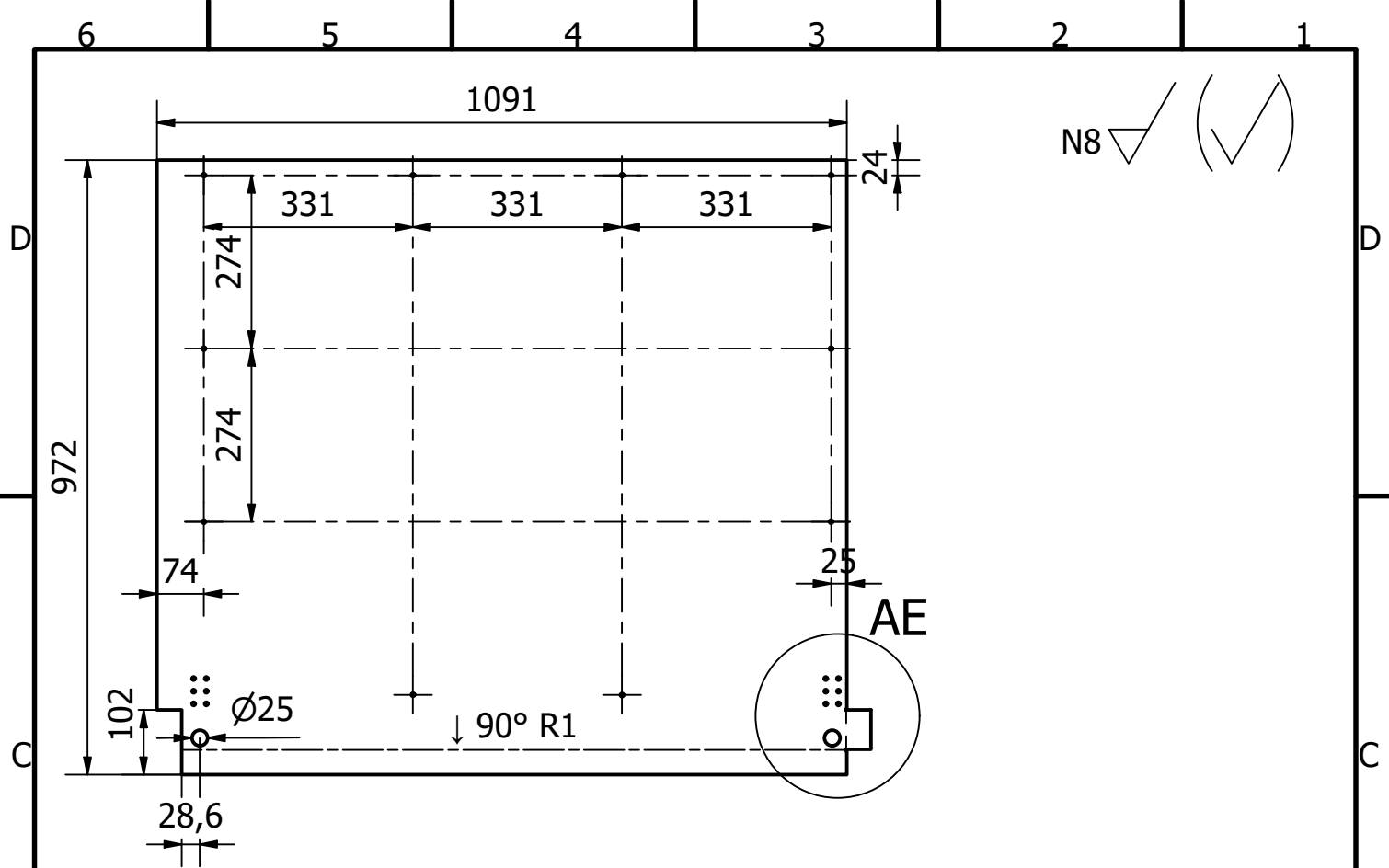


Notas:

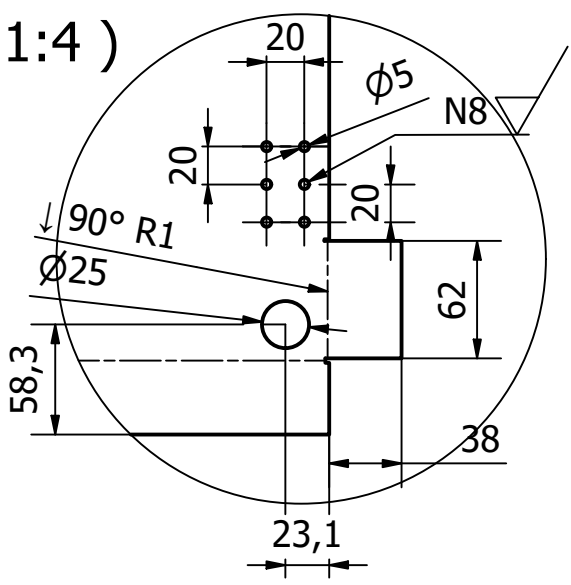
- Los agujeros no acortados son pasantes con Ø5.
- Los agujeros no acortados tienen las mismas dimensiones entre ellos que sus pares acortados.
- Proceso: Corte, taladrado y plegado.



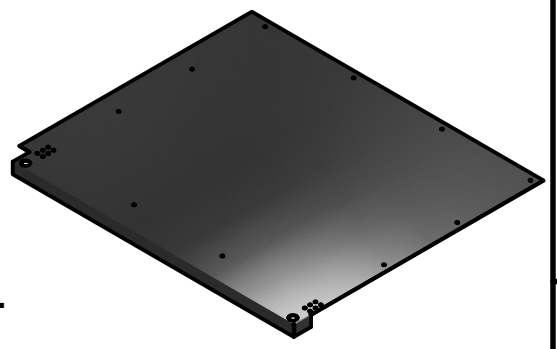
Tolerancia ± 0.5		Peso 12.819 kg		Plancha 1mm A36			
Fecha 12/8/2022		Nombre L. Cornejo		Caracasa Derecha		Escala 1 : 21	
Revisado 13/12/2022		A. Valarezo				Hoja 42/46	
Aprobado						Código E02-04	
				Código E02-04		Trat. Superficial Pintura Electroestática	



AE (1:4)



Vista Isométrica (1 : 20)



Nota:

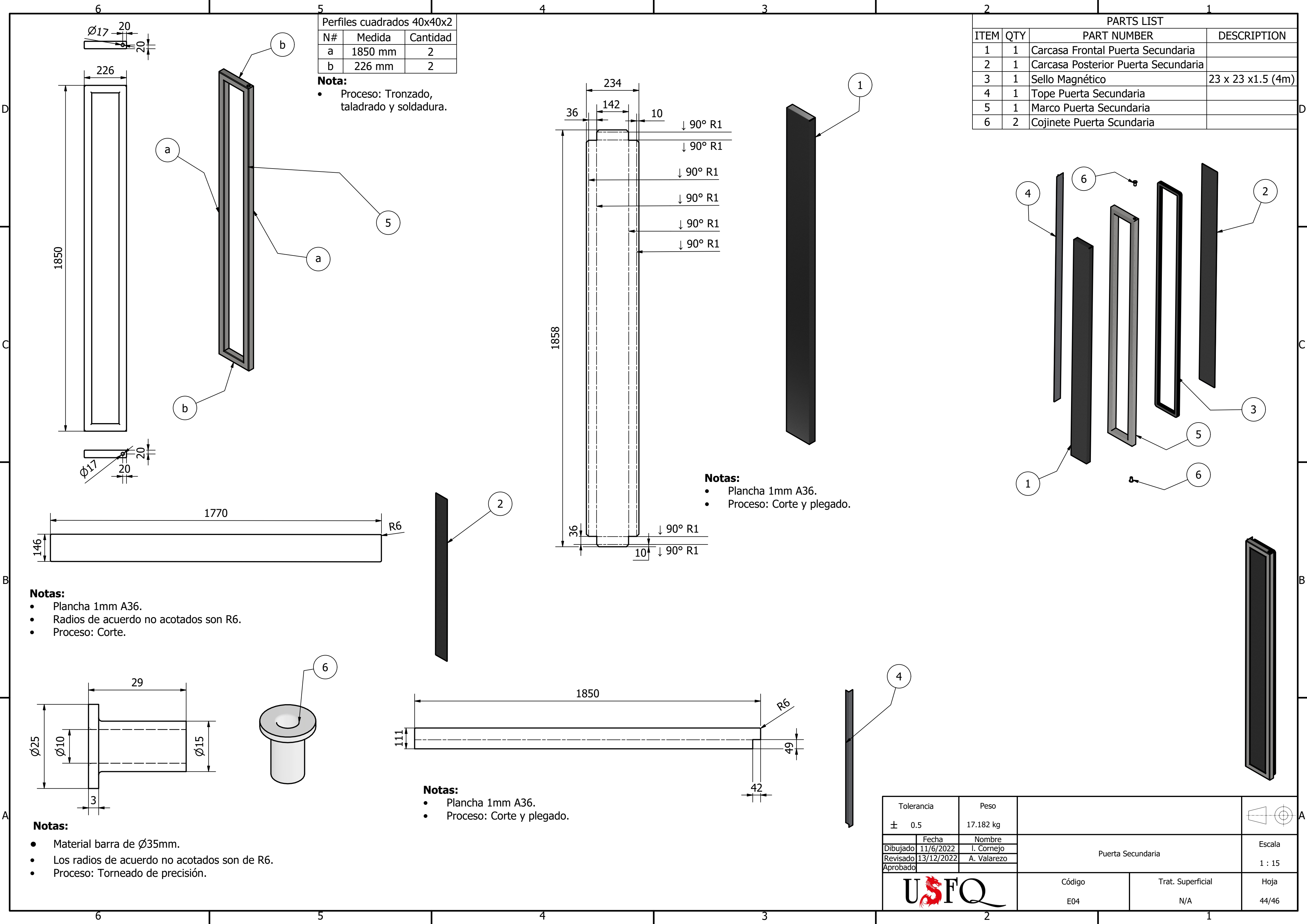
- Los agujeros no acotados son pasantes con $\varnothing 5$.
- Los agujeros no acotados tienen las mismas dimensiones entre ellos que sus pares acotados.
- Proceso: Corte, taladrado y plegado.

Tolerancia ± 0.5		Peso 7.564 kg	Plancha 1mm A36	
Fecha 12/8/2022		Nombre L. Cornejo	Carcasa Inferior	Escala 1 : 11
Revisado 13/12/2022		A. Valarezo		Hoja 43/46
Aprobado				
		Código E02-05	Trat. Superficial Pintura Electroestática	

Perfiles cuadrados 40x40x2		
N#	Medida	Cantidad
a	1850 mm	2
b	226 mm	2

Nota:
 • Proceso: Tronzado, taladrado y soldadura.

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1		Carcasa Frontal Puerta Secundaria
2	1		Carcasa Posterior Puerta Secundaria
3	1		Sello Magnético 23 x 23 x1.5 (4m)
4	1		Tope Puerta Secundaria
5	1		Marco Puerta Secundaria
6	2		Cojinete Puerta Scundaria



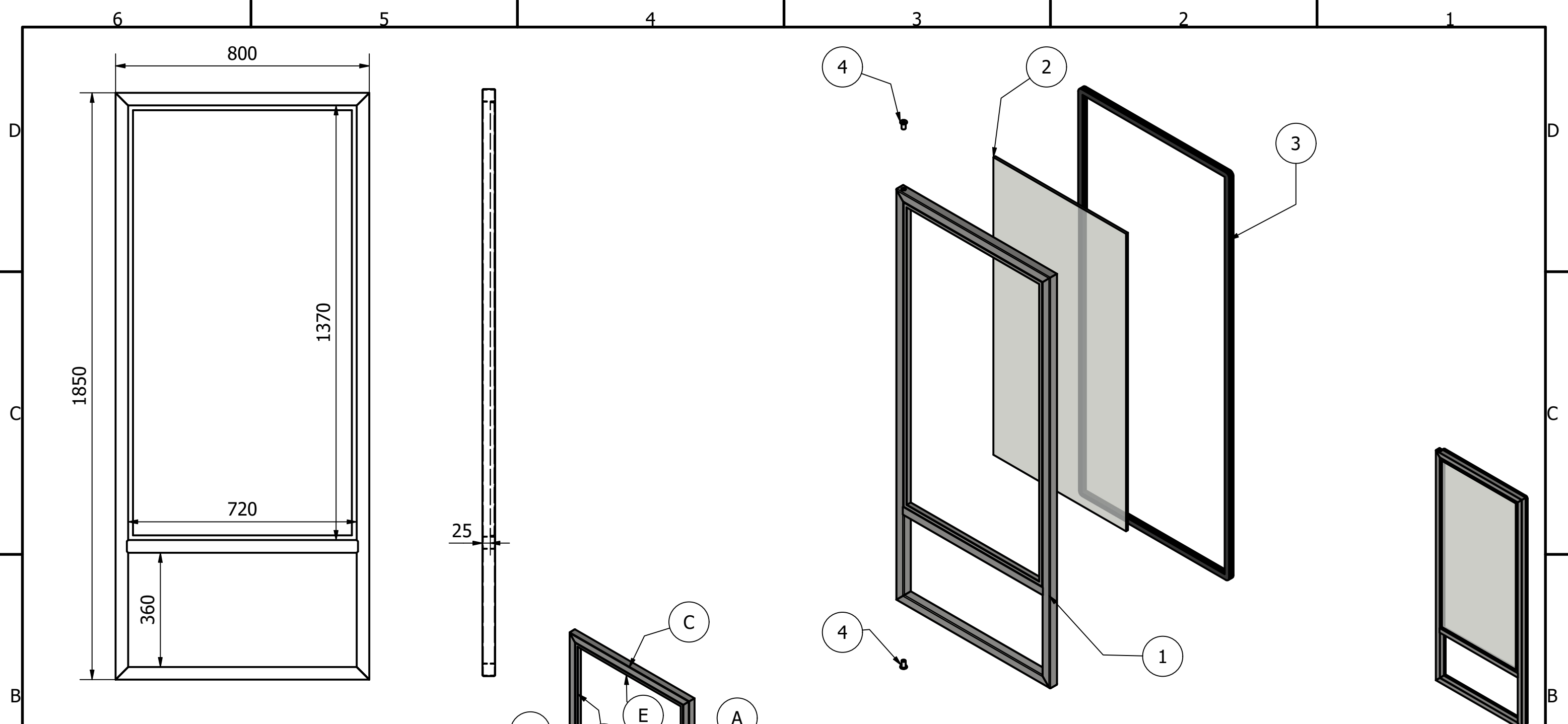
Notas:
 • Plancha 1mm A36.
 • Radios de acuerdo no acotados son R6.
 • Proceso: Corte.

Notas:
 • Plancha 1mm A36.
 • Proceso: Corte y plegado.

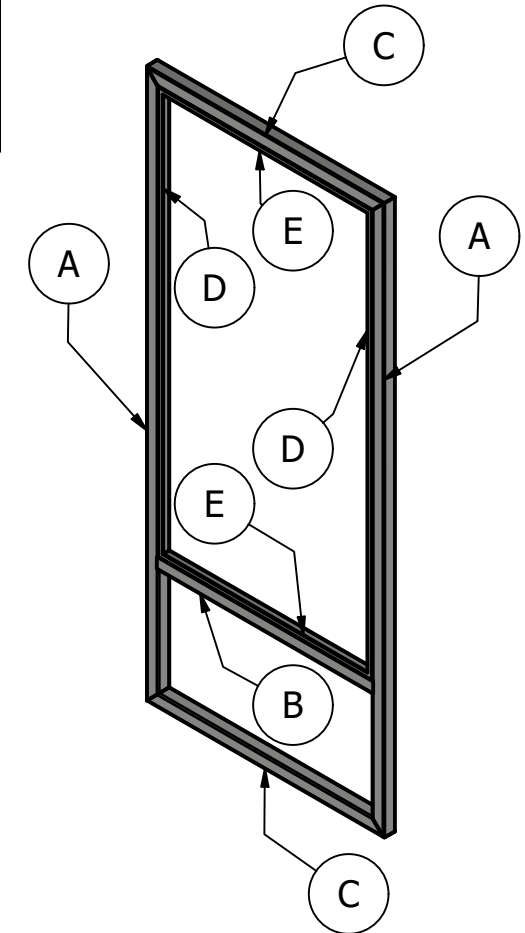
Notas:
 • Plancha 1mm A36.
 • Proceso: Corte y plegado.

Notas:
 • Material barra de $\varnothing 35\text{mm}$.
 • Los radios de acuerdo no acotados son de R6.
 • Proceso: Torneado de precisión.

Tolerancia	Peso		Escala
± 0.5	17.182 kg		
Dibujado	Fecha	Puerta Secundaria	Escala
Revisado	Nombre		
Aprobado			
		Código	Hoja
		E04	44/46
		Trat. Superficial	
		N/A	



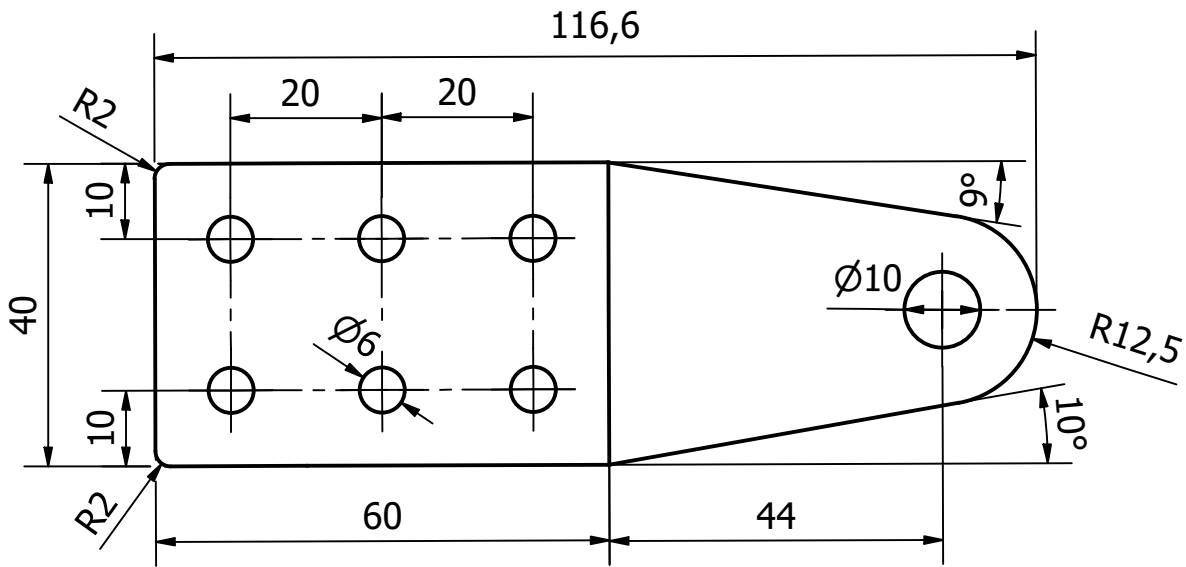
Piezas			
N#	Medida	Cantidad	Descripción
A	1850 mm	2	ISO 10799 40x40x2
B	720 mm	1	ISO 10799 40x40x2
C	800 mm	2	ISO 10799 40x40x2
D	1370 mm	2	SS 212711L15x15x3
E	720 mm	2	SS 212711L15x15x3



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Marco Puerta Principal	
2	1	Vidrio Lamindo	1340 x 690 x 10
3	1	Sello Magnético	23 x 23 x 1.5 (5.14m)
4	2	Cojinete Puerta Principal	

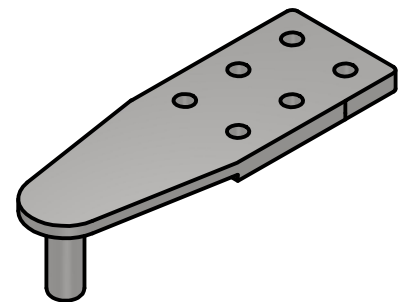
Tolerancia	Peso				
±	43.820 kg				
Dibujado	Fecha	Nombre	Puerta Principal		Escala 1 : 14
Revisado	11/6/2022	L. Cornejo			
Aprobado					
		Código	Trat. Superficial	Hoja	
		E03	N/A	45/46	

N7 ✓ (✓)



Notas:

- Los agujeros no acotados son $\varnothing 6$.
- Proceso placa: Fresado y taladrado.
- Proceso pin: Torneado de precisión.
- Unir piezas mediante soldadura.



Tolerancia		Peso		Placa 4mm A36			
± 0.2		0.177 kg					
Fecha		Nombre		Pivote Puertas Batientes		Escala	
Dibujado	12/8/2022	L. Cornejo				1 : 1	
Revisado	13/12/2022	A. Valarezo					
Aprobado							
				Código		Trat. Superficial	
				E05-01		N/A	
						Hoja	
						46/46	