

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica



**Diseño de un sistema mecatrónico para el proceso de sellado de bolsas de helado de la
empresa Helados Sazú**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura**

Orlando Alexander Gatica Valle

2014083913

Cartago, Junio 2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

ACTA DE APROBACIÓN

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiante: Orlando Alexander Gatica Valle.

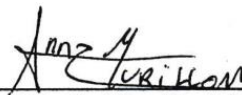
Proyecto: Diseño de un sistema mecatrónico para el proceso de sellado de bolsas de helado de la empresa Helados Sazú.

Miembros del Tribunal



Ing. Carlos Otárola Zúñiga

Profesor lector



Ing. Ana María Murillo Morgan

Profesor lector



Ing. Carlos Piedra Santamaría

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Cartago, 7 de Junio de 2019

Declaratoria de Autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema y asesoramiento técnico de miembros de Helados Sazú.

Asumo completa responsabilidad sobre el trabajo realizado y por el correspondiente contenido.

Cartago, Junio 2019

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'AAGV', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

Orlando Alexander Gatica Valle

Céd: 8-0115-0871

Resumen

En este documento se describe el desarrollo del diseño de una selladora de bolsas de helado automatizada para la microempresa Helados Sazú. Con esta se pretende aumentar el volumen de producción de dicha empresa, así como reducir la fatiga provocada por la naturaleza altamente manual del proceso actual. Lo anterior con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas involucradas, y la rentabilidad y competitividad de la empresa en el mercado. Adicionalmente, todo esto se enfoca en el impacto que el sector PYME tiene en la economía nacional al conformar un 78% de esta.

Durante el proyecto se siguió el proceso de diseño ingenieril. En primera instancia, fue necesario identificar y determinar los rangos de los parámetros óptimos para el sellado de las bolsas (temperatura, presión y tiempo) mediante un experimento con el proceso de sellado actual. Seguidamente, se plantearon los subsistemas mecánico, electromecánico, electrónico y de control para cumplir con estos parámetros y con el volumen de producción requerido de 250 helados por hora. Una vez completo el diseño, se planteó un plan de mantenimiento mediante *RCM* con el fin de mantener dichos parámetros y se redactaron los manuales de operación de la máquina.

Palabras Clave: *diseño, automatización, termosellado, PYME, RCM.*

Abstract

This document describes the design process of an automated ice cream bag sealer for the Helados Sazú micro business. This is intended to increase the production volume of said company, as well as reduce the fatigue caused by the highly manual nature of the current process. The above in order to improve the quality of life of the people involved, and the profitability and competitiveness of the company in the commercial environment. Additionally, all this is focused on the impact that the SME sector has on the national economy, since it makes up 78% of it.

During the project the engineering design process was followed. In the first instance, it was necessary to identify and determine the ranges of the optimal parameters for the sealing of the bags (temperature, pressure and time) by means of an experiment with the current sealing process. Next, the mechanical, electromechanical, electronic and control subsystems were designed to comply with these parameters and with the required production volume of 250 ice creams per hour. Once the design was completed, a maintenance plan was proposed by RCM in order to maintain these parameters and the operation manuals of the machine were drawn up.

Keywords: *design, automation, thermosealing, SME, RCM.*

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia.

Agradecimientos

Agradezco a...

...Helados Sazú (Doña Maribel Zúñiga y Don Víctor Salazar), por abrirme las puertas para desarrollar este proyecto con ellos.

...los profesores que, a lo largo de estos años de carrera, me ayudaron a adquirir los conocimientos necesarios para mi formación profesional.

...todos aquellos que me han ayudado y formado en el camino, ya que sin ellos no sería quien soy y no estaría donde estoy.

Índice General

| | |
|---|-----------|
| Acta de Aprobación | 2 |
| Declaratoria de Autenticidad | 3 |
| Resumen | 4 |
| Abstract | 5 |
| Dedicatoria | 6 |
| Agradecimientos | 7 |
| Índice General | 8 |
| Índice de Figuras | 11 |
| Índice de Tablas | 14 |
| Índice de Ecuaciones | 15 |
| Capítulo 1: Introducción | 16 |
| 1.1. Entorno del proyecto | 16 |
| 1.2. Definición del problema | 17 |
| 1.2.1. Diagrama Causa – Efecto (Ishikawa) | 17 |
| 1.2.2. Generalidades | 17 |
| 1.2.3. Justificación | 18 |
| 1.2.4. Síntesis del problema..... | 20 |
| 1.3. Enfoque de la solución..... | 20 |
| 1.4. Objetivos | 22 |
| 1.4.1. Objetivo General..... | 22 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos | 22 |
| 1.5. Alcance | 23 |
| Capítulo 2: Descripción del Proceso Productivo en Helados Sazú | 24 |
| Capítulo 3: Estado del Arte | 28 |
| Capítulo 4: Marco Teórico | 29 |
| 4.1. El termosellado de plásticos..... | 29 |
| 4.1.1. Factores del sellado | 29 |
| 4.1.2. Materiales | 30 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.3. Tipos de sellado | 31 |
| 4.1.4. Tipos de máquinas selladoras | 34 |
| 4.2. La ergonomía en el diseño | 36 |
| 4.3. Diseño de máquinas para la industria alimenticia..... | 38 |
| 4.4. Diseño mecánico | 39 |
| 4.4.1. Condiciones de carga y falla..... | 39 |
| 4.4.2. Bocines para movimiento lineal | 43 |
| 4.5. Equipo neumático | 44 |
| 4.5.1. Pistones | 44 |
| 4.5.2. Compresores | 45 |
| 4.6. Transmisión de temperatura..... | 46 |
| 4.7. Microcontroladores | 47 |
| 4.8. Control automático de temperatura..... | 48 |
| 4.8.1. Control en lazo cerrado..... | 49 |
| 4.8.2. Modelado de sistemas térmicos | 50 |
| 4.8.3. Síntesis del controlador | 51 |
| 4.8.4. Implementación de un controlador PI en tiempo discreto | 52 |
| 4.9. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad..... | 52 |
| 4.10. Indicadores económicos..... | 54 |
| Capítulo 5: Estrategia de Solución..... | 56 |
| 5.1. Determinación de parámetros de operación..... | 56 |
| 5.2. Proceso de diseño..... | 58 |
| 5.2.1. Lista de requerimientos | 58 |
| 5.2.2. Propuestas de diseño..... | 59 |
| 5.2.3. Selección de propuesta | 60 |
| 5.2.4. Descripción de funcionamiento | 64 |
| 5.2.5. Componentes mecánicos | 64 |
| 5.2.6. Componentes electromecánicos | 82 |
| 5.2.7. Componentes electrónicos | 87 |
| 5.2.8. Control automático | 96 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.9. Diagramas de flujo para los algoritmos | 99 |
| 5.3. Plan de mantenimiento..... | 102 |
| 5.4. Análisis financiero | 106 |
| Capítulo 6: Resultados | 109 |
| 6.1. Primer objetivo específico | 109 |
| 6.2. Segundo objetivo específico | 109 |
| 6.3. Tercer objetivo específico..... | 111 |
| 6.4. Cuarto objetivo específico | 112 |
| 6.5. Análisis financiero | 112 |
| Capítulo 7: Conclusiones | 113 |
| Capítulo 8: Recomendaciones | 114 |
| Capítulo 9: Referencias | 115 |
| Capítulo 10: Apéndices | 119 |
| 10.1. Apéndice A: Manuales de operación. | 119 |
| 10.2. Apéndice B: Plan de mantenimiento..... | 126 |
| 10.3. Apéndice C: Planos mecánicos..... | 127 |
| 10.4. Apéndice D: Planos eléctricos. | 128 |
| 10.5. Apéndice E: Plano neumático..... | 129 |
| Capítulo 11: Anexos | 130 |
| 11.1. Anexo A: Ficha técnica del polipropileno biorientado..... | 130 |
| 11.2. Anexo B: Propiedades mecánicas de materiales..... | 131 |
| 11.3. Anexo C: Propiedades térmicas de materiales..... | 132 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1.1. Diagrama Causa – Efecto..... | 17 |
| Figura 1.2. Proceso de diseño ingenieril. | 21 |
| Figura 2.1. Diagrama del proceso de elaboración de las paletas de helado. | 24 |
| Figura 2.2. Diagrama de la distribución del espacio. | 25 |
| Figura 2.3. Máquina mezcladora (<i>Mixer</i> 15) y congeladora (<i>Turbo</i> 8)..... | 26 |
| Figura 2.4. Máquina desmoldador (Unmold) y selladora (Sealer)..... | 26 |
| Figura 2.5. Moldes de acero inoxidable utilizados en la empresa. | 27 |
| Figura 4.1. Ejemplo de sellado por barra caliente. | 32 |
| Figura 4.2. Ejemplo de sellado continuo. | 32 |
| Figura 4.3. Ejemplo de sellado por impulso..... | 33 |
| Figura 4.4. Ejemplo de sellado por alambre caliente. | 33 |
| Figura 4.5. Ejemplo de sellado por inducción. | 34 |
| Figura 4.6. Ejemplo de empacadora y selladora horizontal. | 35 |
| Figura 4.7. Ejemplo de empacadora y selladora horizontal. | 35 |
| Figura 4.8. Altura de trabajo según la carga..... | 37 |
| Figura 4.9. Diagrama de cuerpo libre de una viga con apoyo simple y fuerzas aplicadas.. | 40 |
| Figura 4.10. Diagramas de cortante y flector de una viga..... | 40 |
| Figura 4.11. Círculo de Mohr para el elemento <i>a</i> | 42 |
| Figura 4.12. Diagrama de bocín colocado en un eje guía. | 44 |
| Figura 4.13. Diagrama de bloques de un microcontrolador genérico. | 48 |
| Figura 4.14. Diagrama de bloques de un sistema de control a lazo cerrado. | 49 |
| Figura 4.15. Respuesta experimental de un sistema térmico ante una entrada escalón. | 51 |
| Figura 5.1. Boceto de segunda propuesta de diseño (Propuesta A). | 61 |
| Figura 5.2. Boceto de tercera propuesta de diseño (Propuesta B)..... | 62 |
| Figura 5.3. Simulación de flexión para deflexión con carga de 400 N (Al20x20)..... | 65 |
| Figura 5.4. Simulación de flexión para F.S. con carga de 400 N (Al20x20). | 66 |
| Figura 5.5. Simulación de pandeo con carga de 400 N (Al20x20). | 66 |
| Figura 5.6. Modelo del carro. | 68 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.7. Esquema de montaje del sistema de poleas. | 69 |
| Figura 5.8. Resultados de simulaciones para la agarradera de banda. | 70 |
| Figura 5.9. Cojinetes para utilizar en el sistema de poleas..... | 70 |
| Figura 5.10. Resultados de simulaciones para los ejes de polea. | 71 |
| Figura 5.11. Modelo del final de carrera. | 71 |
| Figura 5.12. Modelo de la mordaza de sellado..... | 72 |
| Figura 5.13. Mordazas de sellado por utilizar. | 72 |
| Figura 5.14. DCL para ejes guía de mordazas..... | 73 |
| Figura 5.15. Dimensiones de los bocines para movimiento lineal (mm). | 74 |
| Figura 5.16. Modelos de las placas para las mordazas de sellado..... | 74 |
| Figura 5.17. Modelo de la placa para los ejes guía. | 75 |
| Figura 5.18. Modelo y simulación de los soportes para pistones..... | 75 |
| Figura 5.19. Modelo de la cuadrícula de almacenamiento..... | 76 |
| Figura 5.20. Modelo de la guía de caída. | 76 |
| Figura 5.21. Modelo de la guía de sellado..... | 77 |
| Figura 5.22. Modelo de la compuerta inferior..... | 77 |
| Figura 5.23. Modelo de la rampa inferior..... | 78 |
| Figura 5.24. Modelo del gabinete..... | 79 |
| Figura 5.25. Modelo de la caja para sensores..... | 80 |
| Figura 5.26. Modelo del panel de control..... | 80 |
| Figura 5.27. DCL del carro. | 85 |
| Figura 5.28. Circuito de las resistencias de las mordazas. | 86 |
| Figura 5.29. Circuito de conexión de la alimentación..... | 90 |
| Figura 5.30. Circuito de conexión de MCU principal con periféricos. | 90 |
| Figura 5.31. Circuito de conexión de MCU secundario con periféricos..... | 91 |
| Figura 5.32. Circuito para la conversión de 24 V a 5 V..... | 91 |
| Figura 5.33. Circuito para la conversión de 5 V a 24 V..... | 92 |
| Figura 5.34. Circuito para el control por medio de relés..... | 92 |
| Figura 5.35. Circuito de interconexión de sensores en <i>AND</i> | 93 |
| Figura 5.36. Circuito de conexión de los amplificadores de las termocuplas. | 93 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5.37. Circuito electroneumático..... | 94 |
| Figura 5.38. Comportamiento del calentamiento de las mordazas..... | 96 |
| Figura 5.39. Diagrama de bloques del sistema con el controlador..... | 97 |
| Figura 5.40. Comportamiento del sistema controlado..... | 98 |
| Figura 5.41. Diagrama de flujo del microcontrolador secundario..... | 99 |
| Figura 5.42. Diagrama de flujo del microcontrolador principal..... | 100 |
| Figura 5.43. Diagrama de flujo del botón de pausa..... | 101 |
| Figura 5.44. Diagrama de flujo del controlador de temperatura. | 101 |
| Figura 6.1. Vista delantera de la máquina diseñada. | 110 |
| Figura 6.2. Vista trasera de la máquina diseñada. | 110 |
| Figura 6.3. Diagrama de bloques del sistema con el controlador..... | 111 |
| Figura 6.4. Comportamiento del sistema controlado..... | 111 |

Índice de Tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 4.1. Funciones de transferencia de reguladores PID. | 52 |
| Tabla 4.2. Criterios de evaluación para el análisis de criticidad de equipos. | 53 |
| Tabla 5.1. Tabla morfológica para la generación de propuestas de diseño. | 60 |
| Tabla 5.2. Primera evaluación de las propuestas de diseño..... | 60 |
| Tabla 5.3. Segunda evaluación de las propuestas de diseño. | 62 |
| Tabla 5.4. Segunda evaluación de las propuestas de diseño. | 67 |
| Tabla 5.5. Lista de componentes mecánicos. | 81 |
| Tabla 5.6. Pérdidas de presión en los elementos del sistema. | 84 |
| Tabla 5.7. Lista de componentes electromecánicos. | 86 |
| Tabla 5.8. Comparación de candidatos para microcontrolador principal..... | 87 |
| Tabla 5.9. Lista de componentes electrónicos. | 95 |
| Tabla 5.10. Datos para la determinación de la función de transferencia. | 96 |
| Tabla 5.11. Requisitos del controlador. | 97 |
| Tabla 5.12. Formato de codificación de equipos. | 102 |
| Tabla 5.13. Lista de equipos con su codificación respectiva..... | 102 |
| Tabla 5.14. Tabla de criticidad para selladora (2.4.1). | 103 |
| Tabla 5.15. Ficha técnica de selladora (2.4.1). | 104 |
| Tabla 5.16. Funciones y fallas funcionales del dispositivo diseñado..... | 105 |
| Tabla 5.17. Costo total del proyecto. | 106 |
| Tabla 5.18. Datos necesarios para el análisis financiero. | 106 |
| Tabla 5.19. Flujo de caja acumulado para el caso de la selladora automática. | 107 |
| Tabla 5.20. Flujo de caja acumulado para el caso de la selladora manual. | 108 |
| Tabla 6.1. Lista de parámetros óptimos de operación. | 109 |
| Tabla 6.2. Lista de parámetros del controlador. | 109 |

Índice de Ecuaciones

| | |
|---------------------|----|
| Ecuación 4.1 | 39 |
| Ecuación 4.2 | 40 |
| Ecuación 4.3 | 41 |
| Ecuación 4.4 | 41 |
| Ecuación 4.5 | 41 |
| Ecuación 4.6 | 41 |
| Ecuación 4.7 | 42 |
| Ecuación 4.8 | 43 |
| Ecuación 4.9 | 43 |
| Ecuación 4.10 | 44 |
| Ecuación 4.11 | 45 |
| Ecuación 4.12 | 45 |
| Ecuación 4.13 | 46 |
| Ecuación 4.14 | 46 |
| Ecuación 4.15 | 46 |
| Ecuación 4.16 | 47 |
| Ecuación 4.17 | 49 |
| Ecuación 4.18 | 50 |
| Ecuación 4.19 | 50 |
| Ecuación 4.20 | 50 |
| Ecuación 4.21 | 50 |
| Ecuación 4.22 | 50 |
| Ecuación 4.23 | 50 |
| Ecuación 4.24 | 51 |
| Ecuación 4.25 | 52 |
| Ecuación 4.26 | 52 |
| Ecuación 4.27 | 55 |

Capítulo 1: Introducción

1.1. Entorno del proyecto

El proyecto se realizó en Heladería Sazú, la cual es una microempresa familiar (PYME N° 46844) dedicada a la fabricación y comercialización de paletas de helados de yogurt *light* con características saludables. Está ubicada en San Francisco de Heredia e inició sus labores en el año 2015; desde ese entonces ha crecido en cuanto a la calidad de sus productos y al volumen de producción.

La misión de la empresa es: “somos una empresa familiar que provee meriendas a base de cultivo vivo de yogurt, ricas en su sabor y saludable en su composición nutritiva, con la finalidad de que el cliente consuma salud en forma de helado”. Por otro lado, la visión de la empresa es: “seremos la empresa de mayor producción y predilección en proporcionarle al mercado meriendas a base de yogurt saludables nutritivamente, con rico sabor y mediante la producción de alta calidad, amigable con el ambiente y con un compromiso social activo” (Zúñiga, 2018).

Por otro lado, para describir la industria de los helados en Costa Rica, primero se debe mencionar que en el país el sector PYME compone un 78% de la economía (MEIC, 2017). De estas, el 12% es del sector industria, de las cuales el 36% se dedica a la producción de alimentos; esto representa un 4% de la economía nacional (MEIC, 2017). Hablando del empleo, el sector industrial brinda el 24% del empleo total de las PYME, lo que corresponde a 7 540 empleos (MEIC, 2017). Además, las PYME productoras de helados abarcan un 3% del mercado, lo que representa \$1.5 millones en ventas anuales; el mercado está abarcado en un 85% por la empresa Dos Pinos y en un 12% por la empresa POPS (Vindas Quirós, 2014).

En cuanto a la tecnología en las PYME, cabe destacar que en general este sector se caracteriza por un grave rezago tecnológico que se evidencia, según (Muñoz Marín, 2015), con el porcentaje de créditos enfocados a innovación tecnológico; de acuerdo con una investigación realizada por este autor, de los créditos brindados a este sector, tan solo el 0.2% es destinado a la innovación tecnológica.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Diagrama Causa – Efecto (Ishikawa)

En la Figura 1.1 se puede observar el diagrama causa – efecto del problema identificado.

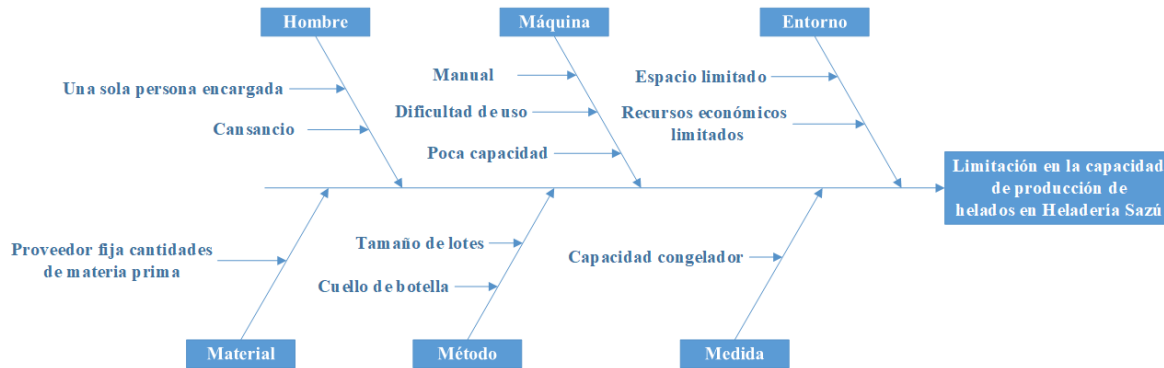


Figura 1.1. Diagrama Causa – Efecto.
Fuente: elaboración propia.

1.2.2. Generalidades

En primera instancia, el proceso productivo de la empresa está dividido en siete áreas principales: confección de la mezcla base, mezclado a alta velocidad, enmoldado, congelado, desmoldado, embolsado y sellado. Cabe destacar que los procesos de enmoldado y embolsado son completamente manuales y los de sellado y desmoldado son en gran parte manuales; además, la operación de las máquinas y la transición de producto de una a otra se realiza manualmente.

Actualmente, en la mayoría de las etapas se puede procesar un máximo de 50 helados simultáneamente; sin embargo, en la última, se limita a un helado a la vez. Además de provocar un paro en la producción para poder terminar los productos, la carga de trabajo de esta etapa es alta y recae sobre una persona. Adicionalmente, todo el proceso requiere de la manipulación y el traslado manual de los lotes de producto entre máquinas, lo que a su vez aumenta el tiempo requerido para terminar el producto.

El proceso se ve limitado por varios aspectos, de los cuales los principales están directamente relacionados con los procedimientos manuales utilizados y los recursos económicos y el espacio disponible. Por otro lado, los equipos utilizados en la empresa tienen un alto costo debido a que no son fabricados en el país; esto también provoca un largo período de espera para la adquisición de equipos en caso de expansión o reemplazo. La baja oferta a nivel internacional y nula a nivel nacional de equipos que cumplan con la necesidad de compromiso ambiental viene a agravar este punto, ya que la empresa pretende un desarrollo económico con compromiso ambiental y social.

En cuanto a la producción, en la actualidad el volumen es variable. El promedio mensual es de 2 000 helados, lo que genera un ingreso de 2.5 millones de colones, sin embargo, las ventas pueden aumentar hasta a 5 000 helados en meses en los que se asiste a ferias u otras actividades. Por otro lado, la capacidad máxima de congelación de helados es de 250 helados por hora, mientras que el embolsado y sellado alcanza un máximo de 90 helados por hora, por lo que la salida del producto terminado se ve limitada en etapas de periodos de alta producción; cabe destacar que el embolsado manual es realizable por varias personas simultáneamente, mientras que el sellado está limitado a una. Además, la fórmula de los helados está en proceso de mejora para agregarle más características saludables, lo que aumentará su costo de producción por concepto de materias primas en un 40 %.

1.2.3. Justificación

El desarrollo económico nacional está directamente ligado al avance del sector PYME, ya que según (MEIC, 2017), el 78% de la economía nacional está compuesta por las micro, pequeñas y medianas empresas. Además, de acuerdo con ese mismo ente, el encadenamiento productivo y laboral de este sector implica que la mejora productiva en un área determinada tendrá repercusiones directas sobre las otras áreas productivas; el actual 24% de la fuerza laboral en el sector PYME tenderá a crecer también con el sector. Esto es por lo que, a pesar de que el sector específico en cuestión corresponda, según el mismo estudio, a un 4% de la economía nacional, impulsar el desarrollo de en una empresa como

Heladería Sazú no solo se traducirá en un aumento de la calidad de vida para los implicados directos, sino que, a largo plazo, beneficiará a la economía del país.

Otro factor importante para considerar consiste en la porción del mercado de los helados que ocupa el sector PYME a nivel nacional. Según (Vindas Quirós, 2014) esta corresponde al 3% del mercado, con ingresos anuales aproximados de \$1.5 millones. Un aumento en la productividad y competitividad permitirá un incremento de los ingresos del sector, así como el crecimiento de la porción del mercado abarcada actualmente. Esto beneficiará tanto al sector productivo como a la economía nacional y al consumidor, ya que tendrá a disposición productos de mejor calidad y de producción nacional. Adicionalmente, el aumento de la productividad también tendrá un impacto en el valor de las exportaciones del sector PYME; actualmente, según (PROCOMER, 2017), a pesar de que el 60% de las empresas exportadoras son de este sector, esto se traduce tan solo en un 14% del valor de las exportaciones.

En el caso de estudio y a nivel general, el sector PYME se ve sumamente limitado debido al poco acceso a la tecnología. Esto está respaldado por un estudio realizado por (Muñoz Marín, 2015) en el que se resalta el rezago tecnológico de este sector y lo ejemplifica con que, en ese año, tan solo el 0.2% de los préstamos financieros del sector fue destinado a la innovación tecnológica; las causas de este fenómeno radican en el limitado acceso económico y en la falta del asesoramiento adecuado en el tema. Viendo la tecnología como oportunidad para la mejora productiva y de la competitividad, este rezago tecnológico acentúa la necesidad de desarrollar tecnología adaptada a las necesidades específicas de estas empresas.

Por último, se debe mencionar que el desarrollo de tecnología para el sector PYME también impulsaría el surgimiento de nuevas empresas centradas en el diseño e implementación de estos nuevos sistemas productivos. Esto se contrasta con la actualidad, ya que gran parte de la maquinaria utilizada por el sector debe ser importada debido a que estas no son fabricadas a nivel nacional; esto se traduce en largos periodos de espera y procesos de importación, además del significativo aumento en el costo final de los dispositivos que puede ser de hasta un 100% (Zúñiga, 2018). A modo de ejemplo, un sistema similar al que se desea desarrollar puede llegar a tener un valor de \$20 000 en diferentes

empresas a nivel internacional, por lo que a la hora de importarlo el monto final sería de \$40 000; esta suma es prohibitiva para el acceso económico de la empresa en cuestión y del sector en general (INGEMAQ, 2018).

1.2.4. Síntesis del problema

El proceso productivo de la empresa está limitado por los recursos económicos y la carencia de tecnología apropiada, principalmente en el proceso de sellado de bolsas de helado. El desarrollo económico y permanencia de la empresa en el mercado están condicionadas a la mejora de estos aspectos; esto es agravado por el déficit productivo del 175 % con respecto a la capacidad de congelamiento de los helados y la de sellado.

1.3. Enfoque de la solución

El alto costo (\$20 000 más impuestos de nacionalización) de importación de las máquinas y su funcionamiento no coordinado fue atacado en este proyecto. Se pretendió plantear un diseño automatizado para la línea de producción enfocado en el sellado. Se escogió esta por generar el cuello de botella en el proceso productivo; a pesar de que el embolsado también es realizado manualmente, esta toma menos tiempo y es realizable por varias personas simultáneamente.

Se complementó el diseño con la prevista de implementación de monitoreo de los equipos mediante *IoT (Internet of Things)*. Además, en términos generales el procedimiento seguido fue el proceso de diseño ingenieril, el cual puede ser observado en la Figura 1.2. Este consiste en el estudio del problema para la determinación de los requerimientos de este, con el fin de plantear una solución que logre solucionarlo adecuadamente; esto se hizo tanto para la parte mecánica como para la electrónica y de control automático.

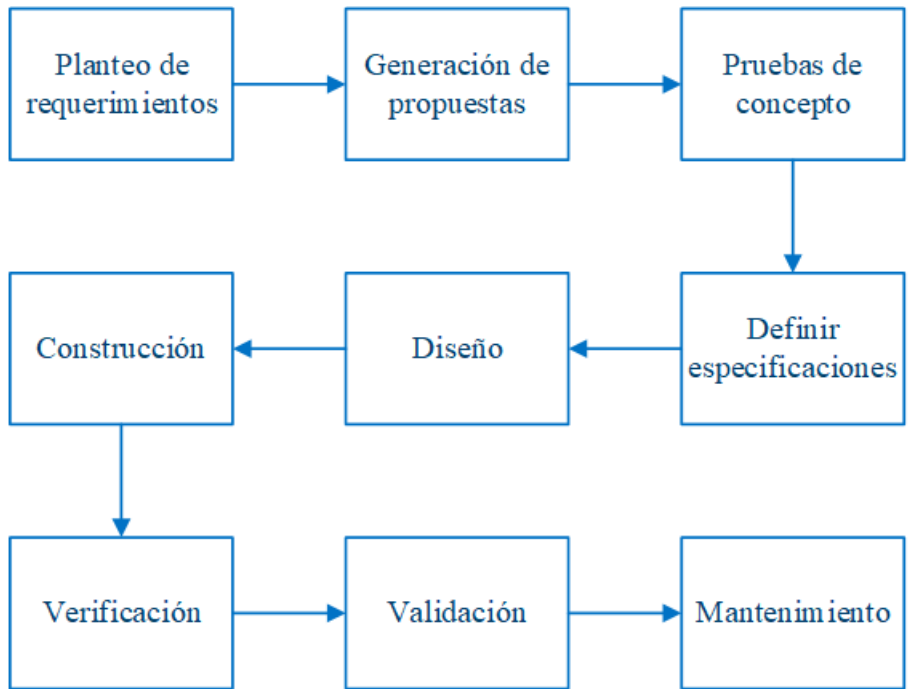


Figura 1.2. Proceso de diseño ingenieril.
Fuente: elaboración propia.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un sistema mecatrónico para el sellado automático de 250 helados por hora bajo la norma HACCP para la empresa Helados Sazú.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Determinar los parámetros óptimos de temperatura, presión y tiempo del sellado de las bolsas de los helados que garanticen un adecuado funcionamiento del sistema mecatrónico.
 - a. Entregable: lista de parámetros óptimos.
2. Diseñar un subsistema electromecánico que garantice el adecuado sellado de helados bajo los parámetros óptimos de operación determinados.
 - a. Entregable: modelos 3D, ensambles, planos mecánicos, planos eléctricos.
3. Diseñar un subsistema de control automático para el subsistema electromecánico que mantenga los parámetros óptimos de operación.
 - a. Entregable: controlador sintetizado, diagramas de control, diagramas de flujo.
4. Formular un plan de mantenimiento que asegure el correcto funcionamiento de la máquina selladora.
 - a. Entregable: plan de mantenimiento que contemple los rangos de operación adecuados, manuales de operación.

1.5. Alcance

Este proyecto se centra en la etapa de diseño de un dispositivo automatizado para el proceso de sellado de bolsas de helado; las posteriores etapas de prototipado e implementación no son incluidas. Sin embargo, se pretende que durante el desarrollo de este se planteen todos los diseños necesarios para que la implementación se pueda iniciar una vez acabado el proyecto. Adicionalmente, los diseños desarrollados están basados en las necesidades y condiciones específicas de la empresa Helados Sazú y de sus procesos productivos, por lo que las decisiones de diseño tomadas se ajustan a estas.

Para el desarrollo del proyecto se dispone de un periodo de 16 semanas y de la colaboración de los miembros de la empresa y de los miembros del tribunal evaluador.

Capítulo 2: Descripción del Proceso Productivo en Helados Sazú

La empresa Helados Sazú se dedica a la elaboración de paletas de helado de yogurt con alto contenido nutricional. En sus inicios, su producción se limitaba al empleo de la base de yogurt comprada a terceros, sin embargo, recientemente se asumió la producción del yogurt. Por lo tanto, la empresa se divide en dos ramas principales:

- Producción de yogurt: consiste en la elaboración de la base de yogurt para la elaboración de las paletas de helado.
- Producción de paletas de helado: se realiza la adición del contenido frutal a la base de yogurt y, a partir de esta mezcla, se elaboran los helados.

Debido al enfoque del proyecto, se ahondará en la producción de las paletas de helado. En la Figura 2.1 se observa el diagrama del proceso productivo actual. Se puede apreciar que, actualmente, seis de las ocho etapas logran producir 250 helados por hora, mientras que las últimas dos etapas son capaces de procesar tan solo 90 helados por hora. Esto tiene como consecuencia que se desaproveche la capacidad de producción de las primeras etapas de la línea y que se limite la salida de producto a 700 unidades por día.

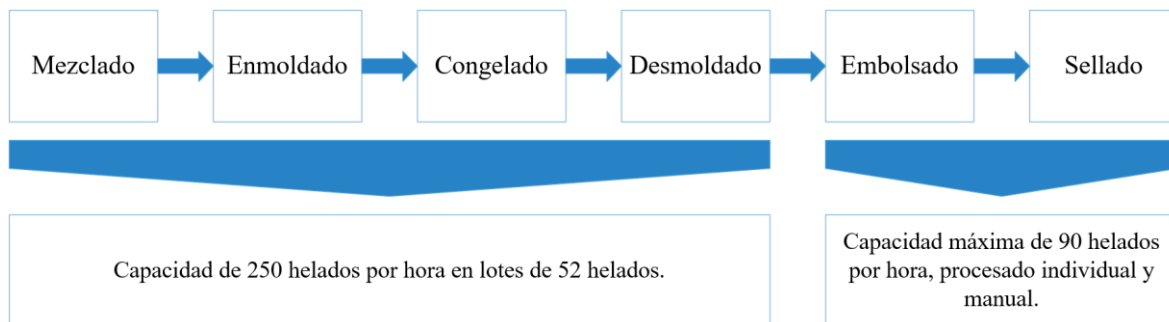


Figura 2.1. Diagrama del proceso de elaboración de las paletas de helado.
Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, debido a la naturaleza de las ventas de la empresa, deben ser capaces de suplir lotes de entre 3000 y 5000 helados para ferias. Con la capacidad productiva actual, esto implica entre cuatro y siete días de trabajo; además, se debe considerar que las etapas de embolsado y sellado conllevan una importante carga de trabajo; sin embargo, la etapa de

sellado implica la mayor carga, ya que solo puede ser realizada por una persona a la vez y el dispositivo utilizado no cuenta con características ergonómicas. Otro factor por considerar es el almacenamiento del producto terminado, ya que los primeros lotes producidos deben permanecer en congeladores hasta que llega el momento de la venta.

En cuanto a la distribución del espacio en la empresa, en la Figura 2.2 se puede observar un croquis de la planta. Los bloques A, B y C corresponden a las máquinas del proceso actual (mezcladora, congelador y desmoldador, respectivamente); el bloque D corresponde al espacio disponible para la embolsadora y selladora por diseñar, sus dimensiones son 175x90 cm. Adicionalmente, en la Figura 2.3 y la Figura 2.4 se observan las máquinas empleadas en los procesos mencionados, todas de la marca Finamac, mientras que en la Figura 2.5 se encuentran los moldes utilizados.

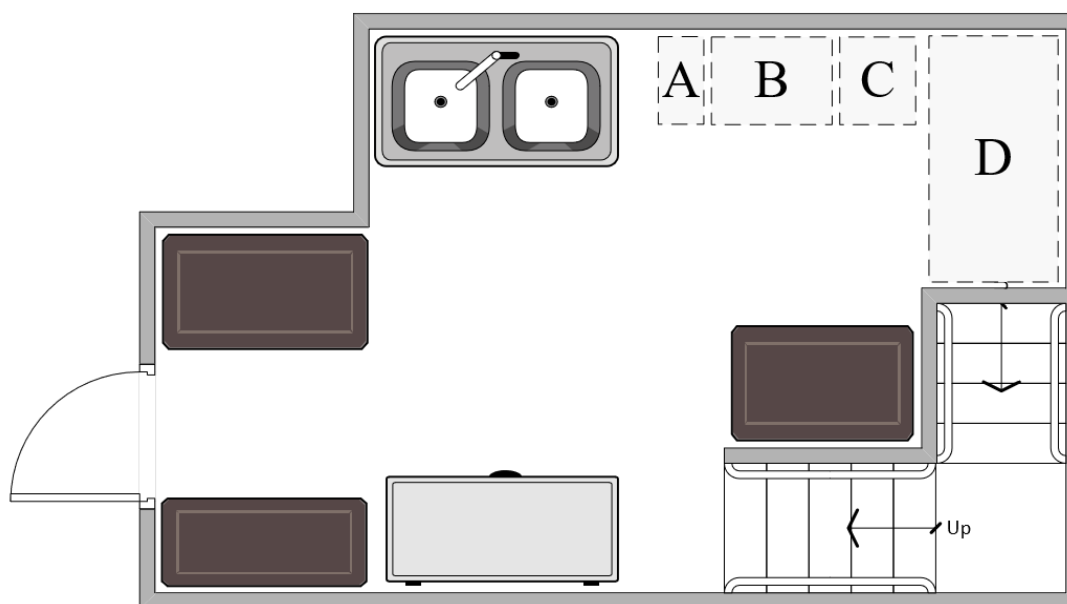


Figura 2.2. Diagrama de la distribución del espacio.
Fuente: elaboración propia.



Figura 2.3. Máquina mezcladora (*Mixer 15*) y congeladora (*Turbo 8*).
Fuente: elaboración propia.

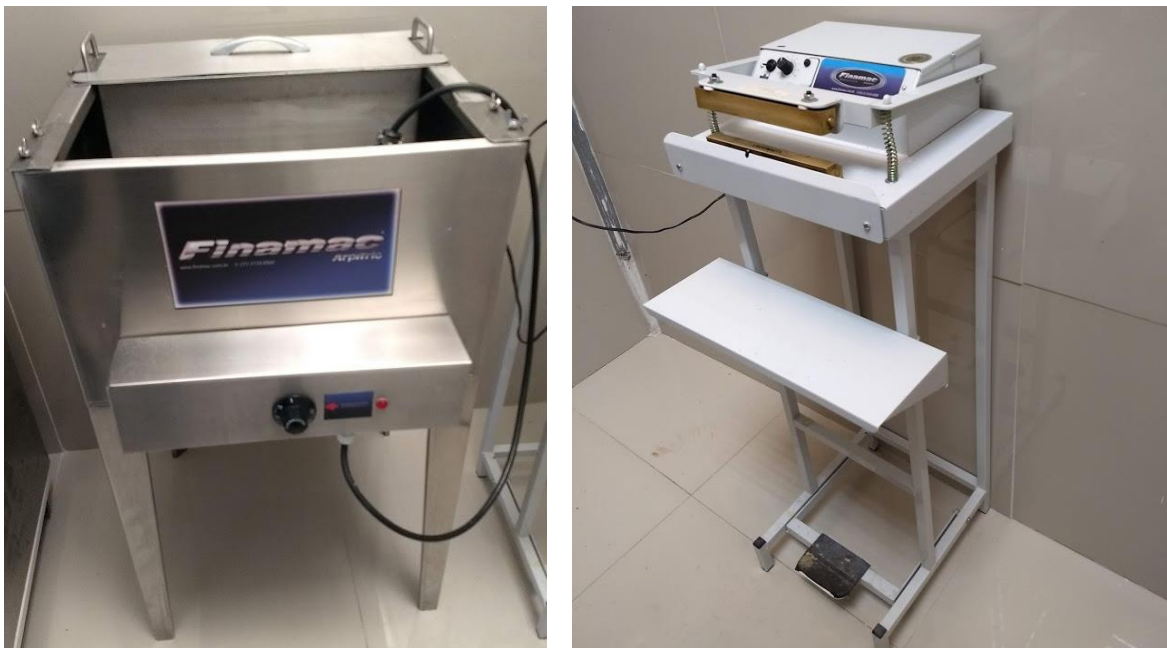


Figura 2.4. Máquina desmoldador (*Unmold*) y selladora (*Sealer*).
Fuente: elaboración propia.



Figura 2.5. Moldes de acero inoxidable utilizados en la empresa.
Fuente: elaboración propia.

Capítulo 3: Estado del Arte

La industria de los helados de paleta a nivel nacional ocupa un 1% del mercado (Vindas Quirós, 2014); de estas, el sector PYME representa 3% (Vindas Quirós, 2014). Además, se registra que el grado de desarrollo tecnológico a nivel de pequeña empresa es sumamente bajo (Muñoz Marín, 2015). Este aspecto cobra relevancia al establecer que, en el país, existe un bajo nivel de maquinaria, o empresas que se dediquen a su desarrollo, para abordar este sector productivo. Como ejemplos en cuanto a la fabricación de empacadoras y selladoras nacionales se puede mencionar INDELSA y MULTIVAC; sin embargo, estas máquinas están pensadas para una escala productiva alta y en muchos casos es maquinaria importada.

A nivel internacional, países como Colombia y Brasil presentan un mayor desarrollo en cuanto a la producción de este tipo de máquinas. Empresas como Finamac (Brasil) e Ingemaq (Colombia) ofrecen mayor variedad de maquinaria con más opciones de escala productiva (FINAMAC, 2018) (INGEMAQ, 2018). Sin embargo, los altos costos de importación impiden que las pequeñas empresas puedan aprovechar este tipo de oportunidades.

Por otro lado, un aspecto que fomenta el desarrollo consiste en las investigaciones o trabajos universitarios relacionados con el diseño de empacadoras y selladoras. Aquí se puede mencionar casos como los de (Sánchez & Monroy, 2016), (Chio Cho, Tibaduiza Burgos, & Rivera Martínez, 2011), (Bedoya Buenaño & Quisirumbay Gaibor, 2007) y (Castillo González, Figueroa Hernández, & Pérez Cruz, 2006), realizados en Colombia, Ecuador, y México, respectivamente; en estos, se plantean diseños de embolsadoras y sellado. Esto destaca la relevancia de la intervención de las universidades en el desarrollo empresarial al fomentar proyectos de diseño de máquinas que se ajustan a las necesidades específicas de cada empresa.

Capítulo 4: Marco Teórico

4.1. El termosellado de plásticos

El termosellado de plásticos es el proceso de soldado de un termoplástico a otro mediante calor y presión (Hernández, 2013). Existen dos métodos principales: el sellado directo y el sellado por inducción. El primero utiliza barras de metal a una temperatura determinada para aplicar presión sobre un área del plástico, mientras que el segundo emplea electromagnetismo para generar el calor (Lana Tarridas, 2016).

En términos generales, para realizar el termosellado se debe calentar las caras de una película plástica que se encuentran en contacto hasta que estas se fusionen. Posteriormente, es necesario que la unión se enfríe para que la unión se solidifique (POLINTER, 2017).

4.1.1. Factores del sellado

Para asegurar un sellado adecuado que garantice la integridad del producto, es necesario tomar en cuenta los tres factores clave del termosellado: temperatura, presión y tiempo. Estos factores están interrelacionados, lo que implica que cualquier variación en uno afectará a los otros y, finalmente, la calidad del sello (POLINTER, 2017) (SPGroup, 2018).

4.1.1.1. Temperatura

La temperatura del sellado permite la fusión del material. Una temperatura excesiva puede causar que el empaque presente quemaduras; una temperatura inferior a la necesaria impedirá la unión del material, lo que provocaría empaques abiertos y sellos que no son capaces de mantener el producto (Castro, 2018).

Se debe tener en cuenta que aspectos como la composición del material del empaque, el grosor de la película y las propiedades de las barras selladoras pueden afectar directamente la temperatura de sellado. Esto se debe a que siempre se debe garantizar que el calor sea transferido eficazmente a la película y estas propiedades pueden modificar la adecuada transferencia del calor (Castro, 2018).

4.1.1.2. Tiempo

Un mayor tiempo de sellado implica que se transferirá más calor a las películas por sellar. Al aumentar la temperatura de sellado es necesario disminuir el tiempo de exposición para que la calidad del sello se mantenga. Esto entra en juego a la hora de cambiar la velocidad de producción, ya que un aumento de la velocidad implicará una disminución del tiempo de sellado y requerirá un aumento de la temperatura; de manera similar, al disminuir la velocidad de producción, se aumenta el tiempo de sellado, por lo que es necesario ajustar la temperatura (Castro, 2018).

4.1.1.3. Presión

La presión garantiza que las películas a sellar estén unidas adecuadamente al aplicar la temperatura adecuada por el tiempo necesario. Adicionalmente, la geometría de las mordazas tiene un efecto directo en la distribución de la presión y la temperatura a lo largo del área de sellado, por lo que su adecuada determinación permite obtener un sello satisfactorio. Se debe tomar en cuenta que la meta de la aplicación de presión es proporcionar el mayor esfuerzo cortante sin fracturar la película (Castro, 2018).

4.1.2. Materiales

En cuanto a los materiales utilizados para el empaque flexible de productos mediante el termosellado, se pueden mencionar principalmente los siguientes:

4.1.2.1. Celofán

Polímero derivado de la celulosa que tiene un aspecto de película fina, transparente, flexible, resistente, biodegradable y susceptible a la humedad (la absorbe). En la industria alimenticia se utiliza para el empaque de productos que no sean afectados por variaciones en la humedad. Adicionalmente, es apto para grandes velocidades de sellado (Castillo González, Figueroa Hernández, & Pérez Cruz, 2006).

4.1.2.2. Nylon

Es un polímero sintético con alta tenacidad, rigidez, buena resistencia a la abrasión y buena resistencia al calor. Entre sus ventajas se encuentran la posibilidad de hervir la bolsa con alimentos adentro y la baja transmisión de olor. Sin embargo, su costo puede ser hasta tres veces mayor que el de otras películas como el polietileno y el poliuretano (Castillo González, Figueroa Hernández, & Pérez Cruz, 2006).

4.1.2.3. Polietileno

Es un material blanquecino frecuentemente fabricado en finas láminas transparentes. Es tenaz, flexible y de superficie blanda. Se funde aproximadamente a 110°C, dependiendo de su composición específica. Entre sus ventajas se puede mencionar la resistencia química, falta de olor, poca permeabilidad, ligereza y excelentes propiedades eléctricas (Castillo González, Figueroa Hernández, & Pérez Cruz, 2006) (Almonacid Mendoza, 2012).

4.1.2.4. Polipropileno

Es el plástico de menor densidad utilizado en aplicaciones de envasado. En comparación con el polietileno, su variedad biorientado es más transparente, más rígido, más resistente, menos permeable ante gases y humedad y tiene un punto de fusión más elevado (Castillo González, Figueroa Hernández, & Pérez Cruz, 2006).

El polipropileno biorientado se obtiene cuando la película de polipropileno se extruye y se estira tanto en la dirección de la máquina como en la dirección transversal (PACKSYS Academy, 2018). En el Anexo 11.1 y en (BELCA Packaging, 2018) se pueden encontrar las propiedades del polipropileno biorientado utilizado en la empresa.

4.1.3. Tipos de sellado

4.1.3.1. Por barra caliente

Emplea uno o más elementos calientes para transmitir calor directamente al material por sellar. Pueden ser barras, planchas o troqueles y pueden poseer una capa antiadherente para reducir los residuos (Hernández, 2013).

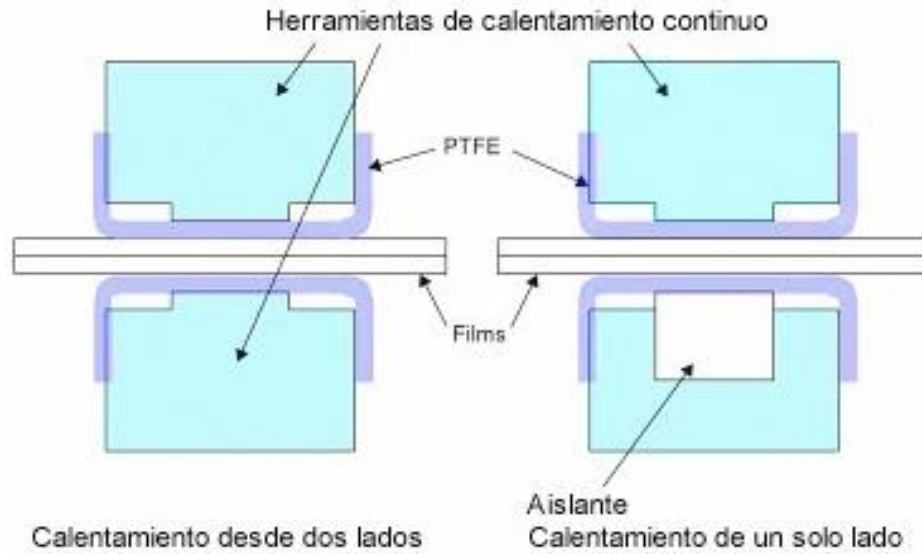


Figura 4.1. Ejemplo de sellado por barra caliente.
Fuente: (Hernández, 2013).

4.1.3.2. Continuo

Utilizan correas en movimiento sobre los elementos de calefacción con el fin de obtener un sellado longitudinal. Existen versiones verticales y horizontales (Hernández, 2013).



Figura 4.2. Ejemplo de sellado continuo.
Fuente: (Hernández, 2013).

4.1.3.3. Por impulso

Similar al sellado por barra caliente. La principal diferencia radica en que solo se genera calor en el momento del sellado (Hernández, 2013).

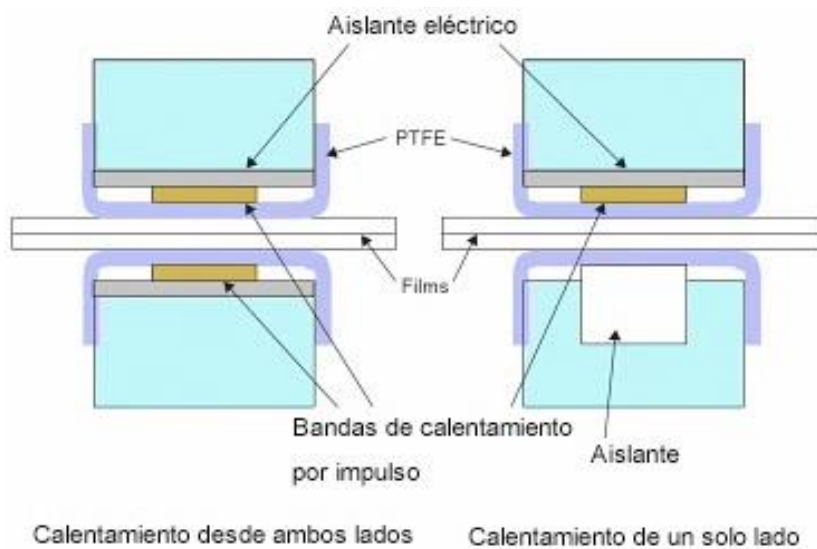


Figura 4.3. Ejemplo de sellado por impulso.
Fuente: (Hernández, 2013).

4.1.3.4. Por alambre caliente

Emplea un alambre caliente que corta y une las superficies (Hernández, 2013).



Figura 4.4. Ejemplo de sellado por alambre caliente.
Fuente: (Hernández, 2013).

4.1.3.5. Por inducción

Consiste en un método sin contacto en el que se calienta un disco metálico, presente en la tapa, para sellar herméticamente la parte superior de recipientes. Esto es posible debido al principio de inducción electromagnética (Hernández, 2013).

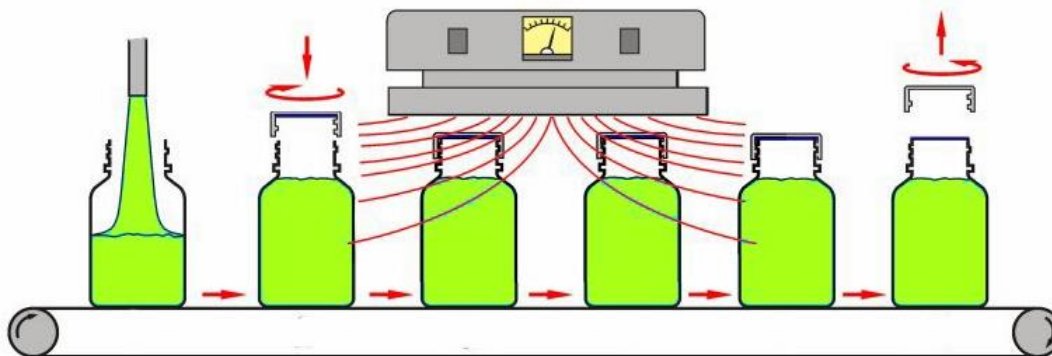


Figura 4.5. Ejemplo de sellado por inducción.

Fuente: (Hernández, 2013).

4.1.4. Tipos de máquinas selladoras

En la industria se destacan principalmente dos tipos de selladoras: la horizontal y la vertical. En ambos casos el funcionamiento es similar. Se utiliza una bobina de lámina del material a utilizar para el empaque y con esta se forma la bolsa mediante un sellado longitudinal y dos sellados transversales. En el caso de la vertical, el producto se deja caer en la bolsa cuando el extremo inferior ya ha sido sellado, mientras que la horizontal se vale de una banda transportadora para introducir el producto en la bolsa antes de aplicar el último sello y corte (Castillo González, Figueroa Hernández, & Pérez Cruz, 2006).

La principal diferencia radica en que las selladoras horizontales se utilizan para sólidos regulares de tamaño medio, mientras que la vertical se utiliza, principalmente, para líquidos, sólidos granulados y sólidos regulares pequeños (Castillo González, Figueroa Hernández, & Pérez Cruz, 2006). En la Figura 4.6 se puede observar una selladora horizontal y en la Figura 4.7 se encuentra una selladora vertical.



Figura 4.6. Ejemplo de empacadora y selladora horizontal.
Fuente: (MAPLASCALI SAS, 2018).



Figura 4.7. Ejemplo de empacadora y selladora horizontal.
Fuente: (PIDCO, 2018).

4.2. La ergonomía en el diseño

La ergonomía es la disciplina que se encarga del estudio de la relación entre el hombre y los objetos y productos que utiliza (Miranda, 2013). Como parte de los productos utilizados por el hombre, el diseño de máquinas debe guiarse por las consideraciones ergonómicas. Las principales relaciones hombre-máquina son: visual, auditiva, táctil y postural (Miranda, 2013).

Cabe destacar que la mecanización en la industria ha supuesto que se dé la aplicación progresiva de sistemas automatizados, lo que disminuye los esfuerzos físicos y la repetitividad y hace posible un mayor enriquecimiento en el contenido del trabajo (COCEMFE, 2016). Sin embargo, se debe evitar que esta adición de maquinaria más avanzada se aplique a supeditar a las personas a situaciones de producción rígidas y contrarias a los principios ergonómicos (COCEMFE, 2016).

Parte importante en el diseño de máquinas es el diseño de controles y mandos, ya que estos son los sistemas manipulados por el usuario con el fin de obtener una respuesta determinada (Miranda, 2013). Para su adecuado establecimiento, (Miranda, 2013) menciona las siguientes consideraciones:

- Capacidad del usuario: fuerza, visión, percepción, memoria.
- Reacción: el usuario debe saber si ha accionado el mando.
- Resistencia: estática, elástica, viscosa, inercial.
- Textura: rugosidad, dureza.
- Efectividad: mano preferida, movimientos requeridos, uso de guantes.
- Protección: eliminar activación accidental con orientación, resistencia, movimiento.

Además, (Mata Cabrera, 2006) plantea que el diseño de mandos, indicadores y dispositivos de control marca la interacción hombre-máquina, por lo que se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Ubicación: zonas de mejor visibilidad para los indicadores y de mejor alcance para los mandos.
- Manejo: mediante formas y dimensiones adecuadas.

- Funcionamiento: debe ser intuitivo para agilizar la familiarización.

Otro factor por tomar en cuenta es la postura. Una postura inadecuada en el puesto de trabajo puede dar lugar, según (Miranda, 2013), a:

- Lesiones musculoesqueléticas acumulativas.
- Dolores de cuello y espalda.
- Tendinitis.
- Síndrome de túnel carpiano.
- Mayor riesgo de accidentes.

Por lo anterior, las dimensiones de la máquina deben acoplarse a las del usuario o tener capacidad de ajustarse a estas (Miranda, 2013). En la Figura 4.8 se puede observar la altura de trabajo recomendada según la carga de la tarea a realizas. Adicionalmente, como consideraciones sobre la postura, (Miranda, 2013). Menciona:

- Postura vertical y de frente.
- Movilidad.
- Reparta de trabajo muscular (mano, pie, ...).
- Plano de trabajo más bajo que el corazón.

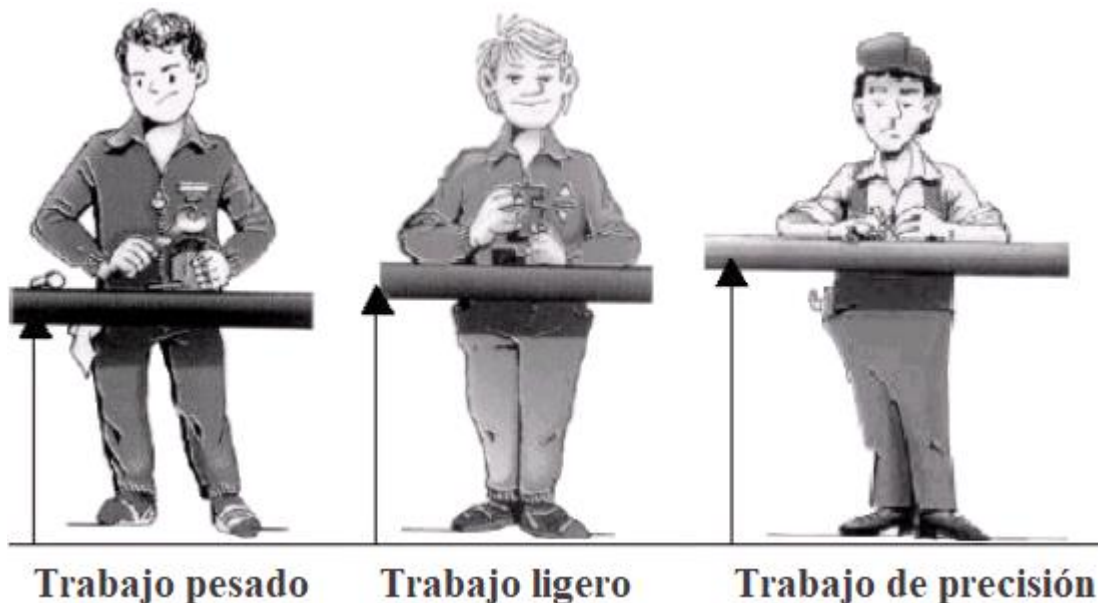


Figura 4.8. Altura de trabajo según la carga.
Fuente: (Miranda, 2013).

Sobre el mismo tema, (COCEMFE, 2016) establece las siguientes premisas:

- Sedestación: es necesaria cuando la persona debe estar en un lugar determinado por mucho tiempo, ya que permanecer de pie resultaría fatigoso. Lo ideal es alternar entre ambas posiciones (de pie y sentado) y que se disponga de asientos diseñados ergonómicamente.
- Accionamiento de controles: se debe poder acceder fácilmente con el pie o con la mano a diferentes mandos sin posturas forzadas y sin esfuerzo físico importante.
- Alturas: las máquinas y dispositivos de mando deben ser regulables para ajustarse a la altura del operario. Esto evita la incidencia en posturas y movimientos anormales.

Por otro lado, se debe mencionar la importancia de factores como la iluminación, el ruido y las vibraciones en la ergonomía (Miranda, 2013).

- Iluminación: especialmente necesaria en los puntos que requieren precisión.
- Ruido: debe ser menos a 80 dB para una jornada de 8 horas.
- Vibraciones: se debe reducir al máximo siempre que sea posible; eliminar desequilibrios, aumentar amortiguación, aisladores en patas, suelos antivibrantes, suspensión y asientos amortiguados, mangos de herramientas.

4.3. Diseño de máquinas para la industria alimenticia

Para un adecuado diseño de maquinaria empleada en la industria alimentaria es necesario seguir con la normativa vigente. Esto asegura que se mantenga la inocuidad de los alimentos, la cual se define según (Castañeda Martín, 2010), como el alimento exento de factores de peligro susceptibles de causar enfermedad alimentaria en el consumidor. El objetivo final es tener equipos higiénicamente diseñados, es decir, que la producción permanezca limpia durante el trabajo o que permita alcanzar el grado de limpieza adecuado con el mínimo esfuerzo (Castañeda Martín, 2010).

De este modo, la finalidad de la higiene se centra en tres puntos: limitar la contaminación microbiana, mejorar la limpieza y favorecer la conservación y el mantenimiento; esto conlleva

exigencias mecánicas, tecnológicas y microbiológicas para su cumplimiento (Castañeda Martín, 2010).

Para atender lo anterior, se enfatiza la necesidad de cumplir con los lineamientos definidos en normativa estandarizada. En primer lugar, el Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP, por sus siglas en inglés) tiene como propósito mejorar la inocuidad de los alimentos ayudando a evitar peligros que pongan en riesgo la salud del consumidor; estas pueden ser encontradas en (Carro Paz & González Gómez, 2013). Por otro lado, la norma ISO 14159:2002 establece los lineamientos específicos para el diseño de maquinaria adecuada para el procesado de alimentos; esta engloba aspectos como: los materiales, geometrías, procesos de manufactura y mantenimiento y puede ser encontrada en (Saudi Standards, Metrology and Quality Org, 2007).

4.4. Diseño mecánico

4.4.1. Condiciones de carga y falla

En el diseño de vigas con carga estática, se pueden tomar en cuenta, principalmente, dos criterios: falla y deflexión (Budynas & Nisbett, 2011). En cuanto a la falla, dependiendo del estado de carga del elemento, así serán las consideraciones que se deben tomar; un elemento puede ser sometido a esfuerzo cortante y esfuerzo normal (Budynas & Nisbett, 2011).

Una viga con fuerzas aplicadas y apoyos simples, como se muestra en la Figura 4.9, está sometida a un momento flector generado por estas fuerzas, y este produce un esfuerzo normal en la sección transversal del elemento; de este modo, una viga bajo estas condiciones se encuentra bajo esfuerzos cortantes y normales. A partir del diagrama de cuerpo libre, es posible obtener los diagramas de esfuerzo cortante y de momento flector, para lo cual se emplean las relaciones presentes en la Ecuación 4.1 y la Ecuación 4.2 (Budynas & Nisbett, 2011). En la Figura 4.10 se observan los diagramas de cortante y flector para una viga.

$$V = \frac{dM}{dx}$$

Ecuación 4.1

$$q = \frac{dV}{dx} = \frac{d^2M}{dx^2}$$

Ecuación 4.2

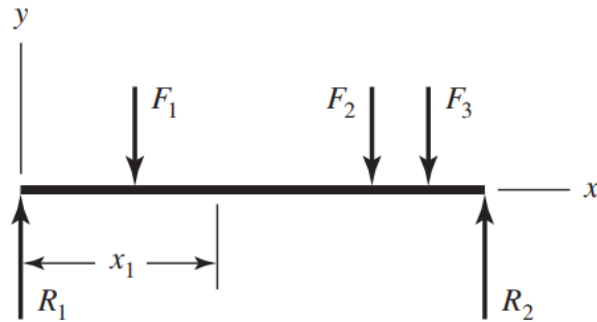


Figura 4.9. Diagrama de cuerpo libre de una viga con apoyo simple y fuerzas aplicadas.
Fuente: (Budynas & Nisbett, 2011).

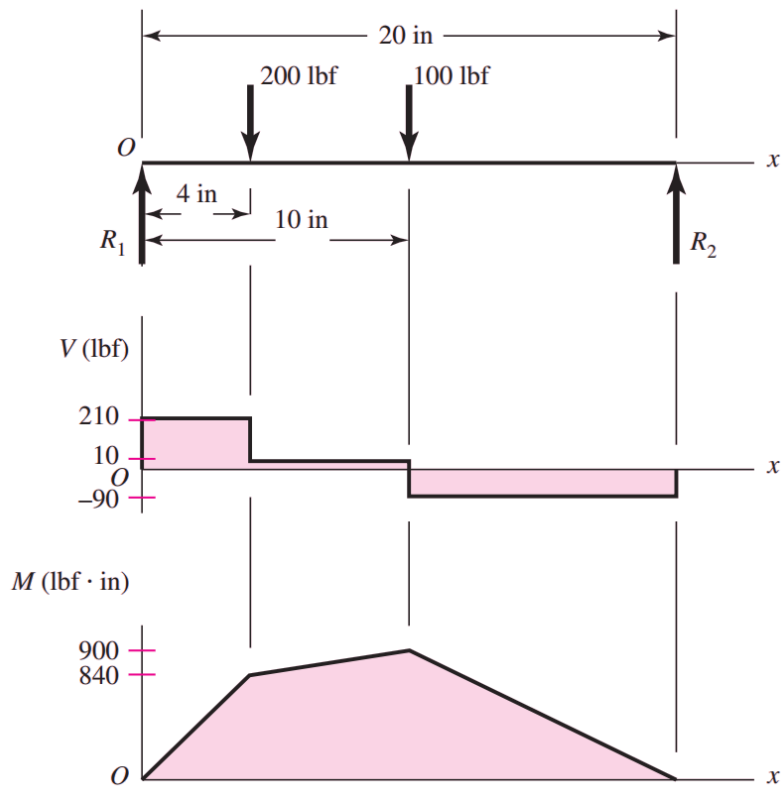


Figura 4.10. Diagramas de cortante y flector de una viga.
Fuente: (Budynas & Nisbett, 2011).

A partir de la condición de carga expuesta, se obtienen los respectivos esfuerzos tomando en cuenta el cortante y momento máximo, según corresponda (Budynas & Nisbett, 2011). La Ecuación 4.3 denota el esfuerzo normal máximo a partir del momento máximo, la máxima distancia desde el eje neutro y el momento de inercia, mientras que la Ecuación 4.4 expresa el esfuerzo cortante máximo a partir del cortante máximo, el primer momento de área y el momento de inercia.

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

Ecuación 4.3

$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

Ecuación 4.4

La torsión es otra condición de carga que puede afectar una viga. Esta surge cuando el vector de un momento es colineal al eje de un elemento mecánico (Budynas & Nisbett, 2011). Para el caso de un elemento de sección transversal circular, se utilizan la Ecuación 4.5 para la determinación del ángulo de torsión y la Ecuación 4.6 para el esfuerzo cortante máximo. Es necesario conocer la longitud (l), el radio (r), el módulo de rigidez (G) y el segundo momento polar de área (J) (Budynas & Nisbett, 2011).

$$\theta = \frac{Tl}{GJ}$$

Ecuación 4.5

$$\tau_{max} = \frac{Tr}{J}$$

Ecuación 4.6

Para el diseño de elementos, es necesario utilizar un criterio de falla. Este permite tomar en cuenta los esfuerzos combinados para establecer si un elemento fallará bajo las condiciones de diseño (Budynas & Nisbett, 2011). Existen varios criterios de falla aplicables bajo diversas condiciones, sin embargo, para materiales dúctiles generalmente se emplea el

criterio de esfuerzo cortante máximo debido a su facilidad de cálculo y sus resultados conservativos, mientras que para materiales frágiles se utiliza la teoría de Mohr modificada debido a que es la que mejor se ajusta a la falla frágil (Budynas & Nisbett, 2011).

Para el criterio de esfuerzo cortante máximo, se utilizan los esfuerzos principales obtenidos mediante el círculo de Mohr a partir del análisis del elemento en estrés crítico; en la Figura 4.11 se observa un ejemplo del círculo de Mohr para un elemento (Budynas & Nisbett, 2011). El esfuerzo cortante máximo está definido en la Ecuación 4.7 en donde se emplea el esfuerzo máximo a fluencia del material y un factor de seguridad, además de los esfuerzos principales.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \geq \frac{S_y}{2n}$$

Ecuación 4.7

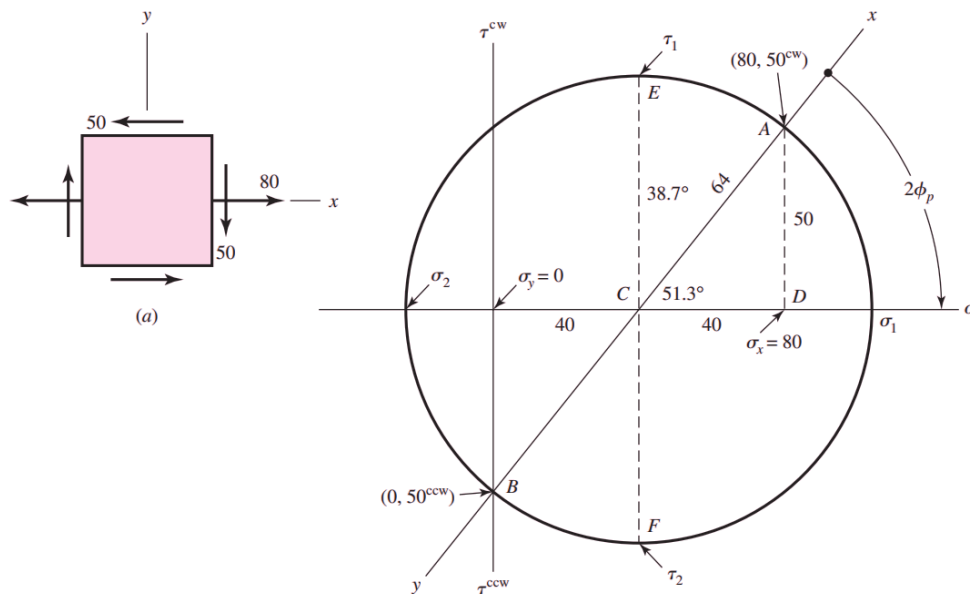


Figura 4.11. Círculo de Mohr para el elemento *a*.
Fuente: (Budynas & Nisbett, 2011).

El criterio de Mohr modificado utilizado para materiales frágiles se trabaja por casos, dependiendo del cuadrante que se esté analizando; se puede ver en la Ecuación 4.8, en donde se debe conocer el esfuerzo máximo a tensión y a compresión del material.

$$\begin{aligned} \sigma_A &= \frac{S_{ut}}{n} & \sigma_A &\geq \sigma_B \geq 0 \\ \frac{\sigma_A}{S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} &= \frac{1}{n} & \sigma_A &\geq 0 \geq \sigma_B \\ \sigma_B &= -\frac{S_{uc}}{n} & 0 &\geq \sigma_A \geq \sigma_B \end{aligned}$$

Ecuación 4.8

Finalmente, en cuanto a la deflexión de una viga, se debe tomar en cuenta que todos los elementos reales se deforman ante una carga, ya sea elástica o plásticamente. Estas deformaciones se deben considerar cuando afectan de alguna manera el análisis o la aplicación del elemento en cuestión (Budynas & Nisbett, 2011). En la Ecuación 4.5 se pudo observar la expresión para determinar el ángulo de deflexión para el caso de torsión, ahora, con la Ecuación 4.9 se puede obtener la deflexión para el caso de tensión y compresión; en este se requiere el módulo de elasticidad (E). Para el análisis de casos complejos, es posible recurrir a técnicas como la superposición; en esta se analiza el efecto de cada fuerza y se suman todos ellos para obtener la deflexión final (Budynas & Nisbett, 2011).

$$\delta = \frac{Fl}{AE}$$

Ecuación 4.9

En el Anexo 11.2 se puede encontrar las propiedades mecánicas de los materiales utilizados típicamente.

4.4.2. Bocines para movimiento lineal

Para asegurar el adecuado movimiento de las mordazas sobre las guías de desplazamiento lineal, es necesario emplear bocines; estos generalmente son manufacturados con nylon por la efectividad y la accesibilidad. En cuanto a las dimensiones, se debe cumplir que la longitud del bocín sea al menos el doble que la del diámetro del eje; además, se debe establecer holgura entre el eje y el bocín, por lo que la medida del agujero debe ser ligeramente mayor a la del eje (Aquino Arroba & Freire Bonilla, 2009). En la Figura 4.12 se observa un diagrama de un

bocín colocado en un eje; se aprecia que el diámetro del eje es ligeramente menor al del bocín y que la longitud (A) es al menos dos veces el diámetro (D).

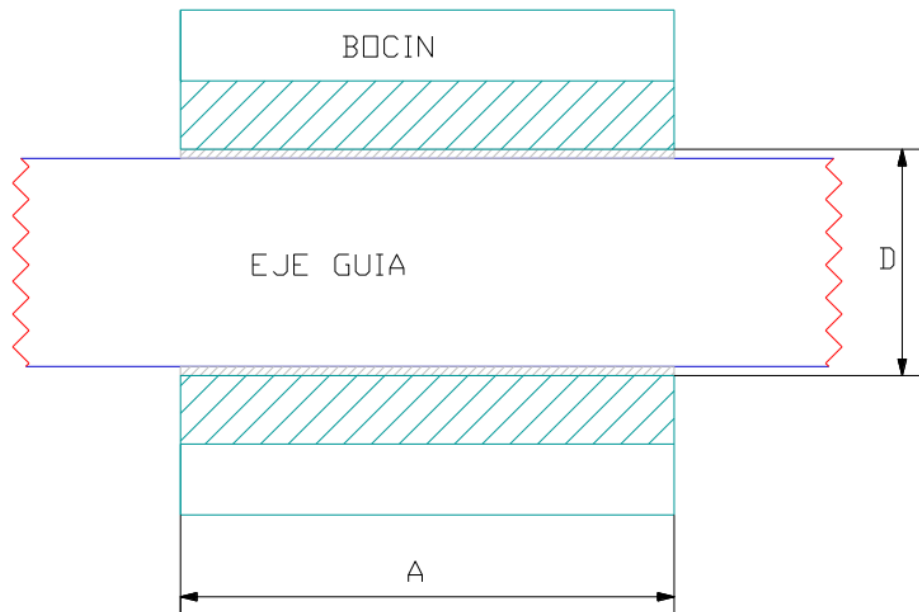


Figura 4.12. Diagrama de bocín colocado en un eje guía.
Fuente: (Aquino Arroba & Freire Bonilla, 2009).

4.5. Equipo neumático

4.5.1. Pistones

Para establecer los requerimientos de un pistón neumático, es necesario disponer de la fuerza de avance; esta se obtiene a partir de la presión de sellado y de las características del mecanismo de las mordazas (Rodríguez Vélez & Tipantacig Quishpe, 2013). Para un mecanismo con doble guía cilíndrica, se toma en cuenta la fricción en estas debida al peso de las mordazas y componentes de sujeción (Rodríguez Vélez & Tipantacig Quishpe, 2013).

La expresión para la fuerza de avance se observa en la Ecuación 4.10, donde F_r se refiere a la fricción debido a las guías cilíndricas y F_s es la fuerza de sellado (Rodríguez Vélez & Tipantacig Quishpe, 2013).

$$F_a = 2F_r + F_s$$

Ecuación 4.10

Posteriormente, se debe utilizar la fuerza de avance para establecer el diámetro del émbolo de acuerdo con la Ecuación 4.11, de donde se puede despejar esta variable; para este cálculo se debe establecer la presión de trabajo deseada que, regularmente, es entre 5 bar y 6 bar. Al utilizar esta expresión se puede calcular tanto la fuerza de avance como la de retrocesos para un pistón determinado (Rodríguez Vélez & Tipantacig Quishpe, 2013).

$$F_a = P \frac{d^2 \pi}{4} - 0.1P \frac{d^2 \pi}{4}$$

Ecuación 4.11

4.5.2. Compresores

Para escoger el compresor adecuado para una aplicación dada es indispensable conocer tres valores: potencia, caudal y volumen de almacenamiento. La determinación de estas características depende de la cantidad de elementos en el sistema, así como de los requerimientos de este en cuanto a velocidad de operación y consumo de aire (Aquino Arroba & Freire Bonilla, 2009).

El primer paso consiste en establecer las pérdidas de presión presentes en el sistema por concepto de los elementos en el mismo. Una vez con este dato, es posible calcular la presión mínima del compresor (P_c) mediante la Ecuación 4.12 con el uso de la presión de trabajo del sistema (P_s) (Aquino Arroba & Freire Bonilla, 2009).

$$P_c = P_s + \Delta p$$

Ecuación 4.12

Para establecer la potencia del compresor, primero se debe conocer el caudal total requerido en el sistema. Este se calcula mediante la suma del caudal requerido en cada elemento del sistema; para un pistón de doble efecto se tiene la Ecuación 4.13, donde n se refiere al número de ciclos del pistón (Aquino Arroba & Freire Bonilla, 2009).

$$Q = n \left(\frac{P_{man}}{P_{atm}} + 1 \right) \frac{\pi L (2D^2 - d^2)}{4}$$

Con respecto a lo anterior, la potencia requerida por el compresor está definida por la Ecuación 4.14. Por otro lado, el caudal para la selección de la bomba debe ser mayor a 1.5 veces el caudal calculado para el sistema con el fin de garantizar un adecuado funcionamiento. Por último, el volumen del reservorio debe seleccionarse de tal manera que sea conveniente para la aplicación; un reservorio más grande permitirá mantener la presión necesaria por más tiempo sin que el compresor entre en funcionamiento (Aquino Arroba & Freire Bonilla, 2009).

$$Pot = P_c \cdot Q$$

4.6. Transmisión de temperatura

La transmisión de temperatura de las mordazas de sellado está definida por el material y la geometría de estas. Para obtener el valor de la resistencia eléctrica capaz de llegar a la temperatura de sellado se debe considerar, además, el circuito de conexión (Rodríguez Vélez & Tipantacig Quishpe, 2013).

En primera instancia, es necesario calcular la razón del flujo de calor necesario en la mordaza, lo cual se realiza con la Ecuación 4.15 (Rodríguez Vélez & Tipantacig Quishpe, 2013).

$$Q = \frac{T_A - T_B}{\frac{L}{K \cdot A} + \frac{1}{h \cdot A}}$$

Donde:

- T_A : temperatura en la resistencia.
- T_B : temperatura exterior.
- L : distancia entre la resistencia y la superficie de sellado.
- K : coeficiente de conductividad térmica.
- A : área de la superficie implicada en la transferencia de calor

- h: coeficiente de transferencia de calor convectivo.

Seguidamente, se debe relacionar este valor con la potencia eléctrica en la resistencia; de modo que se obtiene la Ecuación 4.16 (Rodríguez Vélez & Tipantacig Quishpe, 2013).

$$R = \frac{V^2}{Q}$$

Ecuación 4.16

Donde:

- Q: razón de flujo de calor en la mordaza.
- R: resistencia eléctrica.
- V: tensión de alimentación.

En el Anexo 11.3 se puede encontrar las propiedades mecánicas de los materiales utilizados típicamente.

4.7. Microcontroladores

Un microcontrolador es un componente electrónico que combina los recursos fundamentales disponibles en una microcomputadora en un solo chip; su estructura general se puede ver en la Figura 4.13. Estos son utilizados en una gran variedad de aplicaciones que incluyen: industria automovilística, sistemas de comunicación, instrumentación electrónica, equipo hospitalario, equipo industrial y aplicaciones de hogar. Su propósito es ejecutar un número reducido de tareas al menor costo posible mediante la ejecución de un programa almacenado permanentemente en sus memorias y comunicándose con el mundo mediante sus puertos de entradas y salidas; debido a esto, el microcontrolador se vuelve parte de la aplicación, es un controlador embebido en el sistema (Valdes-Perez & Pallas-Areny, 2009).

De acuerdo con (Valdes-Perez & Pallas-Areny, 2009), para el diseño con microcontroladores se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Entradas y salidas requeridas en la aplicación.
2. Interfaces de comunicación disponibles.

3. Tamaño de memoria.
4. Velocidad de oscilación.
5. Interrupciones.
6. Tamaño de palabra.
7. Repertorio de instrucciones.
8. Seguridad de funcionamiento.
9. Consumo de potencia.
10. Protección contra copias.

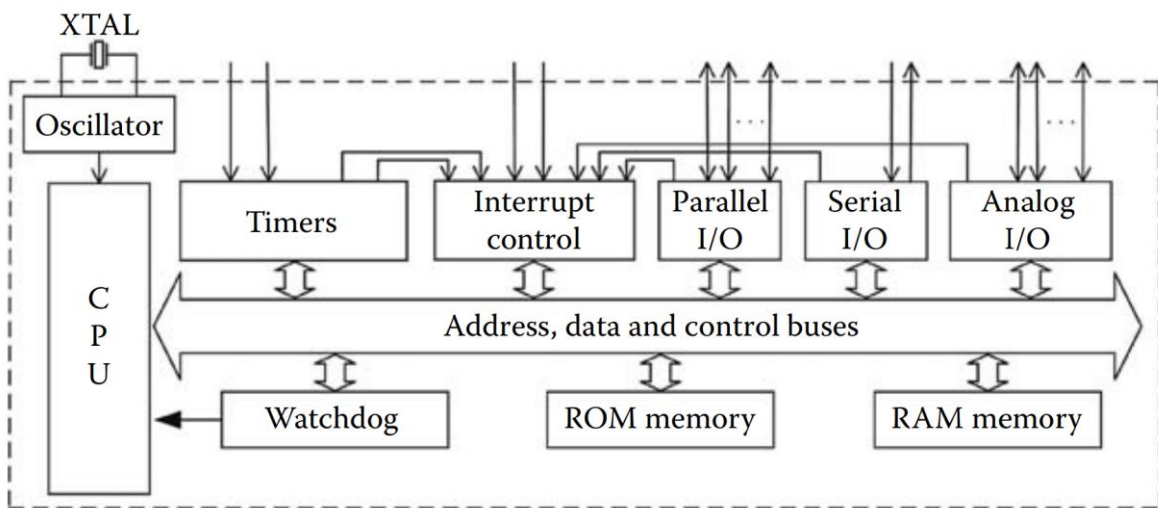


Figura 4.13. Diagrama de bloques de un microcontrolador genérico.
Fuente: (Valdes-Perez & Pallas-Areny, 2009).

4.8. Control automático de temperatura

Un sistema de control automático es aquel que proporciona una respuesta deseada a partir de una entrada determinada a través de una interconexión de componentes en un proceso dado (Dorf & Bishop, 2005). En el ámbito del control de sellado, esta herramienta permite mantener la temperatura de las mordazas en un rango que permita obtener la calidad de sellado deseada, de acuerdo con los parámetros óptimos del proceso; conocer el proceso y modelarlo es indispensable para controlar el comportamiento del sistema (Salazar Carvajal, 2012).

Un sistema de control en lazo cerrado es aquel en el que existe realimentación de la salida con el fin de compararla con el valor de referencia, mientras que un sistema de control en lazo abierto no existe realimentación (Dorf & Bishop, 2005).

4.8.1. Control en lazo cerrado

El control en lazo cerrado emplea un sensor para realizar la realimentación de la variable que se desea controlar y un actuador que permite variar la magnitud de la salida de acuerdo con la referencia y el valor medido. En la Figura 4.14 se puede observar el diagrama de bloques para un sistema de control de este tipo; en este, destacan la planta ($G(s)$) que define el comportamiento del sistema que se desea controlar y el controlador ($K(s)$) que, junto con el sistema realimentado, se encarga de mantener la salida ($Y(s)$) acorde con la señal de referencia ($R(s)$) (Salazar Carvajal, 2012).

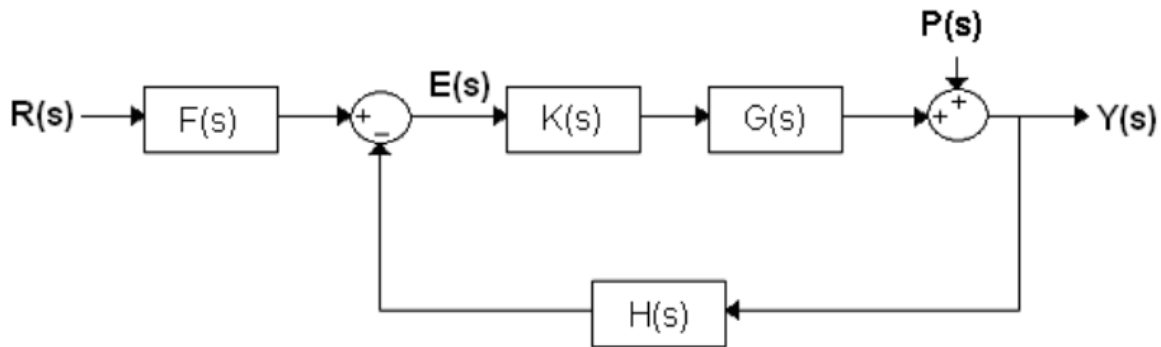


Figura 4.14. Diagrama de bloques de un sistema de control a lazo cerrado.
Fuente: (Salazar Carvajal, 2012).

A partir del diagrama de bloques anterior se puede deducir la función de transferencia del sistema en lazo cerrado:

$$G_0(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{F(s)K(s)G(s)}{1 + K(s)G(s)H(s)}$$

Ecuación 4.17

4.8.2. Modelado de sistemas térmicos

Un gran número de procesos que tienen una respuesta tipo “S” ante una entrada escalón pueden ser aproximados por un modelo de retardo de primer orden con tiempo muerto, como se observa en la Ecuación 4.18 (Interiano, 2016). Este es el caso de los sistemas térmicos.

$$G(s) = \frac{k \cdot e^{-s \cdot t_d}}{(s + a)}$$

Ecuación 4.18

Por ejemplo, en la Ecuación 4.19 se observa la aproximación de un sistema $G_1(s)$ a través de $G_2(s)$ sin pérdida apreciable.

$$G_1(s) = \frac{0.2}{(s + 0.1)(s + 2)^2} \cong \frac{0.05 \cdot e^{-s}}{(s + 0.1)}$$

Ecuación 4.19

En la Figura 4.15 se puede encontrar la respuesta de un sistema térmico ante una entrada escalón. Mediante este, es posible determinar las constantes necesarias para obtener la función de transferencia del sistema. A continuación, se presentan las ecuaciones necesarias para esto (Interiano, 2016):

$$a = \frac{1}{\tau}$$

Ecuación 4.20

$$k = \frac{\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) - T_i}{A} \cdot a$$

Ecuación 4.21

$$\tau = 2(t_{63\%} - t_{39\%})$$

Ecuación 4.22

$$t_d = t_{63\%} - (t_i + \tau)$$

Ecuación 4.23

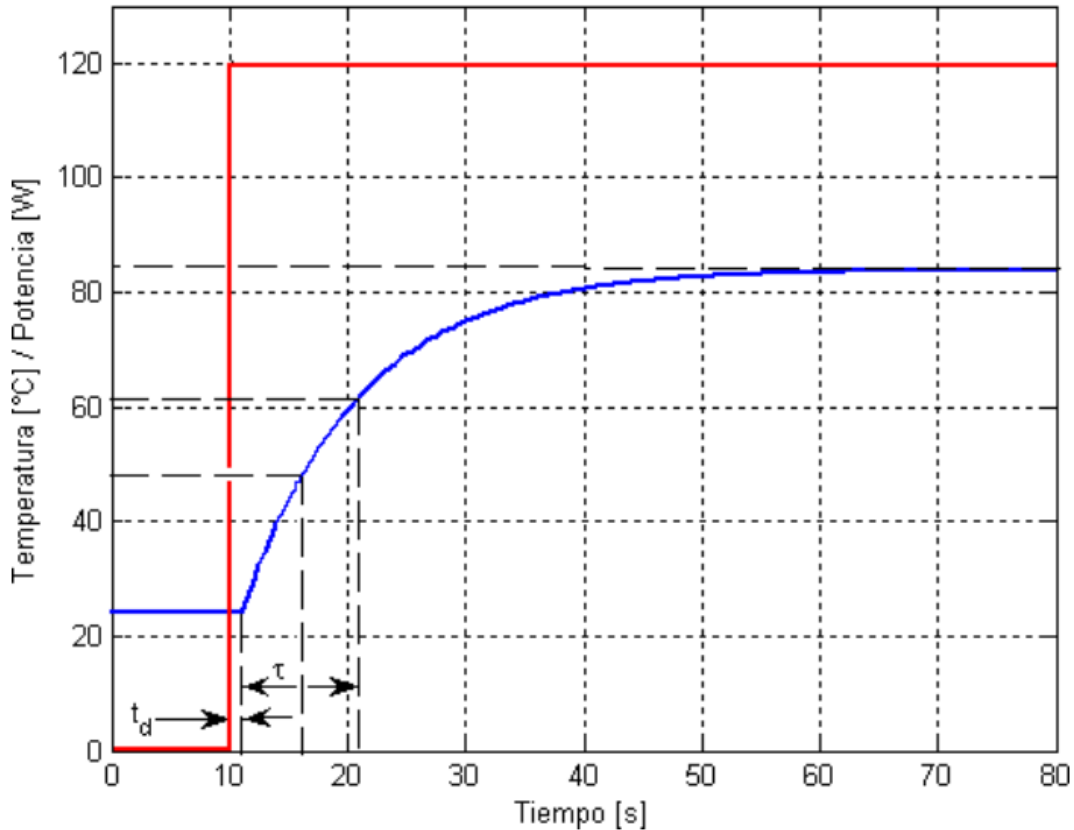


Figura 4.15. Respuesta experimental de un sistema térmico ante una entrada escalón.
Fuente: (Interiano, 2016).

4.8.3. Síntesis del controlador

Para obtener un controlador adecuado, primero es necesario determinar el tiempo de muestreo óptimo para el sistema. Esto se puede realizar mediante la Ecuación 4.24, donde \hat{t} es la constante de tiempo dominante esperada del sistema regulado (Interiano, 2016).

$$T \leq \frac{\hat{t}}{10}$$

Ecuación 4.24

El regulador para este tipo de sistemas debe eliminar el error de estado estacionario y las perturbaciones, para lo cual se recomienda un regulador de tipo PI (Interiano, 2016). Sin embargo, en la Tabla 4.1 se muestran los posibles reguladores a sintetizar. Estos son sintonizables mediante el uso de las herramientas disponibles en el *software* MATLAB®.

Tabla 4.1. Funciones de transferencia de reguladores PID.

| Regulador | Función de transferencia teórica | Función de transferencia práctica |
|-----------|--|--|
| P | $K_P(s) = K_P$ | $K_P(s) = K_P$ |
| I | $K_I(s) = \frac{K_I}{s}$ | $K_I(s) = \frac{K_I}{s}$ |
| PI | $K_{PI}(s) = K_P + \frac{K_I}{s}$ | $K_{PI}(s) = K_P \frac{\left(s + \frac{K_I}{K_P}\right)}{s}$ |
| PD | $K_{PD}(s) = K_P + K_D s$ | $K_{PD}(s) = K_D \frac{\left(s + \frac{K_P}{K_D}\right)}{(s + p_0)}$ |
| PID | $K_{PID}(s) = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s$ | $K_{PID}(s) = K \frac{(s + z_1)(s + z_0)}{s(s + p_0)}$ |

Fuente: (Interiano, 2016).

4.8.4. Implementación de un controlador PI en tiempo discreto

Para la implementación de un controlador discreto en un computador digital, es necesario encontrar la ecuación de diferencia de este y despejar la salida en términos de las muestras (Interiano, 2016). Para el caso particular de un regulador PI de la forma observada en la Ecuación 4.25, se obtiene la expresión de la Ecuación 4.26 (Interiano, 2016).

$$K_{PI} = \frac{M(z)}{E(z)} = c \frac{(z - z_0)}{(z - 1)}$$

Ecuación 4.25

$$m(k) = c \cdot e(k) + [m(k - 1) - z_0 \cdot c \cdot e(k - 1)]$$

Ecuación 4.26

4.9. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es una técnica que permite determinar las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico (García, 2015). Este vino para demostrar que muchos de los conceptos del mantenimiento que se consideraban correctos estaban equivocados y podían incluso ser peligrosos (García, 2015). Uno de sus principales puntos radica en que todo el análisis del equipo debe ser planteado en torno al contexto de este y de sus funciones; así, dos equipos

iguales que operan bajo diferentes condiciones o realizando funciones diferentes, tendrán tareas de mantenimiento ajustadas a estas características (García, 2015) (Moubay, 2004) (Duffuaa, Raouf, & Dixon, 2006).

Antes de realizar el análisis de los equipos, se debe iniciar con un listado y codificación de subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema en estudio (García Garrido, 2003). Seguidamente, se debe plantear un estudio de criticidad que permita la clasificación y priorización de equipos y subsistemas, tal y como lo plantea (García Garrido, 2003); este se basará en puntuaciones asignadas a una serie de categorías relacionados con el impacto del dispositivo y sus fallos sobre la producción, el producto y la empresa (García Garrido, 2003).

Tales categorías son explicadas en la Tabla 4.2; cada una de ellas se puntúa en una escala del 0 al 3, los equipos críticos son los que poseen una puntuación mayor a 12.

Tabla 4.2. Criterios de evaluación para el análisis de criticidad de equipos.

| Criterio de evaluación | | Definición |
|-------------------------------|------------------------------|---|
| A | Impacto en la seguridad | Exposición a riesgos en la salud e higiene ocupacional, tanto a colaboradores como a la comunidad. |
| B | Impacto en el medio ambiente | Emanación de gases, partículas en suspensión, derrames químicos, contaminación de agua y tierra. |
| C | Impacto en la producción | Riesgo de un paro total de la planta. |
| D | Impacto en la línea | Paro total en la línea de producción donde se encuentra el equipo. |
| E | Impacto en otros equipos | Repercusión en daños a otros equipos por inadecuada operación. |
| F | Impacto en la calidad | Alteración directa en la calidad del proceso, por lo que no se cumplen los parámetros establecidos. |
| G | Valor económico | Precio de la máquina. |
| H | Dificultad de adquisición | Disponibilidad de repuestos no es inmediata o tiempo prolongado en instalación. |

Fuente: (García Garrido, 2003).

Posteriormente, para los equipos que requieran mantenimiento programado de acuerdo con la criticidad, se debe establecer las siguientes etapas o secciones. (Fibertel, 2007) (Moubray, 2004) (Duffuaa, Raouf, & Dixon, 2006):

1. Función: consiste en la función deseada del equipo. Debe estar compuesta por un verbo, un sujeto y un parámetro de calidad. Puede haber primarias y secundarias.
2. Falla funcional: se refiere a los estados indeseables del sistema, es decir, aquellos en los que no se cumple con el parámetro de calidad deseado.
3. Modo de falla: indica la causa raíz de la falla, da una idea precisa del motivo de la falla; se refiere a la evidencia específica de la falla en cuestión.
4. Efecto de falla: consiste en una breve descripción de lo que sucede cuando se presenta la falla.
5. Consecuencia: describe la manera en la que la falla afecta al usuario. Puede ser por seguridad, ambiente, costos u otros.

Finalmente, a partir del análisis anterior, se debe plantear un listado de tareas preventivas para el mantenimiento del equipo en cuestión (Moubray, 2004). Este debe tomar en cuenta la periodicidad de cada tarea, el tiempo y el costo asociado a cada una. A partir de este, se debe redactar un procedimiento de mantenimiento que sea ejecutable por parte del personal correspondiente de acuerdo con las frecuencias fijadas (Moubray, 2004).

4.10. Indicadores económicos

A la hora de evaluar un proyecto para su posible implementación, es necesario recurrir a indicadores económicos que permitan la toma de una decisión adecuada. Entre ellos, el análisis del periodo de recuperación permite calcular el número de años que se requieren para recuperar la inversión inicial del proyecto (Blank & Tarquin, 2006). Esta es utilizada como una técnica para la depuración inicial de proyectos propuestos (Blank & Tarquin, 2006).

Para su cálculo simplificado, se puede utilizar la siguiente fórmula a partir de la información suministrada en un flujo de caja acumulado (Ucañán Leyton, 2015):

$$n_p = P - \left| \frac{Q}{R} \right|$$

Ecuación 4.27

En donde:

- P: último periodo con flujo acumulado negativo.
- Q: último flujo acumulado negativo.
- R: flujo de caja en el siguiente periodo.

Capítulo 5: Estrategia de Solución

A continuación, se presenta el desarrollo de las actividades realizadas para la ejecución del proyecto. Estas son planteadas a partir de los objetivos y se ejecutan de manera que el cumplimiento de unas permita la resolución de las siguientes; de este modo se logra alcanzar la solución del problema.

5.1. Determinación de parámetros de operación

Los parámetros que intervienen en el proceso de sellado son tres: presión, temperatura y tiempo. Con respecto al proceso actual, la presión no es medible y varía dependiendo del operario. En cuanto a la temperatura, la máquina se ajusta a 135°C, sin embargo, se registran variaciones significativas (producen mal sellado o quemado de la bolsa) ya que la selladora no mantiene la temperatura constante durante su operación. Por último, el tiempo de sellado actual se encuentra entre uno y dos segundos, lo que se ve afectado por la variación en la temperatura y en la presión, ya que en ocasiones el operario debe realizar el sellado en varias ocasiones.

Para determinar los parámetros a partir del proceso productivo actual se realizó un experimento en el que se fijó la temperatura en 115°C y el tiempo entre 1 y 2 segundos y se encontró la presión para obtener un sello adecuado. La fuerza fue aplicada al pedal de la selladora mediante el uso de un peso conocido de 20 kg; posteriormente se determinó la relación entre esta fuerza y la presión aplicada a las mordazas. La temperatura fue monitoreada con un termómetro de pistola.

Se dispuso de 20 bolsas para la realización del experimento, por lo que se cortó cada una en tres segmentos para disponer de un mayor número de pruebas. Se realizaron pruebas preliminares con ocho segmentos de bolsa para determinar la fuerza óptima del sellado y luego se realizó la prueba con los restantes 52; este número representa el tamaño de un lote actual. Según la muestra estadística, se debía realizar la prueba con 152 empaques para obtener un nivel de confianza el 95% y un margen de error de 5% sobre los 250 helados por

hora que se desea obtener en la máquina a diseñar; sin embargo, por limitaciones de la empresa no fue posible realizar esto.

Para probar la calidad del sello se contó con la aprobación del operario de la selladora y se realizó una prueba de filtrado. Esta prueba consistió en llenar el segmento de bolsa con agua y verificar que no se presentara goteo en el sello. Mediante la aplicación de las condiciones dadas, se logró obtener un sello satisfactorio en las 52 pruebas realizadas. Al trasladar el peso aplicado al área de aplicación del sello se obtuvo una fuerza de 120 N; la presión aplicada fue de 4 N/cm².

En resumen, los parámetros identificados para el proceso de embolsado y sellado son los siguientes:

- Temperatura: Puede estar entre 100°C y 180°C; se plantea usar 115°C en el diseño de acuerdo con el valor teórico para el material y el experimento realizado.
- Tiempo: entre 1 s y 2 s. Para 120°C se plantea un tiempo de sellado de entre 1 s y 5 s, lo cual fue encontrado en la teoría y respaldado por el experimento realizado.
- Presión: para las condiciones de temperatura y tiempo mencionadas, se plantea una presión de alrededor de 4.5 N/cm² a partir de los resultados experimentales y la teoría consultada.

Se identifica que la variable para realizar el control automático es la temperatura. Para ello, se plantea cumplir con un sobreimpulso máximo del 20%, un tiempo de estabilización del 2% menor a 120 s y un error de estado estacionario menor al 5%.

5.2. Proceso de diseño

En esta sección se presenta el proceso de diseño del sistema mecatrónico requerido. Para su ejecución, se siguió el esquema general del proceso de diseño ingenieril, tal y como se planteó en la Figura 1.2.

5.2.1. Lista de requerimientos

El primer paso consiste en la determinación de los requerimientos de diseño del dispositivo. A continuación, se presentan estos de acuerdo con el área al que corresponde:

1. El dispositivo no debe sobrepasar un volumen de 175x90x200 cm.
2. La temperatura de sellado debe ser de (115 ± 5) °C.
3. La presión de sellado debe ser de (4.5 ± 0.5) N/cm².
4. El tiempo de sellado debe ser de (1.5 ± 0.2) s.
5. El dispositivo debe cumplir con la normativa HACCP.
6. El dispositivo debe cumplir con la norma ISO 14159:2002.
7. El dispositivo debe ser capaz de empacar, al menos, 250 helados por hora.
8. El dispositivo debe ser capaz de recibir un lote completo de 56 helados de la estación anterior.
9. El dispositivo debe ser capaz de empacar helados de 12x4.5x2.2 cm.
10. Las dimensiones del empaque deben ser de 20x8 cm.
11. El dispositivo debe garantizar un sellado adecuado de acuerdo con los criterios de filtrado de agua y del experto de la empresa.
12. El dispositivo debe recibir las paletas de helado congeladas, ya embolsadas, y sin asistencia humana.
13. El producto final debe consistir en una paleta de helado empacada individualmente.
14. El dispositivo debe utilizar polipropileno biorientado.
15. En la salida del producto final se debe garantizar que este no sea golpeado.
16. El dispositivo debe ser capaz de operar bajo las condiciones ambientales de la empresa. Temperatura: 15°C - 29°C. Humedad: 40% - 60%.
17. Se debe garantizar que toda bolsa sellada contenga un helado.

18. El dispositivo debe permitir sellar helados con dimensiones ligeramente diferentes a las planteadas. Altura: 10 cm - 15 cm. Largo: 5 cm - 7 cm.
19. El dispositivo debe ser alimentado con 120 VAC a 60 Hz.
20. El dispositivo debe contar con un botón de paro de emergencia que detenga todos los sistemas de este.
21. El dispositivo debe ser capaz de registrar su tiempo de operación, unidades producidas y parámetros de operación en la nube.
22. El estado de operación del dispositivo debe poder ser monitoreado remotamente.
23. La interfaz de usuario debe permitir ajustar la temperatura y el tiempo de sellado.
24. Se debe disponer de botones de encendido, apagado, inicio de operación y pausa.
25. Una vez introducidos los parámetros de operación y presionado el botón de inicio, la operación del dispositivo es autónoma.
26. Se debe notificar la finalización de cada lote procesado.
27. Se debe realizar un apagado automático luego de finalizar el lote.

5.2.2. Propuestas de diseño

A partir de la investigación realizada, se plantea la Tabla 5.1 con las opciones para cada una de las áreas del sellado. A partir de esta tabla se plantea los siguientes tres candidatos:

1. Selladora horizontal con sellado longitudinal continuo, sellado transversal neumático y banda transportadora. Se añade apilado vertical para reducir el espacio utilizado. La idea general gira en torno al diseño de una selladora horizontal modificada para adaptarse a las necesidades de la empresa.
2. Selladora vertical con sellado longitudinal por barra, neumático y apilado vertical. En este caso se adaptaría la función usual de una selladora vertical (líquidos y granulados) para ser utilizada con sólidos regulares de mayor tamaño.
3. Selladora vertical con bandeja que recibe helados ya embolsados. Las bolsas ya están selladas longitudinalmente y en uno de sus extremos. Luego, los helados empacados caen a la selladora vertical por barra neumática, mediante un tobogán, para ser sellados. En la Figura 5.2 se puede observar un boceto de esta propuesta.

Para las primeras dos propuestas, la máquina realiza tanto embolsado como sellado, mientras que la tercera propuesta se centra en el sellado a partir del embolsado manual del helado.

Tabla 5.1. Tabla morfológica para la generación de propuestas de diseño.

| Área | Opción 1 | Opción 2 | Opción 3 |
|----------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Stock de lote | Banda transportadora | Apilado vertical | Bandeja que recibe molde |
| Sellado longitudinal | Continuo | Barra (discreto) | Bolsas ya selladas |
| Sellado transversal | Barra (discreto) | - | - |
| Orientación | Horizontal | Vertical | - |
| Sellado de barra | Neumático | Servomotor | - |
| Acomodo de sellado | Tobogán | Guía metálica (bolsa continua) | - |

Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Selección de propuesta

Para seleccionar la propuesta se plantea la evaluación de cada una de ellas bajo seis criterios: costo de materiales, costo de componentes, espacio, capacidad de producción, complejidad de manufactura, grado de intervención humana. Cada rubro se puntúa del uno al cinco, donde cinco es lo más conveniente y uno es lo menos conveniente; la propuesta con el mayor puntaje es la ganadora. En la Tabla 5.2 se encuentra el resultado de esta evaluación.

Tabla 5.2. Primera evaluación de las propuestas de diseño.

| Área | Propuesta 1 | Propuesta 2 | Propuesta 3 |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Costo de materiales | 3 | 4 | 5 |
| Costo de componentes | 3 | 3 | 4 |
| Espacio | 2 | 3 | 4 |
| Capacidad de producción | 5 | 5 | 4 |
| Complejidad de manufactura | 4 | 4 | 3 |
| Grado de intervención humana | 4 | 4 | 3 |
| Total | 21 | 23 | 23 |

Fuente: elaboración propia.

Debido a la obtención de la misma puntuación para las propuestas 2 y 3, se decide realizar una comparación más detallada entre estas. Cabe destacar que, al consultar con los dueños de la empresa, estos consideraron más convenientes los diseños en cuestión, y descartaron la propuesta 1 debido al costo y al espacio necesario.

En la Figura 5.1 se puede encontrar el boceto para la segunda propuesta de diseño. De ahora en adelante, se referirá a esta como la propuesta A y a la tercera como la propuesta B.

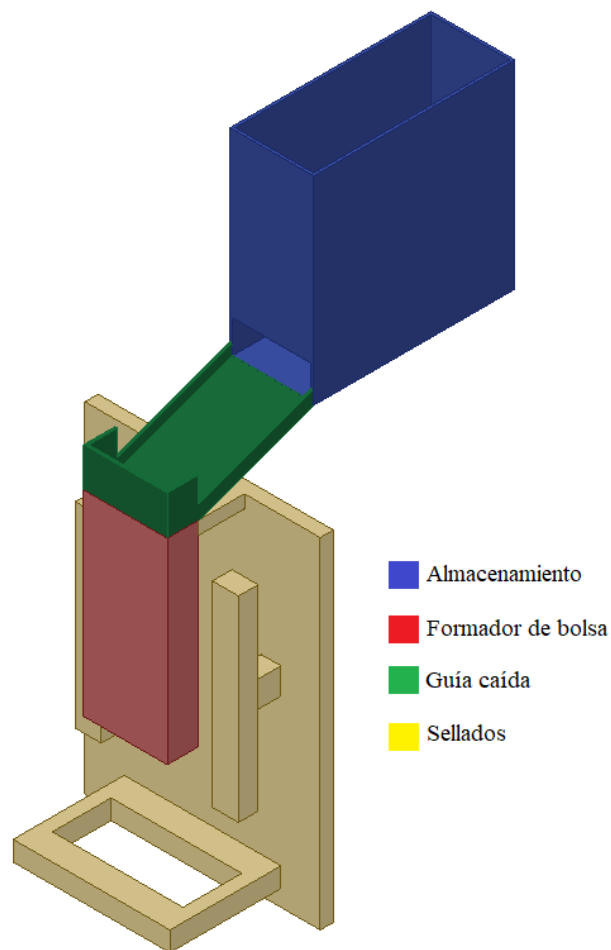


Figura 5.1. Boceto de segunda propuesta de diseño (Propuesta A).
Fuente: elaboración propia.

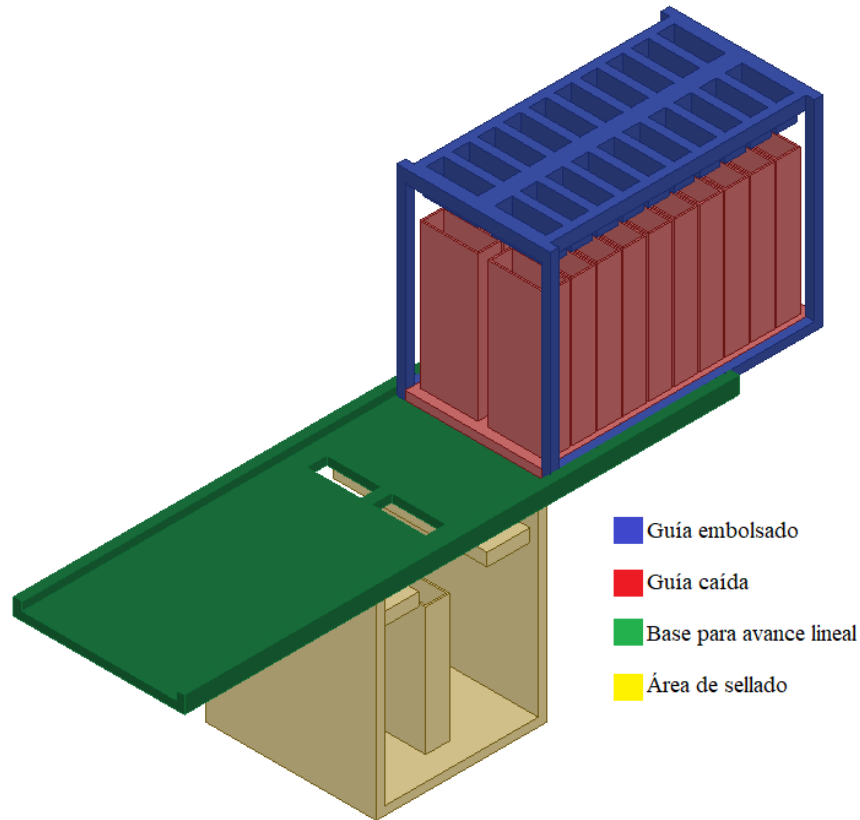


Figura 5.2. Boceto de tercera propuesta de diseño (Propuesta B).
Fuente: elaboración propia.

Para seleccionar entre la propuesta A y la B, se realizó la comparación que se puede observar en la Tabla 5.3. Para esta se puntúa con 1 o con 0 en cada una de las categorías dependiendo de la propuesta que tiene la ventaja; la propuesta con mayor puntuación es la ganadora.

Tabla 5.3. Segunda evaluación de las propuestas de diseño.

| Área | Propuesta A | Propuesta B |
|------------------------------|-------------|-------------|
| Costo de materiales | 0 | 1 |
| Costo de componentes | 0 | 1 |
| Espacio | 1 | 1 |
| Capacidad de producción | 1 | 0 |
| Complejidad de manufactura | 0 | 1 |
| Grado de intervención humana | 1 | 0 |
| Total | 3 | 4 |

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, la propuesta a desarrollar es la B. Se consideró, para esta decisión, los siguientes aspectos:

- En la Propuesta A, existen más superficies que entran en contacto directo con el producto, por lo que las consideraciones de diseño y manufactura de estas son más rigurosas. En la propuesta B, solo existe un elemento que entra en contacto directo con el producto.
- La Propuesta B cuenta solo con un tipo de sellado, por lo que se reduce la complejidad de la máquina y del control, y la cantidad de componentes.
- En la Propuesta A, las geometrías de las piezas necesarias para el formado de bolsa y el guiado de los helados son de mayor complejidad a las piezas en la Propuesta B; esto eleva los costos de manufactura.

Un factor importante que se debe analizar es el que la Propuesta A realiza embolsado y sellado, mientras que la Propuesta B solo realiza el sellado. Al incluir la etapa de embolsado en el proceso, el costo por componentes, mecanismos, control y estructura de funcionamiento al menos se duplica; esto viene del hecho de que se debe disponer de dobles mordazas de sellado, dobles actuadores para controlar el flujo del producto en la máquina y, de igual manera, el dispositivo debe ser de mayor tamaño para albergar estos dispositivos. Este costo elevado para la empresa no es aceptable tomando en cuenta que su limitación principal se centra en la etapa de sellado.

También se debe mencionar que, originalmente, la Propuesta B incluía un mecanismo para el embolsado simultáneo de los helados del lote. Este se puede observar en la Figura 5.2 como la pieza azul; la idea consistía en colocar previamente las bolsas en la parte inferior de esta pieza para luego introducir los helados recién congelados todavía en el palettero del molde y dejarlos caer en las bolsas. Sin embargo, el escaso espacio disponible entre cada helado en el molde dificultaría la colocación de las bolsas en esta pieza y podría incurrir en atrasos a la producción; adicionalmente, la complejidad de esta pieza aumentaría innecesariamente el costo final del dispositivo.

5.2.4. Descripción de funcionamiento

El dispositivo cuenta con una guía (tipo cuadrícula) para colocar los helados ya embolsados, esta a su vez es la guía de caída. Las bolsas ya están selladas longitudinalmente y en uno de sus extremos. Posteriormente, la guía de caída es deslizada sobre la base para avance lineal con el fin de ir dejando caer, de dos en dos, los helados al área de sellado. Finalmente, se sella el extremo abierto de las bolsas y se libera el producto por un compartimiento inferior, con lo que se termina el empaçado.

5.2.5. Componentes mecánicos

A continuación, se presenta el diseño de los elementos mecánicos del sistema. Los planos correspondientes pueden ser encontrados en la sección de anexos.

5.2.5.1. Consideraciones de acuerdo con la normativa

Para cumplir con la normativa pertinente, es necesario emplear materiales específicos que no pongan en riesgo la inocuidad de los alimentos; de igual modo, las superficies deben cumplir con rugosidades establecidas y las juntas deben cumplir con características dadas. Estas condiciones aplican en aquellas superficies en donde exista contacto con el producto, como la máquina a diseñar recibe el producto una vez empaçado, las consideraciones en esta materia se reducen.

Los materiales de las superficies que no entran en contacto con el producto deben ser resistentes a la corrosión, no absorbente y no contaminar el producto; para el diseño del dispositivo se utiliza materiales como lo son el acrílico, el acero inoxidable y el aluminio. En cuanto a consideraciones de diseño, se debe prevenir la retención de humedad, el ingreso de pestes y suciedad y facilitar la limpieza, inspección, servicio y mantenimiento.

5.2.5.2. Estructura

Para la estructura se tiene cuatro candidatos en cuanto al material, por lo tanto, para establecer el material a utilizar se realizó una serie de simulaciones con el elemento crítico

de la estructura con la carga crítica; este consiste en el elemento de mayor longitud cargado con el peso total de la estructura, primero en flexión y luego en pandeo. Los candidatos son:

1. Perfil de aluminio (ITEM) de 20x20 mm.
2. Perfil de aluminio (ITEM) de 30x30 mm.
3. Tubo cuadrado de acero inoxidable de 1".
4. Barra cuadrada de acero inoxidable de 1".

La comparación se realiza de acuerdo con los siguientes criterios:

1. Precio por metro.
2. Deflexión menor a 3 mm.
3. Factor de seguridad mayor a 2.

En la Figura 5.3, la Figura 5.4 y la Figura 5.5 se puede observar ejemplos de las simulaciones realizadas en las dos configuraciones propuestas, y en la Tabla 5.4 se encuentran los resultados de todas las simulaciones realizadas.

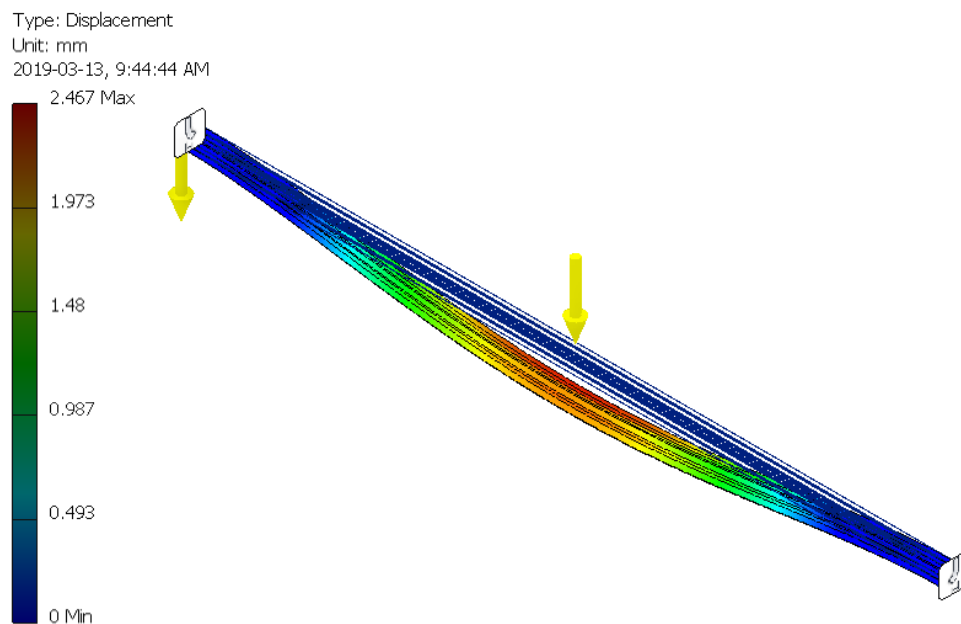


Figura 5.3. Simulación de flexión para deflexión con carga de 400 N (Al20x20).
Fuente: elaboración propia.

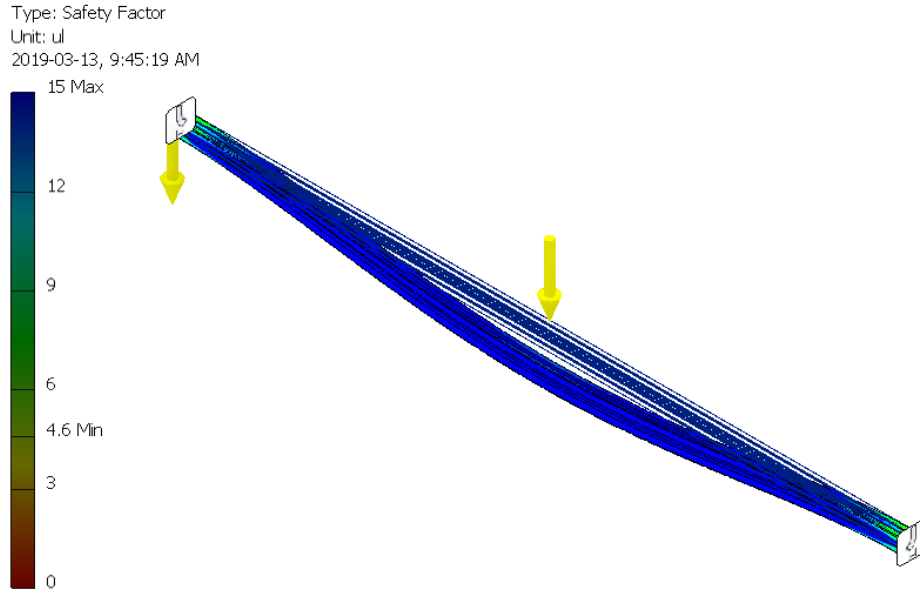


Figura 5.4. Simulación de flexión para F.S. con carga de 400 N (A120x20).
Fuente: elaboración propia.

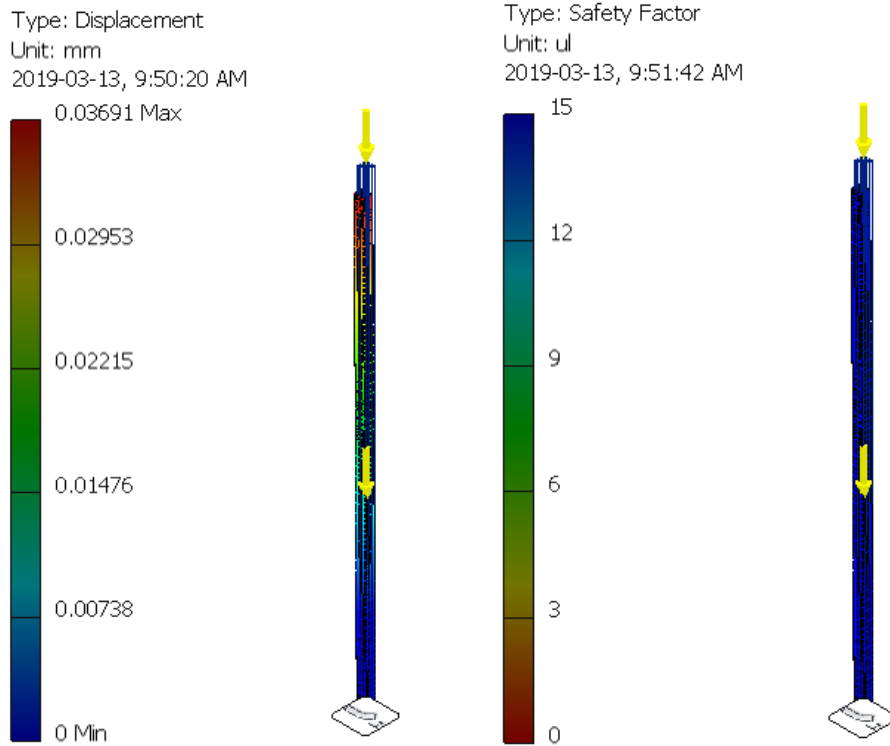


Figura 5.5. Simulación de pandeo con carga de 400 N (A120x20).
Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.4. Segunda evaluación de las propuestas de diseño.

| Criterio | | Aluminio 20x20 | Aluminio 30x30 | Acero tubo | Acero barra |
|--------------|----------------|-------------------|-------------------|------------|-------------|
| Precio (€/m) | | 12mil | 17mil | 6mil | 53mil |
| Flexión | Deflexión (mm) | 2.456 | 0.6467 | 0.9518 | 0.3318 |
| | F.S. | 4.6 | 12.05 | 3.19 | 15 |
| Pandeo | Deflexión (mm) | 0.04 | 0.02 | 0.018 | 0.007 |
| | F.S. | 15 | 15 | 15 | 15 |

Fuente: elaboración propia.

Se observa que todas las opciones cumplen con los requerimientos establecidos. Debido al precio, se descarta la barra de acero. En cuanto a las opciones de aluminio, se descarta el perfil de 30x30 ya que el de 20x20 cumple con todos los requisitos.

Para elegir entre el perfil 20x20 y el tubo de acero se toma en cuenta, adicionalmente al precio, la facilidad en la manufactura y el peso final de la estructura; en estos dos aspectos, el ganador es el perfil de aluminio. En primer lugar, para el ensamblaje de la estructura se puede utilizar, en su totalidad, elementos como tornillos, pernos y tuercas, mientras que el acero requiere de soldadura o bien, trabajo adicional para el uso de los mismos elementos lo cual repercutirá en el precio.

Por otro lado, el peso final de la estructura en aluminio será aproximadamente la mitad de lo que sería en acero, lo que facilita la manipulación de la máquina. Adicionalmente, el perfil de aluminio brinda la ventaja de gran versatilidad para la futura modificación del dispositivo y la reutilización de los elementos en la implementación de otras máquinas.

Finalmente, a pesar de que el precio del perfil de aluminio es el doble que el del tubo de acero, su utilización conlleva ventajas importantes. Adicionalmente, en la empresa favorecen el uso del aluminio debido a las ventajas expuestas. Por lo tanto, se selecciona el perfil de aluminio de 20x20 para la construcción de la estructura.

5.2.5.3. Carro

Se realiza una estructura con los perfiles de aluminio seleccionados. Para el deslizamiento se emplean ruedas compatibles con estos perfiles. Las dimensiones se ajustan de acuerdo con

los helados que debe transportar. Se puede ver en la Figura 5.6. El peso total del carro cargado con los helados es de 100 N.

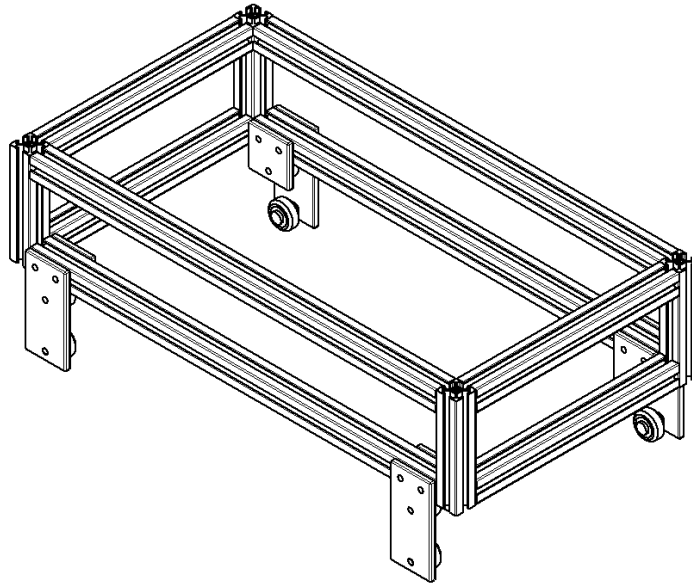


Figura 5.6. Modelo del carro.
Fuente: elaboración propia.

5.2.5.4. Uniones con pernos

El caso crítico para los pernos está dado por la carga a cortante con una fuerza de 600 N. Por lo tanto, se calcula el número mínimo de pernos necesarios para soportar esta carga. Los pernos por utilizar son de acero con un diámetro efectivo de 3 mm.

$$F = 600 \text{ N} \quad S_p = 240 \text{ MPa} \quad n = 2 \quad A = 7 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\tau_{max} = \frac{F}{A \cdot n_p} = \frac{S_p}{2n}$$

$$n_p = \frac{2n \cdot F}{A \cdot S_p} = 1.5$$

$$\boxed{n_p = 2}$$

Por lo tanto, se utiliza un mínimo de 2 pernos en cada unión por realizar. Este número también garantiza la adecuada alineación de las piezas.

5.2.5.5. Sistema de poleas

Para el movimiento lineal del carro se utiliza una banda dentada de 15 mm de ancho, 2 m de largo y un paso de 3 mm, con sus respectivas poleas. Se emplea un motor a pasos para el movimiento debido a la necesidad de moverse a las posiciones específicas de cada pareja de helados.

La resistencia de la banda es de 80 kg, mientras que la carga máxima no sobrepasará los 10 kg, por lo que no hay inconveniente por la falla y el desgaste se reduce. Cabe destacar que esta es la banda con menor resistencia disponible. En la Figura 5.7 se encuentra el esquema general del sistema de poleas.

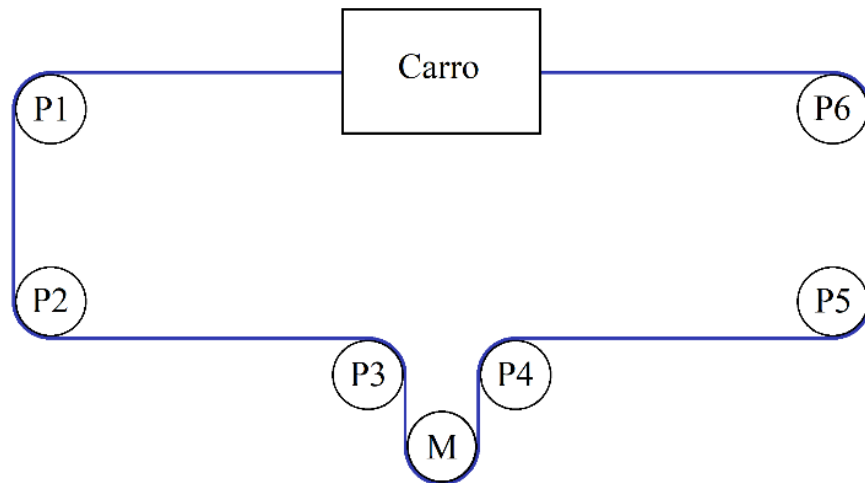


Figura 5.7. Esquema de montaje del sistema de poleas.
Fuente: elaboración propia.

Para sujetar la banda al carro, es necesario diseñar una agarradera que cumpla con esta función; se fabrica de acero inoxidable. En la Figura 5.8 se observan las simulaciones realizadas para dicho elemento; para una fuerza equivalente al peso total del carro cargado (100 N) se obtiene un factor de seguridad de 8 y una deflexión de 0.002 mm. La banda se introduce en la agarradera, se dobla sobre sí misma y se prensa con una agarradera metálica.

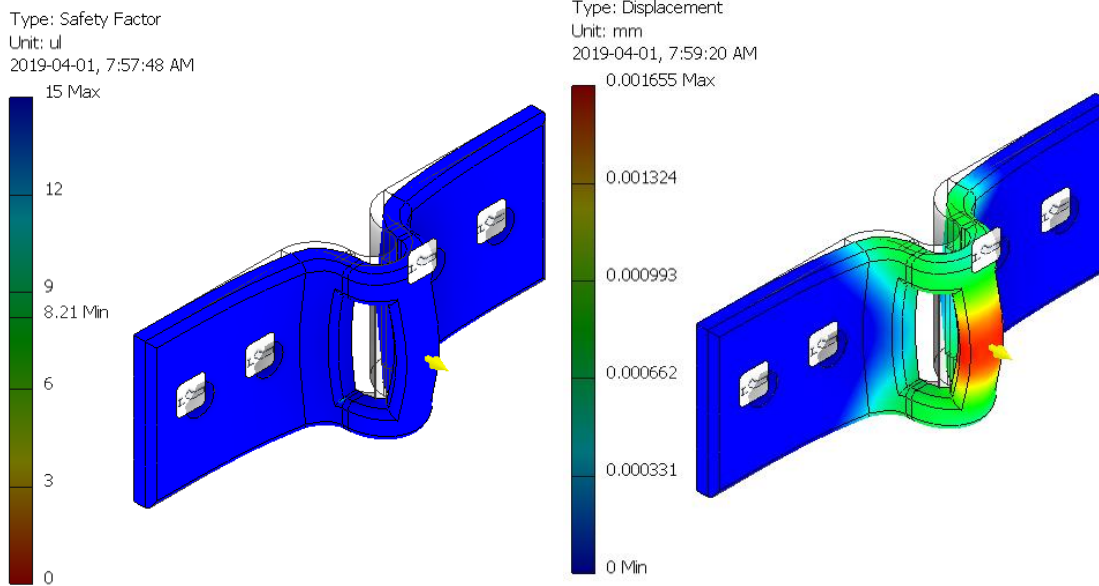


Figura 5.8. Resultados de simulaciones para la agarradera de banda.
Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la sujeción de las poleas, se decide utilizar cojinetes montados en bases horizontales y verticales de acuerdo con la ubicación de estas; serán sujetadas mediante pernos a la estructura de perfil de aluminio; en la Figura 5.9 se observan estos cojinetes. El estado de carga de estos es de 100 N a 10 RPM que se encuentra por debajo de los 300 N a 1800 RPM para los que están diseñados los cojinetes.



Figura 5.9. Cojinetes para utilizar en el sistema de poleas.
Fuente: amazon.com.

Por otro lado, para unir las poleas con estos cojinetes, se emplearán ejes de acero inoxidable de las longitudes necesarias. Para efectos de falla, se analiza el caso crítico que

consiste en el eje de diámetro 10 mm, longitud 60 mm y bajo una carga equivalente al peso del carro cargado se analiza el caso crítico para efectos de falla. En la Figura 5.10 se muestran los resultados de las simulaciones realizadas al respecto; se obtuvo un factor de seguridad de 4.5 y una deflexión de 0.08.

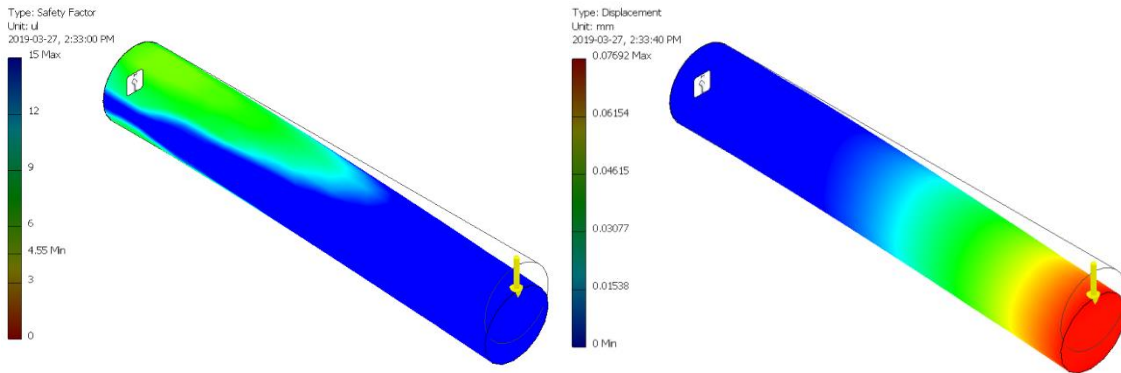


Figura 5.10. Resultados de simulaciones para los ejes de polea.
Fuente: elaboración propia.

5.2.5.6. Final de carrera

Para el límite lineal del movimiento del carro, se emplea un final de carrera. Se emplea la estructura de la Figura 5.11 para sujetarlo en la posición adecuada. Las piezas se fabrican en acrílico de 5 mm.

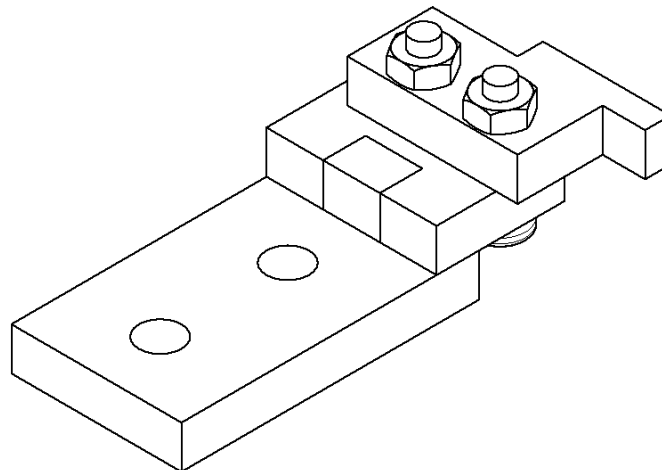


Figura 5.11. Modelo del final de carrera.
Fuente: elaboración propia.

5.2.5.7. Mordazas de sellado

Se debe garantizar que se aplique la presión necesaria, por lo que sus dimensiones dependen de esto y de la longitud necesaria para el sellado simultaneo de las dos bolsas. A partir de la presión requerida de 4.5 N/cm^2 y una longitud de 15.24 cm, se establece que el ancho debe ser de 1.5 cm. En la Figura 5.12 se puede ver el modelo general de las mordazas. Las mordazas se accionarán mediante un pistón neumático.

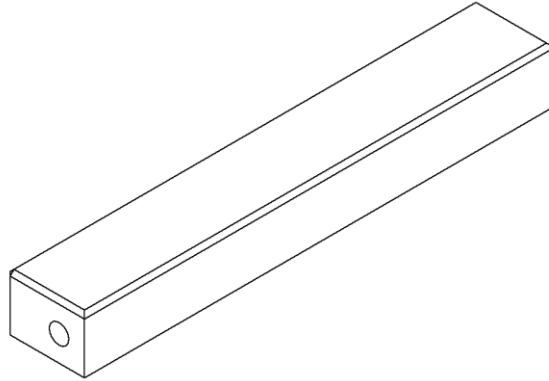


Figura 5.12. Modelo de la mordaza de sellado.
Fuente: elaboración propia.

Las mordazas serán extraídas de una selladora portátil disponible comercialmente que se puede ver en la Figura 5.13. Debido a que se desconoce el método de montaje, se asumirá que es mediante tornillos en la parte trasera y se realizarán las correcciones pertinentes una vez que sea realice la compra. Estas tienen la ventaja de contar con recubrimiento de teflón.



Figura 5.13. Mordazas de sellado por utilizar.
Fuente: amazon.com.

5.2.5.8. Ejes guía de mordaza

En la Figura 5.14 se observa el diagrama de cuerpo libre para los ejes guía de las mordazas. Se tiene una fuerza F igual al peso combinado de las mordazas, sus soportes y la barra. En este caso el material es acero inoxidable 304. La longitud de la barra es 120 mm y el momento flector máximo ocurre en la mitad. Cabe destacar que el peso se divide entre las dos guías utilizadas.

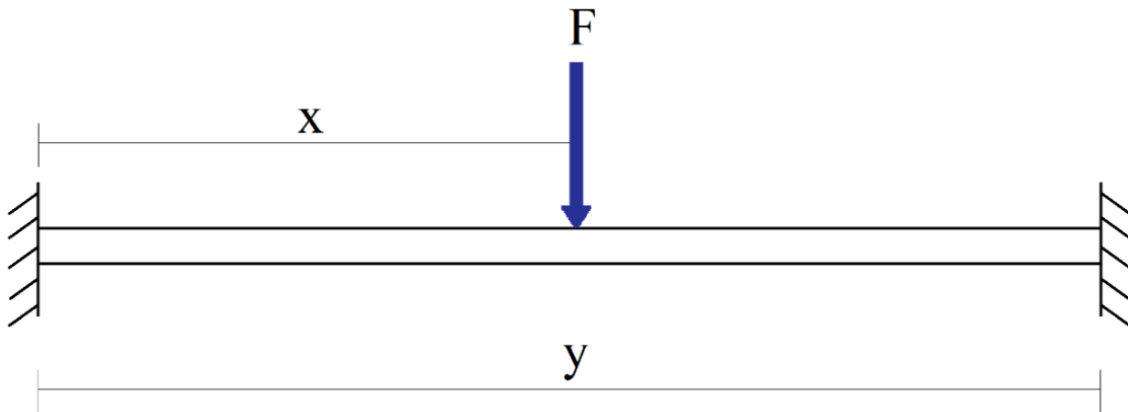


Figura 5.14. DCL para ejes guía de mordazas.

Fuente: elaboración propia.

$$F = 5 \text{ N} \quad S_y = 276 \text{ MPa} \quad y = 120 \text{ mm} \quad x = 60 \text{ mm} \quad FS = 3$$

$$\frac{S_y}{FS} = \frac{Mc}{I} = \frac{32 \cdot F \cdot x}{\pi d^3}$$

$$\boxed{d \geq 3.22 \text{ mm}}$$

Por lo tanto, se utilizará un eje de 10 mm con el fin de facilitar la manipulación y el montaje mediante tornillos.

5.2.5.9. Bocines para movimiento lineal

Se establece el largo como dos veces el diámetro del eje y el agujero ligeramente mayor al diámetro; las otras dimensiones se definieron para ajustarse a la geometría del mecanismo. En la Figura 5.15 se pueden observar todas las dimensiones.

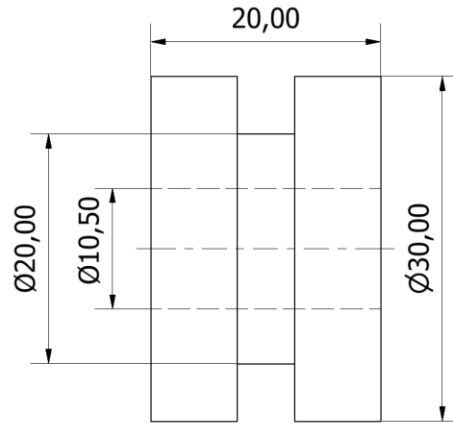


Figura 5.15. Dimensiones de los bocines para movimiento lineal (mm).
Fuente: elaboración propia.

5.2.5.10. Placas para mordazas de sellado

Para sujetar las mordazas se emplean placas de acero inoxidable de 5 mm de espesor. Las geometrías correspondientes se pueden observar en la Figura 5.16; la de la izquierda corresponde a la mordaza móvil debido a la necesidad de los bocines de deslizamiento.

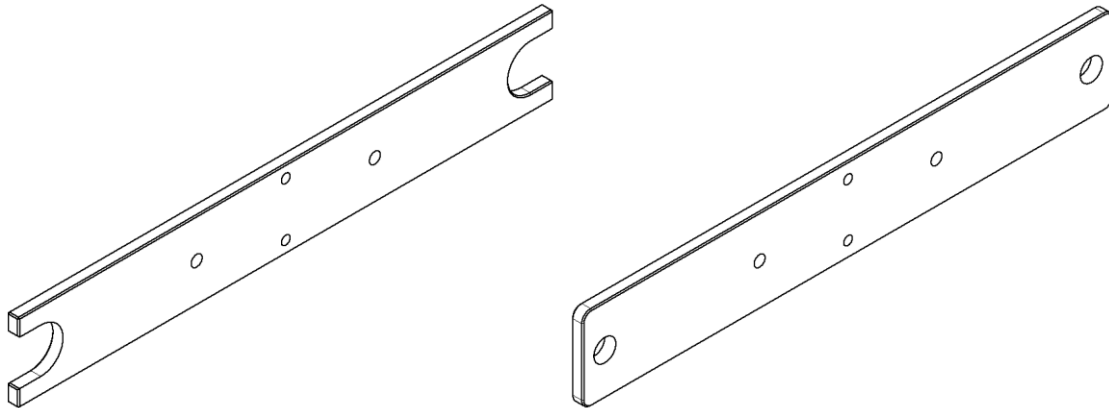


Figura 5.16. Modelos de las placas para las mordazas de sellado.
Fuente: elaboración propia.

5.2.5.11. Placa ejes guía

Este elemento se sujeta a la estructura y se encarga de fijar los ejes guía en posición. Se fabrica en acero inoxidable de 5 mm de espesor y se puede ver en la Figura 5.17.

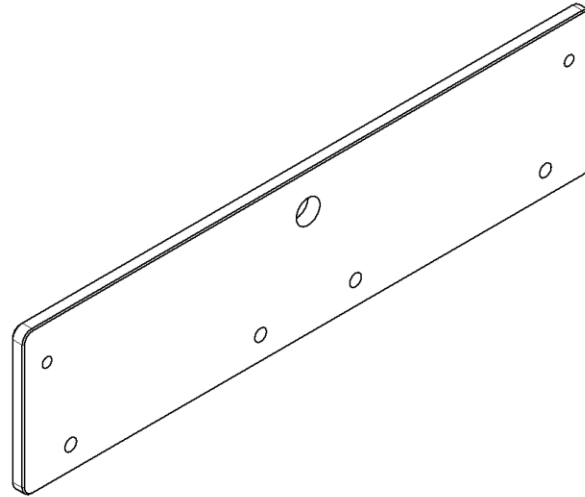


Figura 5.17. Modelo de la placa para los ejes guía.
Fuente: elaboración propia.

5.2.5.12. Soporte para pistones

Para la sujeción de los pistones se emplea un segmento de perfil de aluminio y un par de piezas de metal en forma de “L”; en uno de los extremos posee un agujero compatible con el pistón y en el otro posee agujeros para ser atornillado al perfil. En la Figura 5.18 se observa el montaje y la simulación de desplazamiento realizada; se observa que la condición de carga del perfil implica una deflexión despreciable.

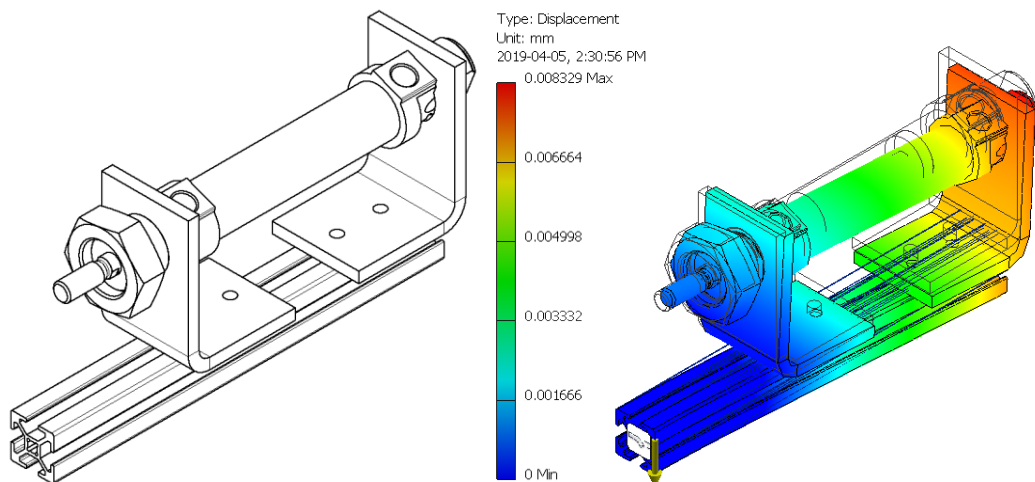


Figura 5.18. Modelo y simulación de los soportes para pistones.
Fuente: elaboración propia.

5.2.5.13. Cuadrícula de almacenamiento

Esta debe cumplir con las dimensiones del helado con un espacio adicional para asegurar la caída de este; cuenta con 28 espacios para el procesamiento de un lote completo. El material seleccionado es acrílico de 3 mm de espesor. Las dimensiones de cada espacio son 2.7x5.5x11cm. Se puede observar en la Figura 5.19.

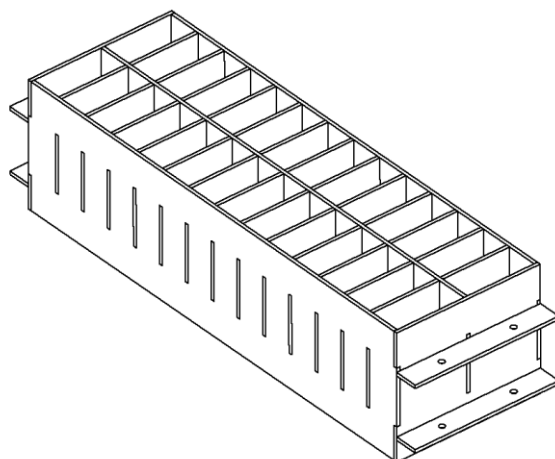


Figura 5.19. Modelo de la cuadrícula de almacenamiento.
Fuente: elaboración propia.

5.2.5.14. Guía caída

Debe tener las mismas dimensiones determinadas para la cuadrícula de almacenamiento. La altura puede ser diferente, por lo que se fija en 6 cm. El material seleccionado es acrílico de 3 mm de espesor. Se puede observar en la Figura 5.20.

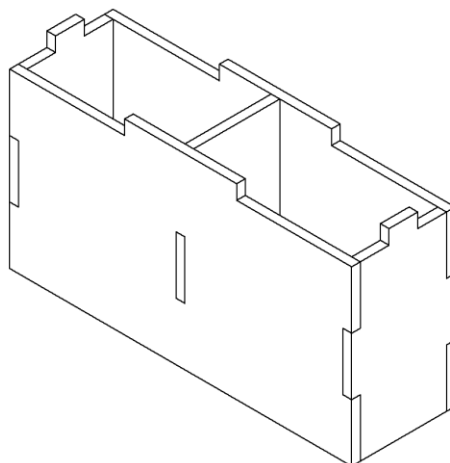


Figura 5.20. Modelo de la guía de caída.
Fuente: elaboración propia.

5.2.5.15. Guía sellado

Se conservan las medidas de la guía de caída y se añade una tolva para asegurar la adecuada caída de los helados. Se puede encontrar en la Figura 5.21.

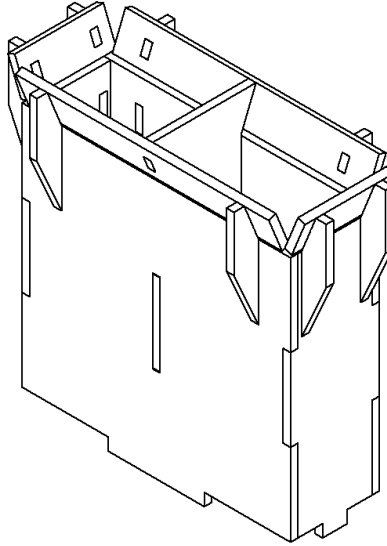


Figura 5.21. Modelo de la guía de sellado.
Fuente: elaboración propia.

5.2.5.16. Compuerta inferior

La compuerta inferior será accionada mediante un pistón neumático. Los esfuerzos que este mecanismo debe soportar son los provocados por los dos helados que debe sostener; su peso combinado es de 2 N. Este será fabricado con acrílico de 5 mm y se observa en la Figura 5.22.

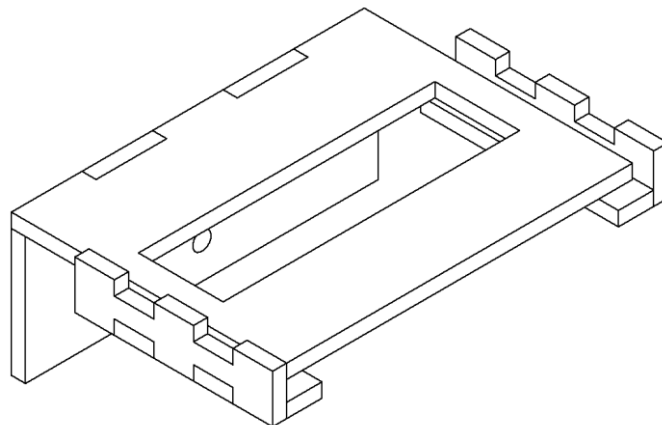


Figura 5.22. Modelo de la compuerta inferior.
Fuente: elaboración propia.

Debido a la baja condición de carga, se decide que este mecanismo consista en una placa deslizante con dos posiciones definidas por la carrera del cilindro; en la primera, la caída de los helados coincide con la parte sólida de la placa, mientras que en la segunda coinciden con el agujero presente en esta.

5.2.5.17. Rampa inferior

Para la caída final de los helados empacados, se realiza una rampa que los guía desde el área de sellado hasta el recipiente final. Esta es fabricada en acrílico de 5 mm y se puede observar en la Figura 5.23. Este elemento está soportado tanto en la placa superior como en la inferior, sus dimensiones dependen de la abertura del helado y los esfuerzos a los que está sometido son los generados por el impacto de los dos helados al caer.

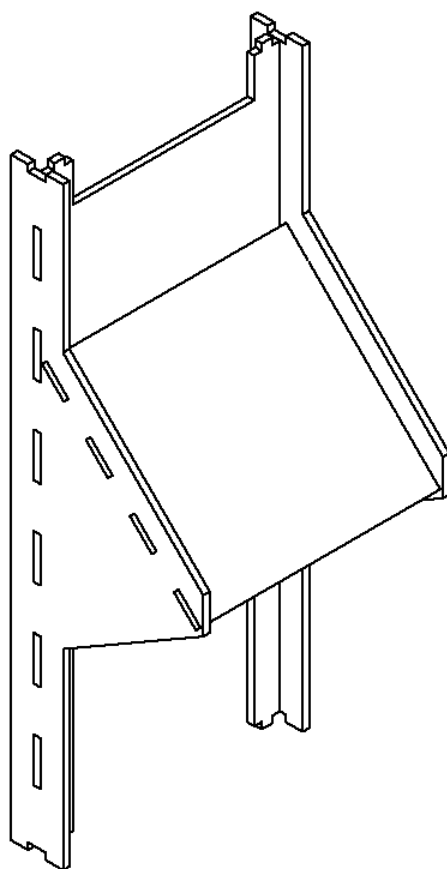


Figura 5.23. Modelo de la rampa inferior.
Fuente: elaboración propia.

5.2.5.18. Superficies

Las superficies necesarias se realizan en acrílico de 5 mm. En la siguiente lista se encuentran las medidas de las láminas, en cada caso pueden contener agujeros para montaje y función que son detallados en los planos.

- Superior: 40x104 cm.
- Deslizante: 20x87 cm.
- Sellado: 20x27 cm.
- Inferior Vertical: 40x38 cm.
- Inferior Horizontal: 100x40 cm.

5.2.5.19. Gabinete

El gabinete para los circuitos de control y alimentación se realiza en acrílico de 5 mm. En las paredes se realizan aberturas para la adecuada ventilación de los componentes. El resultado se puede observar en la Figura 5.24.

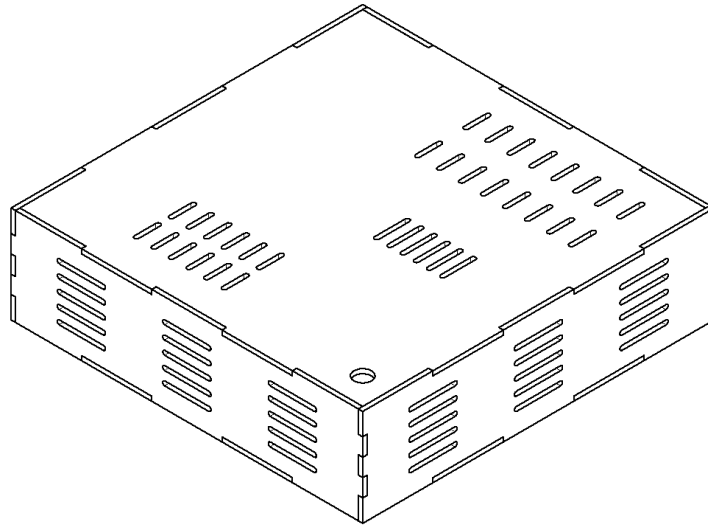


Figura 5.24. Modelo del gabinete.
Fuente: elaboración propia.

5.2.5.20. Caja sensores

La caja para el soporte y protección de los sensores capacitivos por utilizar se puede ver en la Figura 5.25.

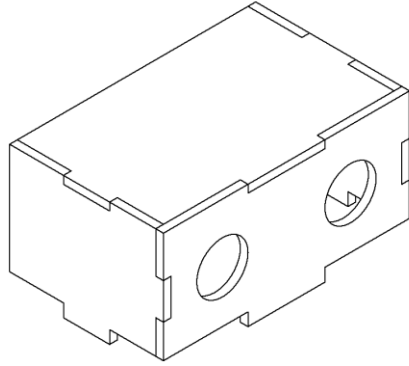


Figura 5.25. Modelo de la caja para sensores.
Fuente: elaboración propia.

5.2.5.21. Panel de control

Para la interfaz de usuario, se emplea el panel de control que se observa en la Figura 5.26. Dispone de una pantalla *LCD*, botones, indicadores *LED* y potenciómetros.

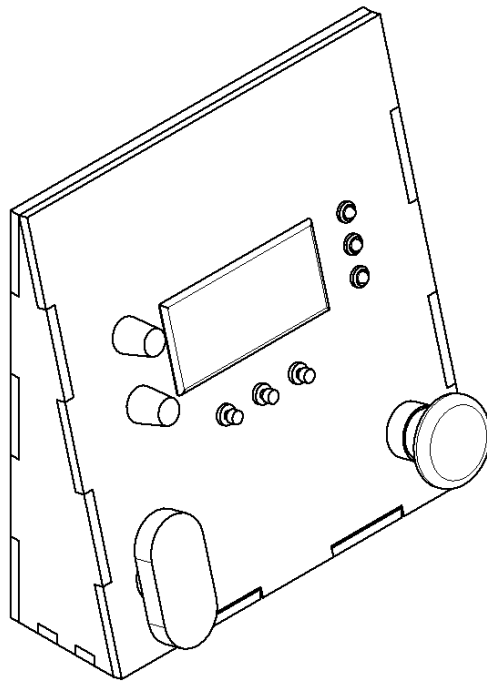


Figura 5.26. Modelo del panel de control.
Fuente: elaboración propia.

5.2.5.22. Uniones acrílico-acrílico

Para unir los subensambles conformados por piezas de acrílico, se utiliza cemento acrílico con un aplicador con jeringa (TAP Plastics, 2012).

5.2.5.23. Lista y costos de los componentes

En la Tabla 5.5 se encuentra el listado de los componentes mecánicos con sus respectivas cantidades y precios.

Tabla 5.5. Lista de componentes mecánicos.

| Componente | Descripción | Precio unitario (₡) | Unidades | Precio total (₡) |
|---------------------------|--|----------------------------|-----------------|-------------------------|
| Perfil | ITEM 2020 | 12 000 | 27 | 324 000 |
| Pernos estructura | M5x10 (100) | 13 000 | 1 | 13 000 |
| Tuercas estructura | T-Slot nut 2020 (100) | 13 000 | 1 | 13 000 |
| Codos internos | Para perfil 2020 (20) | 20 000 | 6 | 120 000 |
| Codos externos | Para perfil 2020 (20) | 30 000 | 1 | 30 000 |
| Ruedas carro | V-Slot 10.2 mm | 1 100 | 8 | 8 800 |
| Placas ruedas carro | - | 18 000 | 4 | 72 000 |
| Pernos ruedas | M5x30 (500) y M5x40 (500) | 10 000 | 2 | 20 000 |
| Tuercas ruedas | M5 (100) | 8 000 | 1 | 8 000 |
| Arandelas | M5x1 (100) | 5 000 | 1 | 5 000 |
| Poleas | POWGE HTD 3M, 24 dientes, 10 mm agujero. | 3 000 | 7 | 21 000 |
| Banda dentada | POWGE, 10 metros, 3M, abierta de 15mm | 40 000 | 1 | 40 000 |
| Agarradera de banda | - | 25 000 | 2 | 50 000 |
| Eje polea | De 60 mm y 44 mm. | 500 | 6 | 3 000 |
| Tornillo final de carrera | M3x14 (50) | 5 000 | 1 | 5 000 |
| Tuerca final de carrera | M3 (100) | 5 000 | 1 | 2 000 |
| Mordaza | Con resistencia. KF-150CST. | 45 000 | 2 | 45 000 |
| Eje guía | - | 15 000 | 2 | 30 000 |
| Bocín nylon | - | 8 000 | 2 | 16 000 |
| Placa mordaza móvil | - | 25 000 | 1 | 25 000 |
| Placa mordaza fija | - | 25 000 | 1 | 25 000 |
| Placa ejes guía | - | 22 000 | 2 | 44 000 |
| Barra roscada | M8x70 | 4 000 | 1 | 4 000 |
| Tuercas barra | M8 (20) | 7 000 | 1 | 7 000 |
| Brida placa mordaza | Agujero 8 mm | 7 000 | 2 | 14 000 |
| Tornillo brida | M4x12 (50) | 5 000 | 1 | 5 000 |
| Tuerca brida | M4 (100) | 2 000 | 1 | 2 000 |
| Soporte pistón | - | 12 000 | 4 | 50 000 |

| | | | | |
|------------------------|-------------------|--------|---|------------------|
| Almacenamiento | 11/16 de 3mm | 62 000 | 1 | 62 000 |
| Guía caída | 3/32 de 3mm | 9 000 | 1 | 9 000 |
| Guía sellado | 1/4 de 3mm | 22 500 | 1 | 22 500 |
| Caja sensores | 3/32 de 3mm | 8 500 | 1 | 8 500 |
| Final de carrera | 1/128 de 5mm | 2 500 | 1 | 2 500 |
| Compuerta inferior | 1/32 de 5mm | 8 500 | 1 | 8 500 |
| Rampa inferior | 1/8 de 5mm | 34 000 | 1 | 34 000 |
| Superficie superior | 3/16 de 5mm | 51 000 | 1 | 51 000 |
| Superficie deslizante | 1/8 de 5mm | 34 000 | 1 | 34 000 |
| Superficie de sellado | 1/32 de 5mm | 8 500 | 1 | 8 500 |
| Superficie inferior v. | 1/16 de 5mm | 17 000 | 1 | 17 000 |
| Superficie inferior h. | 3/16 de 5mm | 51 000 | 1 | 51 000 |
| Gabinete | 3/16 de 5mm | 51 000 | 1 | 51 000 |
| Panel de control | 7/128 de 5mm | 15 000 | 1 | 15 000 |
| Ruedas estructura | 2'' <i>caster</i> | 6 000 | 4 | 24 000 |
| Pegamento acrílico | Scigrip 4 10308 | 11 000 | 2 | 22 000 |
| Total | | | | 1 422 300 |

Fuente: elaboración propia.

5.2.6. Componentes electromecánicos

5.2.6.1. Pistón neumático sellado

Se debe establecer la fuerza de sellado (F_s) a partir de la presión de sellado. Luego, se calcula la fuerza de avance (F_a) tomando en cuenta el peso de las mordazas y el soporte para establecer la fuerza de fricción al deslizamiento (F_r). Finalmente, se obtiene el diámetro mínimo del pistón neumático y el consumo de aire del pistón.

$$P_s = 45 \text{ kPa} \quad A = 1.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad P = 600 \text{ kPa} \quad W = 5 \text{ N}$$

$$F_s = P_s A = 81 \text{ N}$$

$$F_a = 2F_r + F_s = 2 \cdot 5 \cdot 0.38 + 81$$

$$F_a = 85 \text{ N}$$

$$F_a = P \frac{d^2 \pi}{4} - 0.1P \frac{d^2 \pi}{4}$$

$$\boxed{d \geq 14.16 \text{ mm}}$$

$$n = 6 \frac{\text{ciclos}}{\text{min}} \quad P_{atm} = 101.325 \text{ kPa} \quad L = 0.1 \text{ m} \quad D = 0.02 \text{ m} \quad d = 0.01 \text{ m}$$

$$Q_{p1} = n \left(\frac{P}{P_{atm}} + 1 \right) \frac{\pi L (2D^2 - d^2)}{4}$$

$$Q_{p2} = 3.85 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

5.2.6.2. Pistón neumático compuerta

Se procede de manera similar al caso anterior.

$$P_s = 45 \text{ kPa} \quad A = 1.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad P = 600 \text{ kPa} \quad W = 1 \text{ N}$$

$$F_a = F_r = 1 * 0.38$$

$$F_a = 0.38 \text{ N}$$

$$F_a = P \frac{d^2 \pi}{4} - 0.1P \frac{d^2 \pi}{4}$$

$$\boxed{d \geq 1 \text{ mm}}$$

Debido a que la carga es sumamente pequeña, el diámetro requerido es pequeño. Para los cálculos se utilizará el pistón con las dimensiones mínimas necesarias.

$$n = 6 \frac{\text{ciclos}}{\text{min}} \quad P_{atm} = 101.325 \text{ kPa} \quad L = 0.03 \text{ m} \quad D = 0.012 \text{ m} \quad d = 0.006 \text{ m}$$

$$Q_{p2} = n \left(\frac{P}{P_{atm}} + 1 \right) \frac{\pi L (2D^2 - d^2)}{4}$$

$$Q_{p2} = 6.35 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

5.2.6.3. Compresor

Para caracterizar el compresor, primero se establecen las pérdidas esperadas en el sistema; estas se listan en la Tabla 5.6. Posteriormente se calcula el consumo de aire de los elementos (Q_p), la presión del compresor (P_c), la potencia del compresor (P_{ot}) y el caudal del compresor (Q).

Tabla 5.6. Pérdidas de presión en los elementos del sistema.

| Elemento | Caída de presión (kPa) | Unidades | Caída de presión total (kPa) |
|--------------|------------------------|----------|------------------------------|
| Válvula | 8 | 2 | 16 |
| FRL | 65 | 1 | 65 |
| Reg. Flujo | 3 | 2 | 6 |
| Manguera | 1 | 6 | 6 |
| Total | | | 93 |

Fuente: elaboración propia.

$$P_s = 600 \text{ kPa} \quad \Delta p = 82 \text{ kPa}$$

$$P_c = P_s + \Delta p = 693 \text{ kPa}$$

$$\boxed{P_c = 700 \text{ kPa}}$$

$$Q = 1.5 (Q_{p1} + Q_{p2})$$

$$\boxed{Q = 6 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$P_{ot} = P_c \cdot Q$$

$$\boxed{P_{ot} = 42 \text{ W}}$$

5.2.6.4. FRL

La unidad técnica de mantenimiento debe cumplir con las funciones de filtrado, regulado y lubricado con un manómetro incorporado. Lo anterior tomando en cuenta las características de caudal y presión establecidas para el compresor.

5.2.6.5. Motor del sistema de poleas

Para establecer el motor necesario, se requiere determinar el torque de este. Para ello, se debe obtener la fuerza necesaria a partir de la carga que el motor debe desplazar. En la Figura 5.27 se puede ver el diagrama de cuerpo libre del carro.

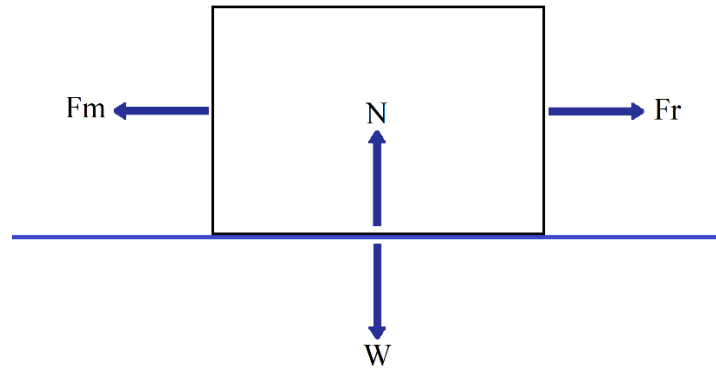


Figura 5.27. DCL del carro.
Fuente: elaboración propia.

$$W = 100 \text{ N} \quad \mu = 1 \quad r = 0.02 \text{ m}$$

$$F_m = F_r = N \cdot \mu$$

$$F_m = 100 \text{ N}$$

$$\tau_m = r \cdot F_m$$

$$\boxed{\tau_m = 2 \text{ Nm}}$$

5.2.6.6. Resistencia de mordazas

El sistema contiene dos resistencias, cada una de las cuales es controlada individualmente. El circuito simplificado correspondiente para cada resistencia se puede observar en la Figura 5.28. En primera instancia se debe calcular el flujo de transferencia de calor (Q), a partir del cual se puede determinar el valor necesario para la resistencia. El material de las mordazas es bronce.

$$T_A = 115^\circ\text{C} \quad T_B = 25^\circ\text{C} \quad L = 4 \times 10^{-3} \text{ m} \quad A = 1.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad K = 151 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$h = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$Q = \frac{T_A - T_B}{\frac{L}{K \cdot A} + \frac{1}{h \cdot A}}$$

$$Q = 1.62 \text{ W}$$

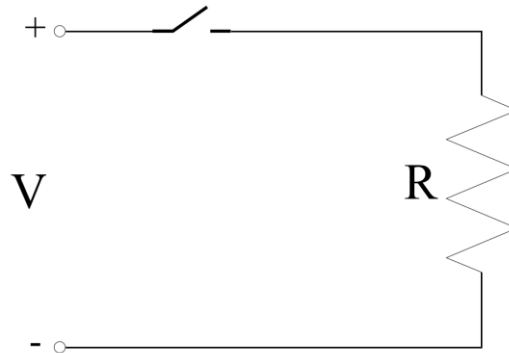


Figura 5.28. Circuito de las resistencias de las mordazas.
Fuente: elaboración propia.

$$V = 24 \text{ V}$$

$$R = \frac{V^2}{Q}$$

$$\boxed{R = 360 \Omega}$$

5.2.6.7. Lista y costos de los componentes

En la Tabla 5.7 se encuentra el listado de los componentes mecánicos con sus respectivas cantidades y precios.

Tabla 5.7. Lista de componentes electromecánicos.

| Componente | Descripción | Precio unitario (₡) | Unidades | Precio total (₡) |
|--------------------------|---------------------|---------------------|----------|------------------|
| Pistón sellado | Festo DSNU-20-50 | 130 000 | 1 | 130 000 |
| Pistón compuerta | Festo DSNU-20-30 | 130 000 | 1 | 130 000 |
| Válvula electroneumática | Festo CPE10-M1BH-5L | 155 000 | 2 | 310 000 |
| Compresor | Senco PC1010 | 120 000 | 1 | 120 000 |
| FRL | FRC 1/4 | 115 000 | 1 | 115 000 |
| Válvulas reguladoras | GR-QS-3 | 15 000 | 4 | 60 000 |

| | | | | |
|----------------------|--|--------|---|----------------|
| Manguera | Metros | 2 000 | 5 | 10 000 |
| Motor a pasos | Nema 23 CNC Stepper Motor | 60 000 | 1 | 60 000 |
| Resistencia mordazas | Con mordaza. KF-150CST. Ya incluido en mecánicos. | - | 2 | - |
| Total | | | | 935 000 |

Fuente: elaboración propia.

5.2.7. Componentes electrónicos

El control electrónico será realizado por un microcontrolador principal, mientras que para la parte de IoT se decidió utilizar un microcontrolador secundario con capacidad de conexión inalámbrica a internet. Este operará como esclavo del microcontrolador principal; recibirá de este comando de envío de información que se debe almacenar en la nube. De esta manera, el microcontrolador principal será independiente del estado de la conexión a internet y sus posibles problemas no le afectarán.

5.2.7.1. Microcontrolador principal

Las características necesarias en este microcontrolador son las siguientes:

1. 12 salidas digitales.
2. 6 entradas digitales.
3. 2 entradas analógicas.
4. Comunicación: 2 *UART* (para pantalla e internet).
5. Interrupciones externas: 1.

Para realizar la selección se presenta la Tabla 5.8 donde se encuentran los candidatos de controlador y los criterios para la selección. En el caso de los requisitos anteriores, se puntúa con 1 o 0 dependiendo de si cumple o no, para los otros criterios, la puntuación va de 0 a 5; el candidato con la puntuación más alta es el ganador.

Tabla 5.8. Comparación de candidatos para microcontrolador principal.

| Criterio | Atmega328p | STM32f103 | LaunchPad MSP430G2 |
|-----------------|-------------------|------------------|---------------------------|
| Entradas | 1 | 1 | 1 |
| Salidas | 1 | 1 | 0 |
| Comunicación | 1 | 1 | 1 |

| | | | |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Interrupciones | 1 | 1 | 1 |
| Precio | 5 | 4 | 4 |
| Facilidad de programación | 5 | 3 | 3 |
| Total | 14 | 11 | 10 |

Fuente: elaboración propia.

Al microcontrolador principal se le colocarán *heat sinks* y un ventilador para prevenir sobrecalentamientos. Esta es una medida preventiva ya no se espera un calentamiento considerable en su uso; los periodos de uso son cortos y la carga del controlador es media-baja.

5.2.7.2. Microcontrolador para IoT

Para este caso se decide utiliza un módulo ESP8266. Este contará con la biblioteca *WiFiManager*. Esta permite configurar la conexión inalámbrica mediante un *Access Point* generado por el ESP8266. Los datos serán registrados en una hoja de cálculo de *Google*, ya que las opciones de plataformas *IoT* por lo general son de pago y en sus versiones gratuitas tienen problemas de saturación de servidores; sin embargo, en el futuro se puede modificar fácilmente el sistema para conectarse con estos servidores.

5.2.7.3. Control de temperatura

Para el control de temperatura es necesario emplear una termocupla para cada mordaza y un amplificador para cada una de las termocuplas; se selecciona el MAX31850K debido a que solo requiere de un pin en el microcontrolador. Se utilizarán termocuplas tipo K y se unirán a la mordaza mediante la utilización de pasta térmica. Esta provee la sujeción y la adecuada transferencia térmica para una lectura más confiable de la temperatura.

Para el accionamiento de la resistencia existen dos posibilidades. La primera consiste en emplear un relé que estará accionado un porcentaje del periodo de muestreo; este porcentaje es proporcional a la salida del controlador. La segunda consiste en emplear un optoacoplador con una fase de potencia conformada por un MOSFET, IGBT, o similar, en conjunto con una señal de PWM proporcional a la salida del controlador. Se decide emplear la primera opción

debido a su simplicidad en implementación y componentes; sin embargo, el controlador seleccionado es capaz de ajustarse a cualquiera de las dos configuraciones en caso de ser necesario.

5.2.7.4. Sensores para el sellado

Para validar la presencia de los helados, se utilizará sensores capacitivos conectados en una *AND* alambrada para ahorrar una entrada en el microcontrolador.

5.2.7.5. Interfaz de usuario

Para la interfaz de usuario se implementará una pantalla LCD de 20x4. En esta se mostrará la siguiente información según la línea:

1. Estado de operación.
2. Unidades producidas.
3. Temperatura actual.
4. Temperatura y tiempo configurados.

La introducción de los valores de tiempo y temperatura será mediante el uso de dos potenciómetros. Las funciones de inicio, pausa y paro se realizarán mediante botones.

5.2.7.6. Circuitos

Se presenta, en primera instancia, el diagrama de conexión de la alimentación de todos los componentes de la máquina. Este circuito se puede ver en la Figura 5.29; se cuenta con una alimentación principal de 120 VAC, la cual es dividida en tres:

1. Conversor de 120 VAC a 24 VDC: alimenta los sensores capacitivos, el motor a pasos, las mordazas de sellado y las válvulas electroneumáticas.
2. Conversor de 120 VAC a 5 VDC: alimenta los circuitos de control.
3. Línea de 120 VAC: alimentación del compresor.

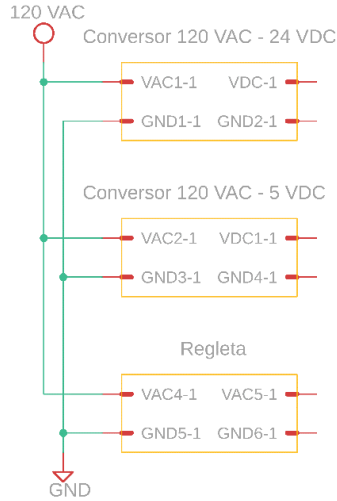


Figura 5.29. Circuito de conexión de la alimentación.
Fuente: elaboración propia.

Seguidamente, en la Figura 5.30 se presenta el circuito de conexión del MCU principal con los periféricos respectivos. De manera similar, se presenta para el MCU secundario en la Figura 5.31.

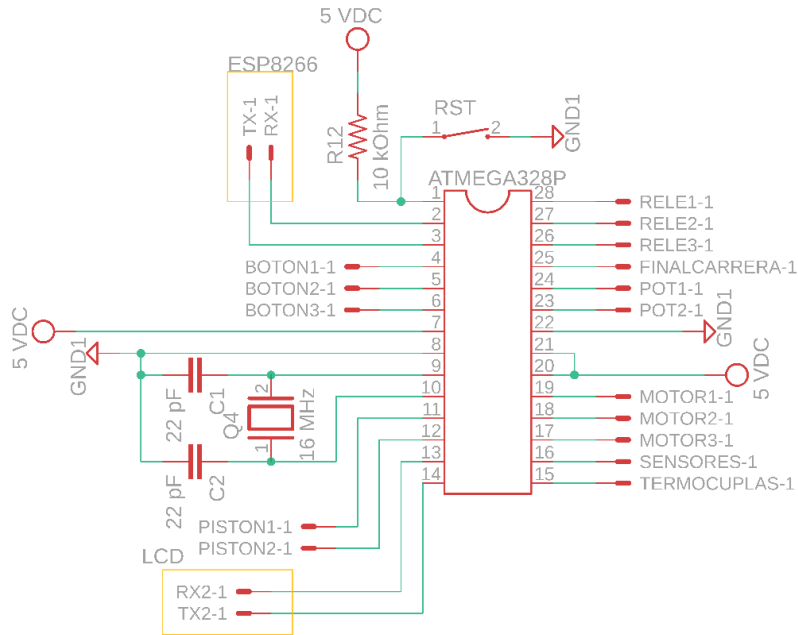


Figura 5.30. Circuito de conexión de MCU principal con periféricos.
Fuente: elaboración propia.

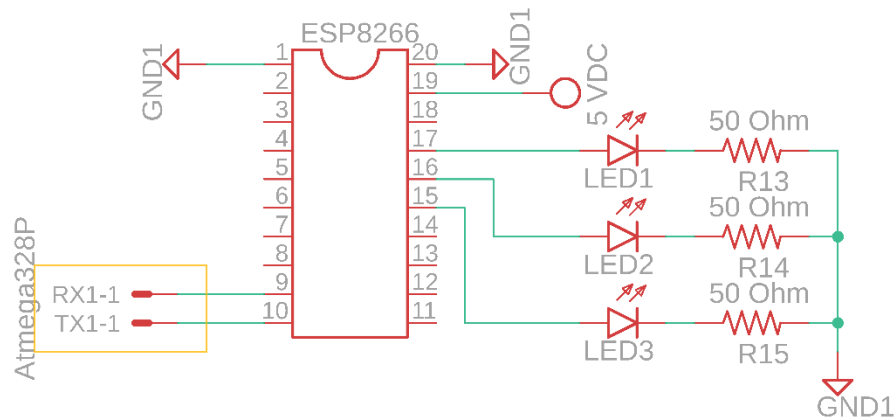


Figura 5.31. Circuito de conexión de MCU secundario con periféricos.
Fuente: elaboración propia.

Para el caso de los sensores capacitivos, es necesario convertir la señal de salida de 24 V al nivel lógico del MCU. Para esto se emplea el circuito mostrado en la Figura 5.32 en donde se emplea un optoacoplador PC817 y una resistencia. A la salida no se coloca una resistencia debido a que se emplea la resistencia de *pull-up* disponible en la entrada del MCU.

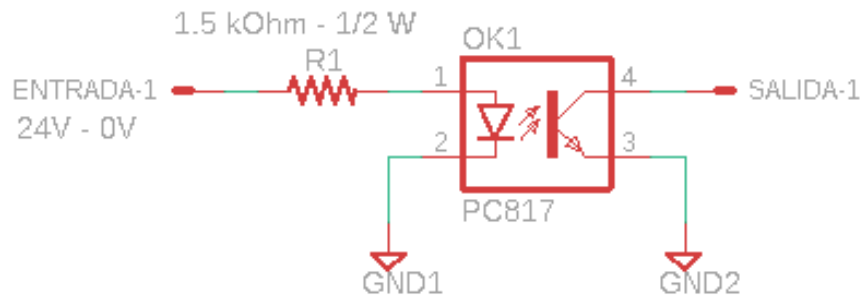


Figura 5.32. Circuito para la conversión de 24 V a 5 V.
Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, para el control de los elementos de potencia es necesario convertir la señal de control de 5 V a 24 V. Para esto se utiliza el circuito de la Figura 5.33; de manera similar al caso anterior, se emplea un optoacoplador PC817. Estos se emplean para las válvulas electroneumáticas, ya que se requiere una respuesta más rápida para el control del tiempo de sellado.

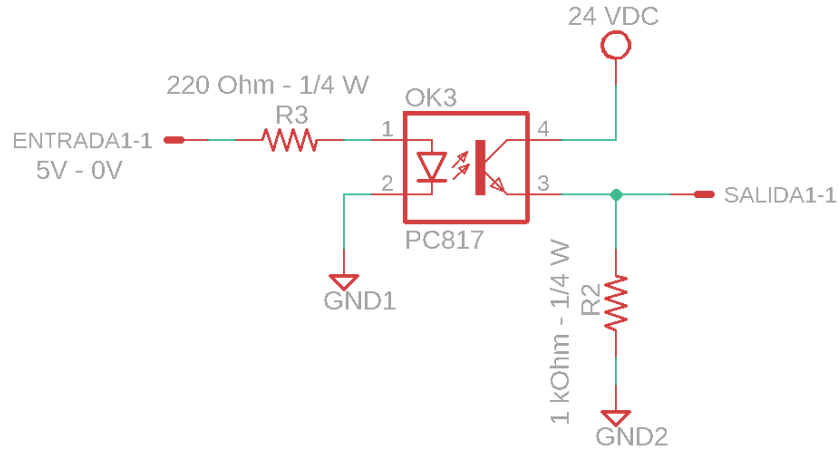


Figura 5.33. Circuito para la conversión de 5 V a 24 V.
Fuente: elaboración propia.

Para las salidas de potencia no sensibles al tiempo de respuesta se emplea el circuito de la Figura 5.34; en este se utiliza un relé accionado por una de las salidas del MCU.

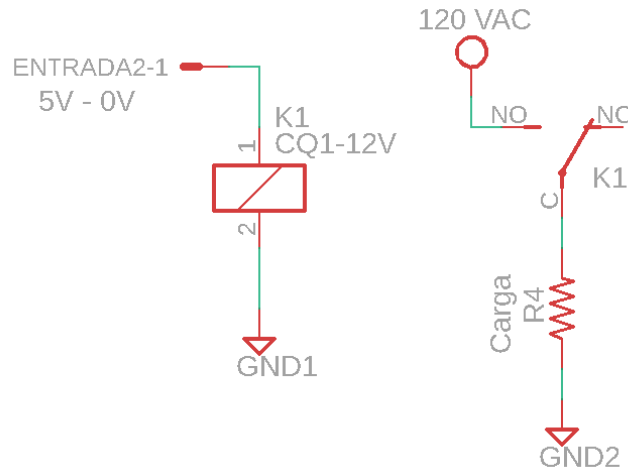


Figura 5.34. Circuito para el control por medio de relés.
Fuente: elaboración propia.

Seguidamente, con el fin de reducir las entradas necesarias en el MCU, se emplea una conexión de *AND* alambrada en los sensores capacitivos; para esto, se realiza la interconexión tal y como se muestra en la Figura 5.35.

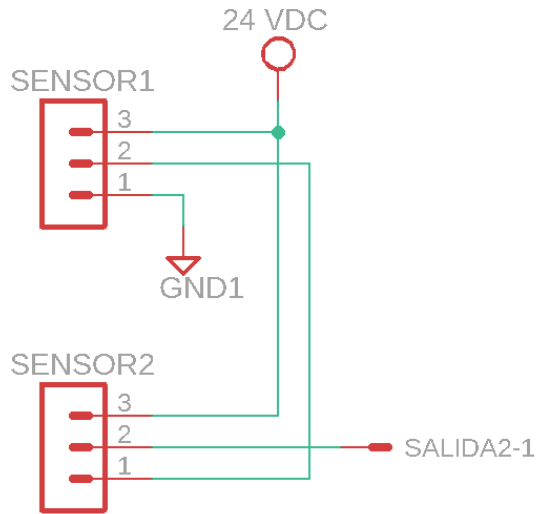


Figura 5.35. Circuito de interconexión de sensores en AND.
Fuente: elaboración propia.

Con el mismo propósito anterior, se emplea el circuito de la Figura 5.36 para la conexión de las termocuplas con el MCU. Se emplea un amplificador para cada una de las termocuplas, el cual está habilitado para conectarse seriamente con otros amplificadores; es necesario un conversor de nivel lógico para la conexión al MCU, por lo que se utiliza un FET en la configuración mostrada.

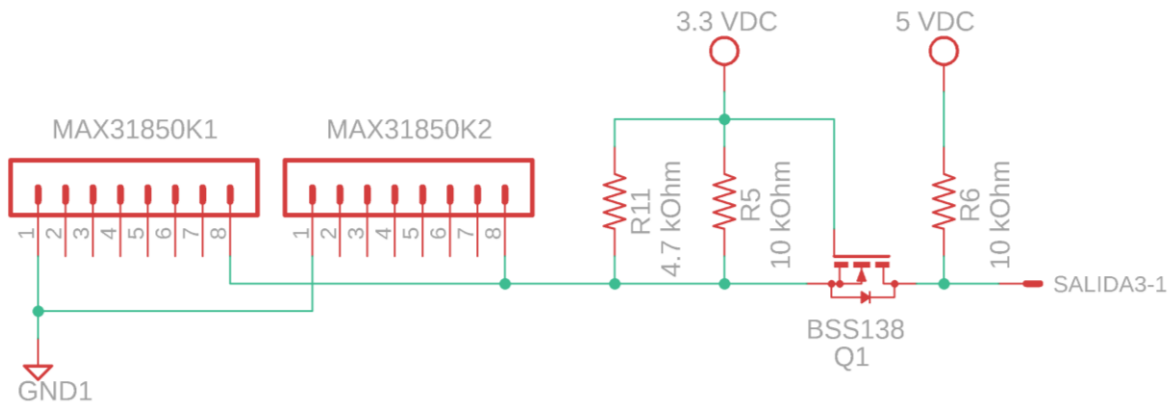


Figura 5.36. Circuito de conexión de los amplificadores de las termocuplas.
Fuente: elaboración propia.

Por último, en la Figura 5.37 se presenta el circuito electroneumático. Se utiliza un par de pistones de doble efecto con una válvula electroneumática 5/2 monoestable para cada uno. Los solenoides de las válvulas son accionados por las entradas K1 y K2 que son salidas del MCU.

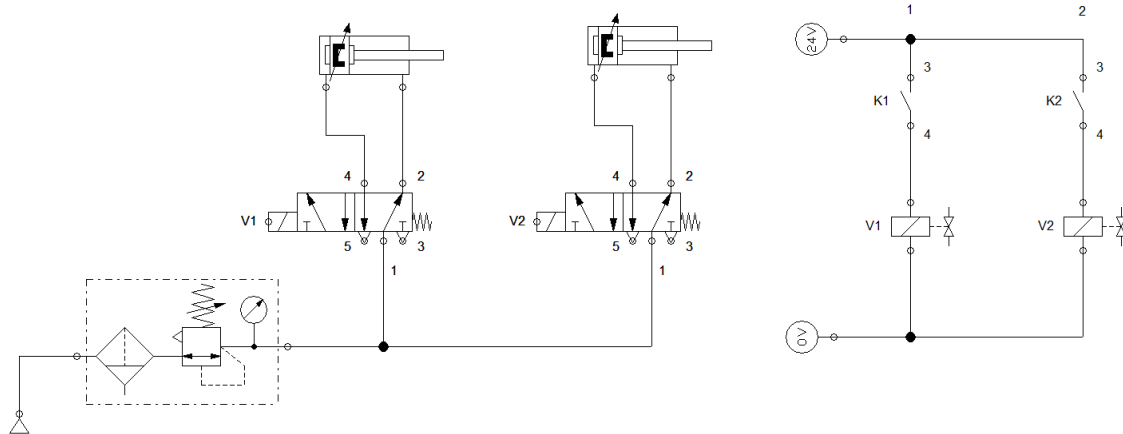


Figura 5.37. Circuito electroneumático.
Fuente: elaboración propia.

5.2.7.7. Lista y costos de los componentes

En la Tabla 5.9 se encuentra el listado de los componentes electrónicos con sus respectivas cantidades y precios.

Tabla 5.9. Lista de componentes electrónicos.

| Componente | Descripción | Precio unitario (₡) | Unidades | Precio total (₡) |
|-------------------------|--|----------------------------|-----------------|-------------------------|
| MCU primario | Atmega328p | 4 000 | 1 | 4 000 |
| MCU secundario | HUZZAH ESP8266 | 6 000 | 1 | 10 000 |
| Ventilador | Con heat sinks | 6 000 | 1 | 6 000 |
| LCD 20x4 | LCD-09568 | 21 000 | 1 | 21 000 |
| Amplificador termocupla | MAX31850K | 11 000 | 2 | 22 000 |
| Convertor lógico | De 5V-3.3V, BSS138 | 2 000 | 1 | 2 000 |
| Termocupla | Tipo K | 5 000 | 2 | 10 000 |
| Pasta térmica | <ul style="list-style-type: none"> • <i>McMaster Heat-Transfer Putty</i> • <i>OMEGATHERM™ Conductive Paste</i> | 30 000 | 1 | 30 000 |
| Relés | - | 2 000 | 3 | 6 000 |
| Sensor capacitivo | LJC18A3-B-Z/BX NPN NO | 6 000 | 2 | 12 000 |
| Driver motor a pasos | STEPPERONLINE CNC Nema 17 and 23 | 30 000 | 1 | 30 000 |
| Botón paro | - | 5 000 | 1 | 5 000 |
| Interruptor encendido | - | 4 500 | 1 | 4 500 |
| Botones | - | 500 | 3 | 1 500 |
| Final de carrera | - | 500 | 1 | 500 |
| Potenciómetros | - | 1 200 | 2 | 2 400 |
| LED | 5 mm. Base. | 400 | 4 | 1 600 |
| Resistencias | Varios | 75 | 10 | 750 |
| Capacitores | 22 pF | 200 | 2 | 400 |
| Oscilador cristal | 16 MHz | 600 | 1 | 600 |
| Fuente 24 V | - | 22 000 | 1 | 22 000 |
| Fuente 5 V | - | 8 000 | 1 | 8 000 |
| Cable alimentación | 120 V, 10 A. | 2 500 | 1 | 2 500 |
| Conector panel | IEC 320. Macho polarizado. | 1 000 | 1 | 1 000 |
| Total | | | | 213 750 |

Fuente: elaboración propia.

5.2.8. Control automático

En primera instancia, se determinó el modelo de las mordazas a partir del comportamiento estudiado durante las pruebas de sellado. La curva de calentamiento se puede observar en la Figura 5.38; las mediciones se realizaron cada 10 segundos y el escalón se inició en $t=10$ s.

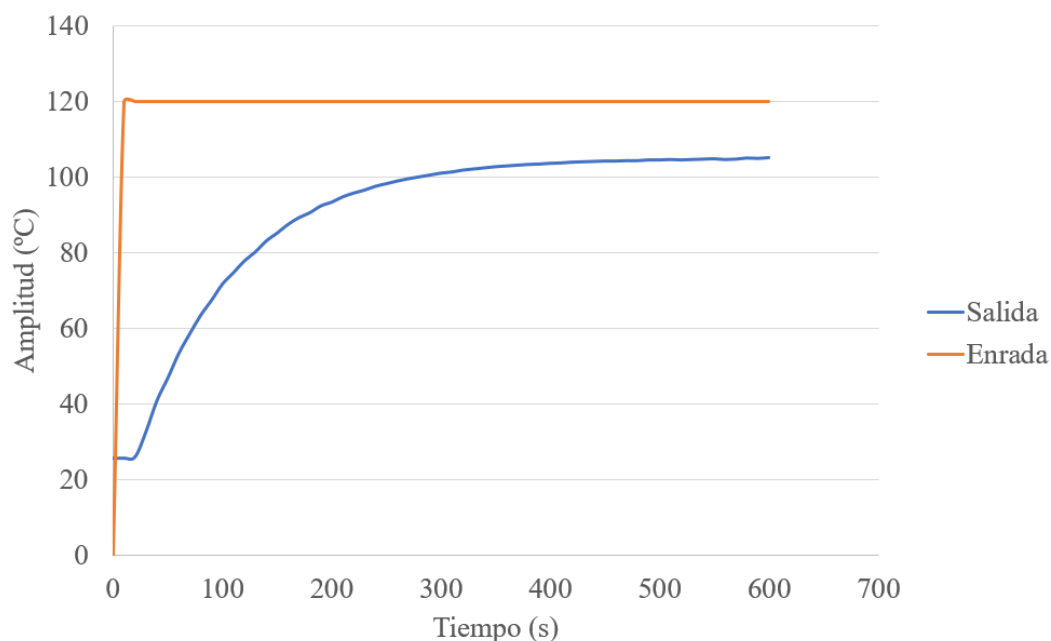


Figura 5.38. Comportamiento del calentamiento de las mordazas.
Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 5.10 se encuentran los datos obtenidos necesarios para la determinación del modelo. Cabe destacar que este corresponde al de las mordazas actuales, una vez que se adquieran las mordazas de la nueva máquina será necesario ajustar el modelo.

Tabla 5.10. Datos para la determinación de la función de transferencia.

| Dato | Valor |
|------------|-------|
| $t_{39\%}$ | 65 s |
| $t_{63\%}$ | 105 s |
| τ | 80 |
| A | 120°C |

| | |
|-------|----------|
| T_i | 25.6°C |
| a | 0.0125 |
| k | 0.008271 |
| t_d | 15 s |

Fuente: elaboración propia.

$$G(s) = \frac{0.008271 \cdot e^{-15s}}{(s + 0.0125)}$$

En la Tabla 5.11 se encuentra un resumen de las características necesarias para el controlador de temperatura.

Tabla 5.11. Requisitos del controlador.

| $t_{s2\%}$ (s) | M_p (%) | ess (%) |
|----------------|-----------|-----------|
| 300 | 20 | 5 |

Fuente: elaboración propia.

A partir de la función de transferencia y los requisitos mencionados es posible realizar la síntesis del controlador PI necesario. Para ello se utiliza la herramienta de sintonización del *software* MATLAB®. El diagrama de bloques del sistema con el controlador se puede observar en la Figura 5.39.

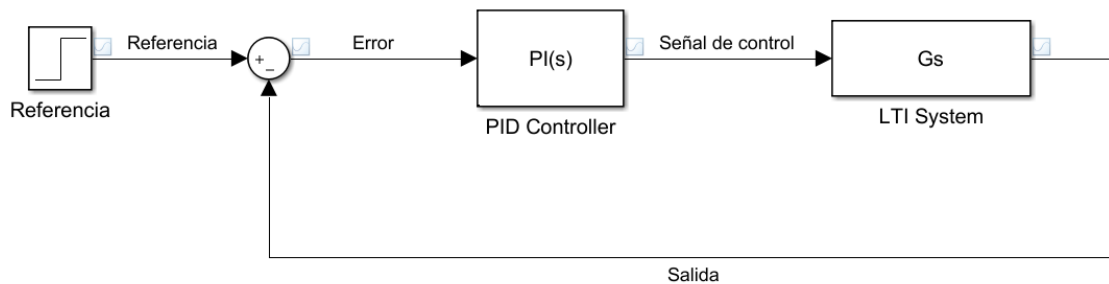


Figura 5.39. Diagrama de bloques del sistema con el controlador.
Fuente: elaboración propia.

De este modo se logró obtener el comportamiento mostrado en la Figura 5.40, en donde se observa un error de estado estacionario de 0, un tiempo de estabilización de 298 s y un sobreimpulso máximo de 7.57%; esto fue obtenido al emplear una K_P de 1.6 y una K_I de 0.032.

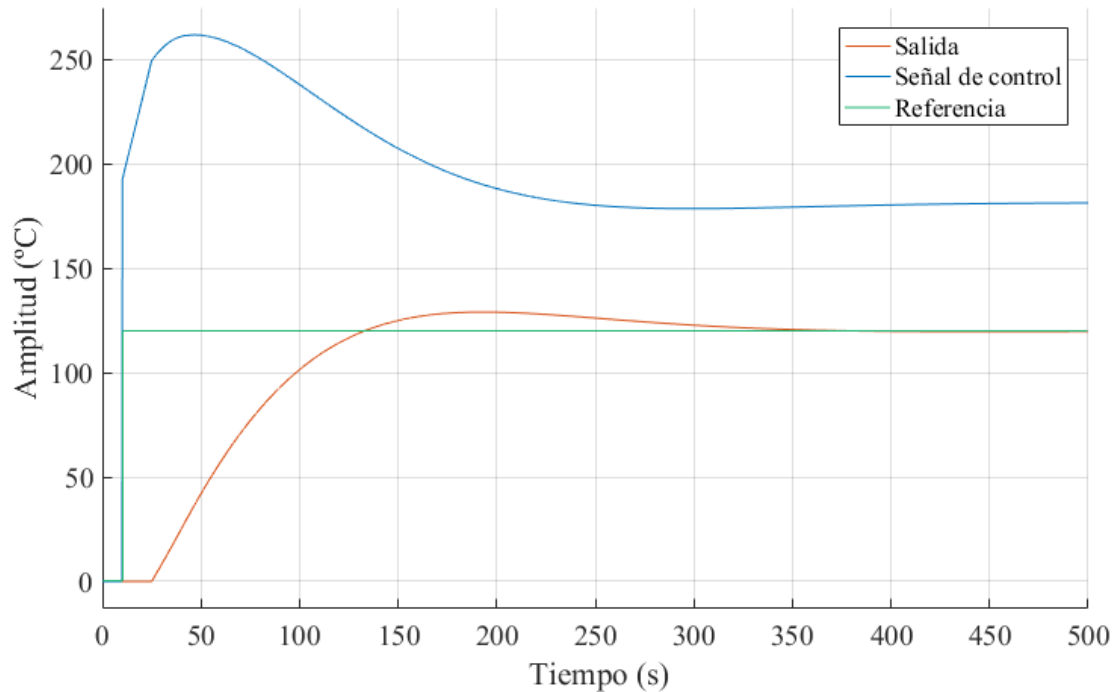


Figura 5.40. Comportamiento del sistema controlado.
Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que la configuración del controlador sintetizado tomó en cuenta el esfuerzo del controlador. Para otros valores de constantes se podía obtener una respuesta más deseable del sistema, pero estos implicaban una alta demanda en la señal de control.

Para la discretización del controlador, se debe establecer el periodo de muestreo a partir de la constante de tiempo dominante del sistema.

$$T = \frac{298}{20} \cong 15 \text{ s}$$

$$C(z) = \frac{1.6(z - 0.7)}{(z - 1)}$$

Finalmente, a partir del controlador, se establece la ecuación de diferencias para realizar la implementación en un computador digital:

$$m(k) = 1.6 \cdot e(k) + [m(k - 1) - 1.12 \cdot e(k - 1)]$$

5.2.9. Diagramas de flujo para los algoritmos

A continuación, se presentan los diagramas de flujo para la operación del dispositivo diseñado. Se encuentran los diagramas para el microcontrolador principal, el microcontrolador secundario, el botón de pausa y el controlador de temperatura.

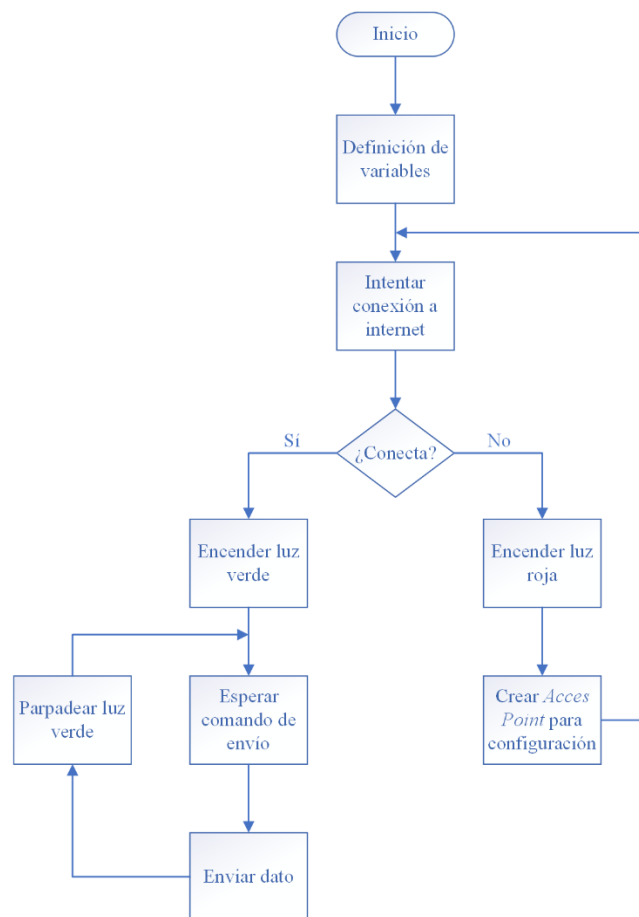


Figura 5.41. Diagrama de flujo del microcontrolador secundario.
Fuente: elaboración propia.

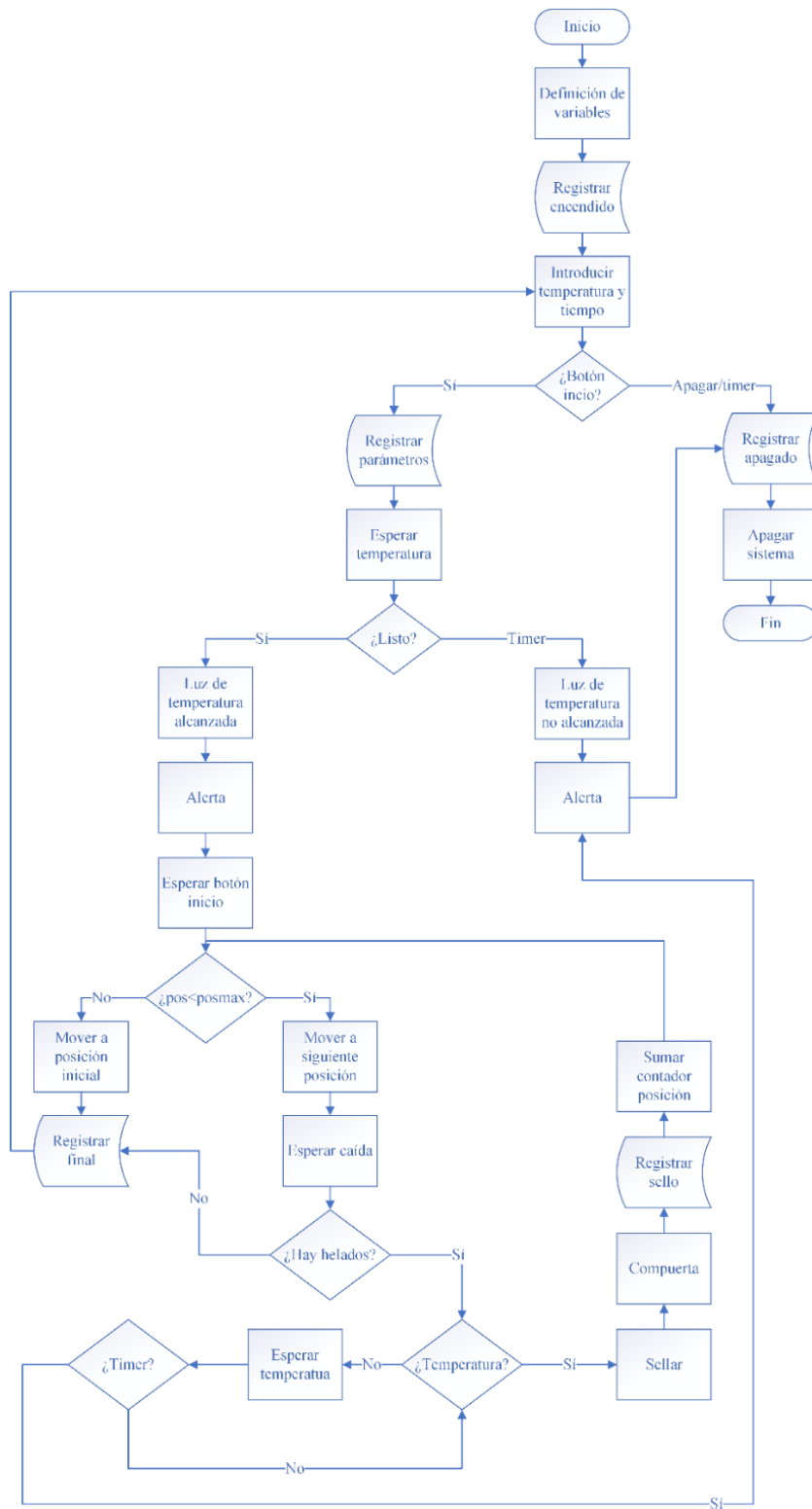


Figura 5.42. Diagrama de flujo del microcontrolador principal.
Fuente: elaboración propia.

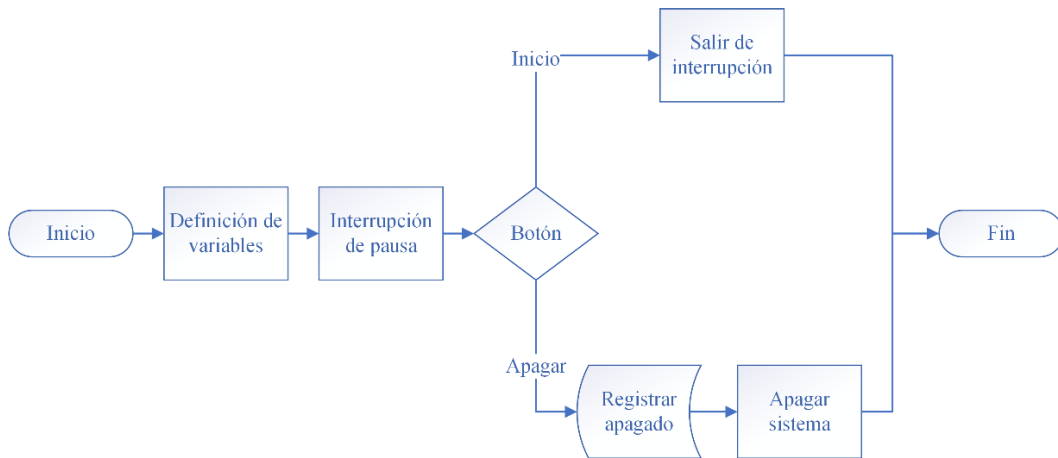


Figura 5.43. Diagrama de flujo del botón de pausa.
Fuente: elaboración propia.

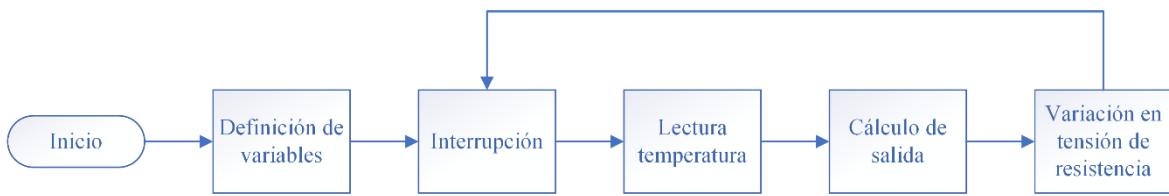


Figura 5.44. Diagrama de flujo del controlador de temperatura.
Fuente: elaboración propia.

5.3. Plan de mantenimiento

A continuación, se presenta el proceso para el establecimiento del plan de mantenimiento para el dispositivo diseñado.

En primer lugar, se realiza la lista de equipos presentes en la empresa y se plantea el sistema de codificación. El formato utilizado para dicha codificación se encuentra en la Tabla 5.12, mientras que el listado de equipos se presenta en la Tabla 5.13.

Tabla 5.12. Formato de codificación de equipos.

| Espacio | Descripción |
|----------------|--|
| Área | 1: Producción de yogurt. 2: Producción de helado. 3: Almacenamiento. |
| Equipo | Número consecutivo. |
| Correlativo | Número de equipo del mismo tipo. |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.13. Lista de equipos con su codificación respectiva.

| Equipo | Cod. |
|---------------------------|-------------|
| Mezcladora | 2.1.1 |
| Congelador paletas | 2.2.1 |
| Desmoldador | 2.3.1 |
| Selladora | 2.4.1 |
| Congelador almacenamiento | 3.1.1 |

Fuente: elaboración propia.

Seguidamente, se realiza el análisis de criticidad tal y como se expone en la Tabla 5.14; a partir de este se concluye que es necesario realizar un plan de mantenimiento preventivo, debido a la puntuación obtenida.

Tabla 5.14. Tabla de criticidad para selladora (2.4.1).

| Criterio | Puntuación | Justificación |
|-----------------|-------------------|--|
| A | 2 | Partes a alta temperatura. |
| B | 0 | No hay impacto ambiental. |
| C | 2 | Un daño implica retraso en la producción, pero no un paro total. |
| D | 3 | Se atrasa la salida del producto terminado. |
| E | 0 | No hay impacto a otros equipos. |
| F | 3 | La variación altera la calidad del sellado del empaque. Eso puede provocar contaminación del producto terminado. |
| G | 2 | Precio medio. |
| H | 1 | Uso de partes estándar. |
| Total | 13 | |

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, en la Tabla 5.15 se puede encontrar la ficha técnica del dispositivo diseñado.

Tabla 5.15. Ficha técnica de selladora (2.4.1).

| Ficha Técnica de Equipos | | | | Helados Sazú | | | |  |
|--|---|------------|---|---|---|---------------|---|---|
| Fecha | | 2019-04-04 | | Revisión | | 1 | | |
| Características | | | | | | | | |
| Equipo | | Selladora | | Consumo eléctrico | | 1000 Wh | | |
| Código | | 2.4.1 | | Tensión de alimentación | | 120 V, 60 Hz | | |
| Marca | | Gatva | | Dimensiones (mm) | | 1040x400x1000 | | |
| Modelo | | Seal-1 | | Precio | | \$ 7 000 | | |
| Descripción | | | | Imagen | | | | |
| <p>Selladora para las bolsas de los helados. Su operación es automática una vez cargada con un lote de 56 helados.</p> | | | |  | | | | |
| Criticidad | | | | | | | | |
| A | B | C | D | E | F | G | H | Total |
| 2 | 0 | 2 | 3 | 0 | 3 | 2 | 1 | 13 |
| Tipo de mantenimiento | | | | | | | | |
| Preventivo | | | | | | | | |

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se realizan las tablas respectivas del plan de mantenimiento. En primera instancia, se plantea la tabla con las funciones, fallas, modos de falla, efectos de falla y

consecuencias; en la Tabla 5.16 se observa la lista de funciones y fallas funcionales, mientras que en el Apéndice 10.2 se encuentra la tabla completa. Luego, se establecen las acciones proactivas y el cronograma de mantenimiento, con lo que se establece el costo anual de las tareas de mantenimiento en ₡83 000; la tabla completa se puede encontrar en el Apéndice 10.2. Seguidamente, se realiza el análisis de criticidad tal y como se expone en la Tabla 5.14; a partir de este se concluye que es necesario realizar un plan de mantenimiento preventivo, debido a la puntuación obtenida.

Tabla 5.16. Funciones y fallas funcionales del dispositivo diseñado

| Función | Falla funcional |
|--|---|
| Sellar bolsas de helado con una presión de 5 N/cm ² . | No hay presión. |
| | La presión diferente a la requerida. |
| Sellar bolsas de helado a una temperatura de 115°C. | No hay calentamiento. |
| | La temperatura es diferente a la requerida. |
| Sellar bolsas de helado con un tiempo de 1.5 segundos. | No hay sello. |
| | El tiempo es diferente al requerido. |
| Lograr un sellado adecuado y hermético de las bolsas de helado bajo los parámetros de operación. | No hay sello adecuado. |
| Sellar bolsas de helado a una razón de 250 helados por hora. | La producción es inferior a la necesaria. |
| Registrar los datos de operación en la nube en cada uso del dispositivo. | No hay registro de datos. |
| | Registro intermitente. |

Fuente: elaboración propia.

5.4. Análisis financiero

Para establecer la rentabilidad de la implementación del proyecto, se realiza el cálculo del periodo de recuperación de inversión (PIR). Para ellos, primero se establece el costo final del proyecto mediante la Tabla 5.17 y se realiza la proyección del flujo de caja acumulado como se muestra en la Tabla 5.19. Los datos de importancia para completar este análisis se encuentran en la Tabla 5.18.

Tabla 5.17. Costo total del proyecto.

| Concepto | Monto (₡) |
|------------------------------|------------------|
| Componentes mecánicos | 1 422 300 |
| Componentes electromecánicos | 935 000 |
| Componentes electrónicos | 213 750 |
| Ensamblaje | 1 000 000 |
| Extras | 428 950 |
| Total | 4 000 000 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.18. Datos necesarios para el análisis financiero.

| Parámetro | Valor |
|-----------------------------|--------------|
| Unidades mensuales promedio | 1500 |
| Precio unitario (₡) | 1500 |
| Costo unitario (₡) | 650 |
| Incremento anual en ventas | 20% |

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, se compara la implementación de la máquina diseñada con la compra de una selladora manual como la actual y la contratación de un operario; la contratación es necesaria para igualar la capacidad productiva de la máquina diseñada. Para este caso, se asume un salario mensual de 350 mil colones y un precio de la selladora de 500 mil colones. En la Tabla 5.20 se observa la proyección correspondiente tomando en cuenta los datos de la Tabla 5.18.

Tabla 5.19. Flujo de caja acumulado para el caso de la selladora automática.

| Periodo \ Rubro | Ingresos totales (₡) | Egresos (₡) | | | | Flujo neto (₡) | Flujo neto acumulado (₡) |
|-----------------|----------------------|-------------|-----------|-----------|----------|----------------|--------------------------|
| | | Producción | Inversión | Empleados | Total | | |
| Mes 1 | 0 | 975000 | 4000000 | 0 | 4000000 | -4000000 | -4975000 |
| Mes 2 | 2250000 | 975000 | 0 | 0 | 975000 | 1275000 | -3700000 |
| Mes 3 | 2250000 | 975000 | 0 | 0 | 975000 | 1275000 | -2425000 |
| Mes 4 | 2250000 | 975000 | 0 | 0 | 975000 | 1275000 | -1150000 |
| Mes 5 | 2250000 | 975000 | 0 | 0 | 975000 | 1275000 | 125000 |
| Mes 6 | 2250000 | 975000 | 0 | 0 | 975000 | 1275000 | 1400000 |
| Mes 7 | 2250000 | 975000 | 0 | 0 | 975000 | 1275000 | 2675000 |
| Mes 8 | 2250000 | 975000 | 0 | 0 | 975000 | 1275000 | 3950000 |
| Mes 9 | 2250000 | 975000 | 0 | 0 | 975000 | 1275000 | 5225000 |
| Mes 10 | 2250000 | 975000 | 0 | 0 | 975000 | 1275000 | 6500000 |
| Mes 11 | 2250000 | 975000 | 0 | 0 | 975000 | 1275000 | 7775000 |
| Mes 12 | 2250000 | 975000 | 0 | 0 | 975000 | 1275000 | 9050000 |
| Año 1 | 27000000 | 11700000 | 0 | 0 | 11700000 | 15300000 | 15300000 |
| Año 2 | 32400000 | 14040000 | 0 | 0 | 14040000 | 18360000 | 33660000 |
| Año 3 | 38880000 | 16848000 | 0 | 0 | 16848000 | 22032000 | 55692000 |
| Año 4 | 46656000 | 20217600 | 0 | 0 | 20217600 | 26438400 | 82130400 |
| Año 5 | 55987200 | 24261120 | 0 | 0 | 24261120 | 31726080 | 113856480 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.20. Flujo de caja acumulado para el caso de la selladora manual.

| Rubro Periodo | Ingresos totales (₡) | Egresos (₡) | | | | Flujo neto (₡) | Flujo neto acumulado (₡) |
|------------------|----------------------------|-------------|-----------|-----------|----------|-------------------|--------------------------------|
| | | Producción | Inversión | Empleados | Total | | |
| Mes 1 | 0 | 975000 | 500000 | 350000 | 850000 | -850000 | -1825000 |
| Mes 2 | 2250000 | 975000 | 0 | 350000 | 1325000 | 925000 | -900000 |
| Mes 3 | 2250000 | 975000 | 0 | 350000 | 1325000 | 925000 | 25000 |
| Mes 4 | 2250000 | 975000 | 0 | 350000 | 1325000 | 925000 | 950000 |
| Mes 5 | 2250000 | 975000 | 0 | 350000 | 1325000 | 925000 | 1875000 |
| Mes 6 | 2250000 | 975000 | 0 | 350000 | 1325000 | 925000 | 2800000 |
| Mes 7 | 2250000 | 975000 | 0 | 350000 | 1325000 | 925000 | 3725000 |
| Mes 8 | 2250000 | 975000 | 0 | 350000 | 1325000 | 925000 | 4650000 |
| Mes 9 | 2250000 | 975000 | 0 | 350000 | 1325000 | 925000 | 5575000 |
| Mes 10 | 2250000 | 975000 | 0 | 350000 | 1325000 | 925000 | 6500000 |
| Mes 11 | 2250000 | 975000 | 0 | 350000 | 1325000 | 925000 | 7425000 |
| Mes 12 | 2250000 | 975000 | 0 | 350000 | 1325000 | 925000 | 8350000 |
| Año 1 | 27000000 | 11700000 | 0 | 4550000 | 16250000 | 10750000 | 10750000 |
| Año 2 | 32400000 | 14040000 | 0 | 4550000 | 18590000 | 13810000 | 24560000 |
| Año 3 | 38880000 | 16848000 | 0 | 4550000 | 21398000 | 17482000 | 42042000 |
| Año 4 | 46656000 | 20217600 | 0 | 4550000 | 24767600 | 21888400 | 63930400 |
| Año 5 | 55987200 | 24261120 | 0 | 4550000 | 28811120 | 27176080 | 91106480 |

Fuente: elaboración propia.

En el caso de la máquina diseñada, el PIR se calcula en 5 meses mientras que en el caso de la selladora manual es 2 meses. Sin embargo, al ver las proyecciones anuales de ventas, se observa que en el primer año la selladora manual y el operario implican un gasto adicional de 4.5 millones de colones; este comportamiento se mantiene durante los siguientes años. Por lo tanto, a pesar de que el PIR de la máquina diseñada sea mayor, su implementación conlleva una rentabilidad mayor a mediano y largo plazo, por lo que implica una mejor decisión desde el punto de vista financiero.

Capítulo 6: Resultados

A continuación, se presenta los resultados obtenidos planteados por cada objetivo específico.

6.1. Primer objetivo específico

De acuerdo con lo encontrado en la bibliografía y el experimento realizado, en la Tabla 6.1 se listan los parámetros óptimos de operación para el proceso de sellado.

Tabla 6.1. Lista de parámetros óptimos de operación.

| Parámetro | Valor |
|-------------|-----------------------|
| Temperatura | 115°C |
| Tiempo | 1.5 s |
| Presión | 4.5 N/cm ² |

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, se identifica que la variable para realizar el control automático es la temperatura; los parámetros del controlador se encuentran en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Lista de parámetros del controlador.

| $t_{s2\%}$ (s) | Mp (%) | ess (%) |
|----------------|--------|---------|
| 300 | 20 | 5 |

Fuente: elaboración propia.

6.2. Segundo objetivo específico

Los planos de todos los elementos mecánicos diseñados pueden ser encontrados en el Apéndice 10.2; de manera similar, los planos eléctricos se encuentran en el Apéndice 10.4 y el neumático en el Apéndice 10.5. Por otro lado, las listas completas de componentes y costos se pueden encontrar en la Tabla 5.5, la Tabla 5.7 y la Tabla 5.9.

En las siguientes figuras se puede observar el ensamble final con todos los componentes diseñados. Las dimensiones generales de la máquina son 1040x470x965 mm (LxAxH).



Figura 6.1. Vista delantera de la máquina diseñada.
Fuente: elaboración propia.



Figura 6.2. Vista trasera de la máquina diseñada.
Fuente: elaboración propia.

6.3. Tercer objetivo específico

A partir del comportamiento del sistema térmico y los parámetros establecidos en la Tabla 6.2, se sintetizó el siguiente controlador empleando el diagrama de control de la Figura 6.3. La respuesta obtenida se observa en la Figura 6.4.

$$C(z) = \frac{1.6(z - 0.7)}{(z - 1)}$$

$$m(k) = 1.6 \cdot e(k) + [m(k - 1) - 1.12 \cdot e(k - 1)]$$

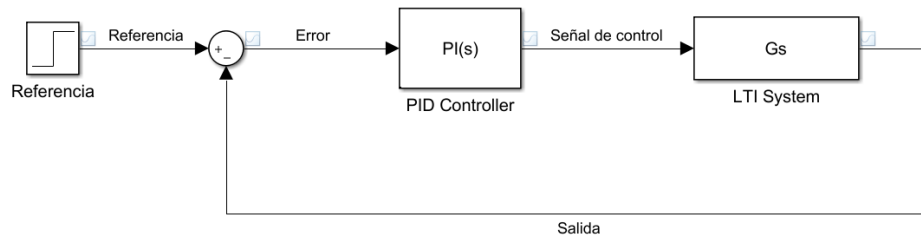


Figura 6.3. Diagrama de bloques del sistema con el controlador.
Fuente: elaboración propia.

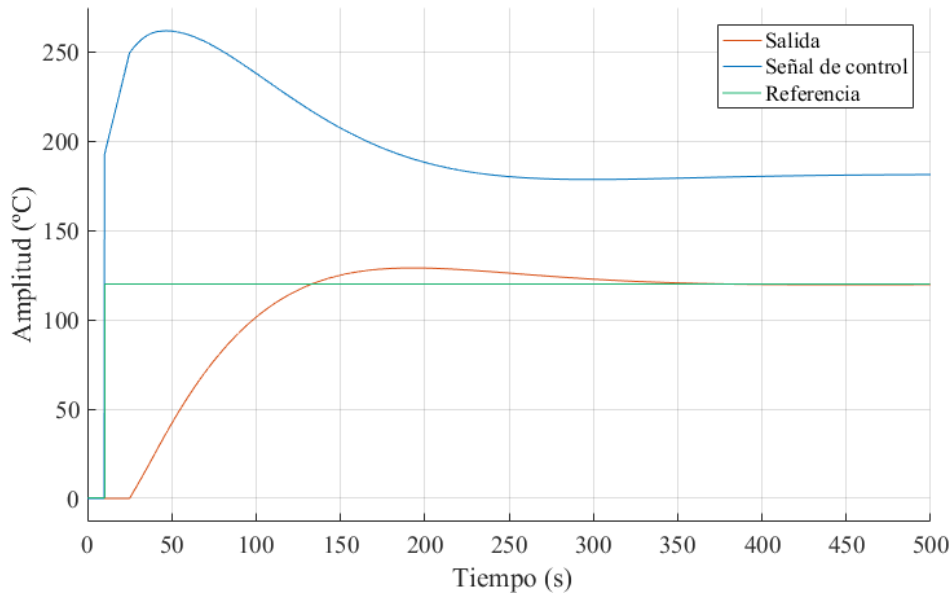


Figura 6.4. Comportamiento del sistema controlado.
Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, los diagramas de flujo se pueden encontrar entre la Figura 5.41 y la Figura 5.44.

6.4. Cuarto objetivo específico

La ficha técnica del dispositivo diseñado se puede observar en la Tabla 5.15. Por otro lado, el tipo de mantenimiento requerido es preventivo; el plan de mantenimiento completo se encuentra en el Apéndice 10.2, mientras que los manuales de operación están en el Apéndice 10.1.

6.5. Análisis financiero

Se calculó un PIR de 4.2 meses para la inversión de 4 millones de colones necesaria para la implementación del proyecto. Adicionalmente, al comparar esta con la opción de comprar una selladora manual y contratar un operario, se estableció que la primera opción presenta menores gastos a mediano y largo plazo. Por lo tanto, la implementación del presente proyecto es rentable.

Capítulo 7: Conclusiones

Los parámetros óptimos para el sellado del termoplástico *BoPP* de 50 μm de espesor son: una temperatura de 115°C, un tiempo de 1.5 s y una presión de 5 N/cm². Al cumplir estos, es posible aplicar un sellado adecuado que garantice la preservación higiénica del producto.

Se diseñó un dispositivo que cumple con principios ergonómicos, con la normativa vigente para el diseño de maquinaria para la industria alimentaria y con los requerimientos de diseño planteados.

El sistema de control automático diseñado (controlador PI) logra regular el sistema térmico de las mordazas con un tiempo de estabilización de 298 s, un sobreimpulso máximo de 7.57% y un error de estado estacionario de 0.

Se estableció un plan de mantenimiento preventivo para garantizar los parámetros de operación necesarios para el sellado adecuado de las bolsas de helado; el costo anual de su ejecución es de $\text{C}\$83\,000$.

El costo total del proyecto es de $\text{C}\$4$ millones; se comprueba la rentabilidad del proyecto mediante la comparación con la compra de una selladora manual y la contratación de un operario, y el cálculo de un PIR de 4.2 meses.

Es posible el diseño de maquinaria a pequeña escala para ajustarse a las necesidades y capacidades del sector PYME. Este disminuye el costo de la maquinaria para ampliar el acceso tecnológico del sector productivo.

Capítulo 8: Recomendaciones

Para la implementación se recomienda indagar con más profundidad sobre las opciones de servidores de *IoT* disponibles con el fin de encontrar una plataforma que se ajuste a las necesidades de la aplicación.

Para mejorar el funcionamiento del área de sellado, se recomienda agregar un segundo pistón neumático en la otra mordaza; el diseño actual está habilitado para esta adaptación, en este no se implementó debido al aumento de costos por concepto de un compresor de mayor capacidad y los componentes neumáticos adicionales.

Para la implementación del controlador de temperatura es necesario realizar pruebas una vez que se disponga del equipo. Esto permitirá sintetizar el controlador adecuado para el sistema final.

A la hora de evaluar la implementación de un proyecto, es de vital importancia analizarlo desde el punto de vista financiero mediante la aplicación de los indicadores financieros correspondientes.

Se recomienda ampliar la iniciativa de desarrollo tecnológico en el sector PYME, ya que este presenta beneficios tanto para las empresas en cuestión, como para la economía nacional y aquellos que emprendan la iniciativa.

Capítulo 9: Referencias

- Almonacid Mendoza, C. P. (2012). *OPTIMIZACION DEL PROCESO DE SELLADO EN CALIENTE DE PELICULAS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD*. Sartenejas: UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR.
- Aquino Arroba, S. M., & Freire Bonilla, L. S. (2009). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN EQUIPO AUTOMÁTICO PARA EL SELLADO TÉRMICO*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Bedoya Buenaño, I., & Quisirumbay Gaibor, D. (2007). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA SEMIAUTOMATICA SELLADORA DE FUNDAS PLASTICAS CON UNA CAPACIDAD DE TREINTA SELLOS POR MINUTO*. Quito: ESCUELA POLITECNICA NACIONAL.
- BELCA Packaging. (2018). *FILM POLIPROPILENO BIORIENTADO*. España: BELCA Packaging.
- Blank, L., & Tarquin, A. (2006). *Ingeniería económica*. México: McGrawHill.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2011). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Carro Paz, R., & González Gómez, D. (2013). *Normas HACCP: Sistema de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control*. Argentina: Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Castañeda Martín, E. (2010). *Diseño higiénico del equipo de procesado de alimentos*. Madrid: UPM.
- Castillo González, A., Figueroa Hernández, Á. M., & Pérez Cruz, U. (2006). *EMPAQUETADORA DE PALETAS DE HIELO Y CONGELADAS*. México D.F.: UPIITA.
- Castro, S. (22 de Junio de 2018). *Sellado de flexibles por calor constante: teoría*. Obtenido de elempaque.com: <http://www.elempaque.com/blogs/Sellado-de-flexibles-por-calor-constante,-teoria-basica-para-peliculas+126132>

- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de Calor y Masa. Un Enfoque Práctico*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Chio Cho, N., Tibaduiza Burgos, D., & Rivera Martínez, J. (2011). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA REALIZAR DOBLADO, CORTADO Y SELLADO DE BOLSAS DE POLIPROPILENO Y POLIETILENO*. Santander: Universidad Autónoma de Bucaramanga.
- COCEMFE. (07 de Marzo de 2016). *ERGONOMIA. MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS*. Obtenido de <https://www.observatoriodelaaccessibilidad.es/espacio-divulgativo/articulos/ergonomia-maquinas-herramientas.html?hemeroteca=true&pag=1>
- Dorf, R., & Bishop, R. (2005). *Sistemas de control moderno*. Madrid: Pearson Education, S.A.
- Duffuaa, S. O., Raouf, A., & Dixon, J. (2006). *Sistemas de mantenimiento: Planeación y control*. Nueva York: Limusa Wiley.
- Fibertel, J. (15 de Noviembre de 2007). *RCM – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Obtenido de Gestipolis: <https://goo.gl/egTRQS>
- FINAMAC. (2018). *FLOW PACK 5000: ENVOLTURA*. Obtenido de <https://www.finamac.com/en/>
- García Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid: Ediciones Días de Santos, S. A.
- García, S. (2015). *EL OBJETIVO DEL RCM Y LAS FASES DEL PROCESO*. Obtenido de Mantenimiento Petroquímica: <https://goo.gl/v2eqtp>
- Hernández, M. (30 de Diciembre de 2013). *Tecnología de los Plásticos*. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2013/12/termosellado.html>
- INGEMAQ. (2018). *FLOW PACK O ENVOLVEDORA HORIZONTAL*. Obtenido de [ingemaq.ec: http://www.ingemaq.ec/index.php/es/](http://www.ingemaq.ec/index.php/es/)
- Interiano, E. (14 de Marzo de 2016). *Controlando un Sistema Térmico*. Obtenido de [ie.tec.ac.cr: http://www.ie.tec.ac.cr/einteriano/control/Laboratorio/3.31ControlandounSistemaTermico.pdf](http://www.ie.tec.ac.cr/einteriano/control/Laboratorio/3.31ControlandounSistemaTermico.pdf)

- Lana Tarridas, M. (2016). *Proyecto de diseño de un proceso de sellado óptimo para tubos de pasta de dientes*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- MAPLASCALI SAS. (2018). *Empacadora Flow Pack*. Obtenido de <http://maplas.co/product/empacadora-flow-pack/>
- Mata Cabrera, F. (Febrero de 2006). *Aproximaciones al diseño ergonómico de máquinas*. Obtenido de <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-1136-aproximaciones-diseno-ergonomico-maquinas.aspx>
- MEIC. (2017). *ESTADO DE SITUACIÓN DE LAS PYME EN COSTA RICA 2016*. San José: MEIC.
- Miranda, C. R. (2013). *SEGURIDAD Y ERGONOMÍA EN EL DISEÑO DE MÁQUINAS*. Obtenido de <http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/seguridad-y-ergonomia.pdf>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Reino Unido: Aladon Ltd.
- Muñoz Marín, E. (Agosto de 2015). *Diagnóstico del ecosistema PYME en Costa Rica*. Obtenido de [http://reventazon.meic.go.cr/informacion/pyme/poyectoagenciafomento/diagnostico.pdf](http://meic.go.cr:meic.go.cr:reventazon.meic.go.cr/informacion/pyme/poyectoagenciafomento/diagnostico.pdf)
- PACKSYS Academy. (2018). *¿Que es el Polipropileno Biorientado (BOPP)?* Obtenido de <http://www.packsys.com/blog/bopp/>
- PIDCO. (2018). *Máquina Empacadora Vertical para Líquidos – Integrada*. Obtenido de <http://www.pidcodecolombia.com/productos/maquinaria-de-empaque/maquina-empacadora-vertical-para-liquidos/>
- POLINTER. (2017). *BOLETÍN TÉCNICO: SELLADO DE EMPAQUES FLEXIBLES*. Caracas: Poliolefinas Internacionales, C.A.
- PROCOMER. (2017). *Exportaciones según datos de empresas*. Obtenido de https://procomer.com/downloads/estudios/estudio_estadistico_2017/Cap%C3%ADulo%208.pdf
- Rodríguez Vélez, J. L., & Tipantacig Quishpe, B. J. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA Y SELLADORA PARA CONDIMENTOS*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.

- Salazar Carvajal, P. M. (2012). *Modernización del sistema de control de una empaadora BOSSAR 2000*. Cartago: ITCR.
- Sánchez, F., & Monroy, O. (2016). *IMPLEMENTACION DEL PROCESO DE SELLADO DE LA BOLSA PLASTICA CON CIERRE HERMETICO EN PRESSERVAC SAS*. Bogotá D.C.: ESCUELA TECNOLÓGICA INSTITUTO TÉCNICO CENTRAL.
- Saudi Standards, Metrology and Quality Org. (2007). *SASO ISO 14159/2007: Safety of machinery - Hygiene requirements for the design of machinery*. Kingdom of Saudi Arabia: SASO.
- SPGroup. (2018). *El sellado del envase: factores clave en la resistencia y la conservación del producto*. Obtenido de spg-pack.com: <https://www.spg-pack.com/blog/sellado-envase/>
- TAP Plastics. (22 de Agosto de 2012). *Cómo pegár Acrílico*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=Ybx1ZZ_Ynvs
- Tzapu. (20 de Setiembre de 2018). *WiFiManager*. Obtenido de GitHub: <https://github.com/tzapu/WiFiManager>
- Ucañán Leyton, R. (18 de Febrero de 2015). *Cálculo del periodo de recuperación de la inversión o payback*. Obtenido de [gestiopolis.com: https://www.gestiopolis.com/calculo-del-periodo-de-recuperacion-de-la-inversion-o-payback/](https://www.gestiopolis.com/calculo-del-periodo-de-recuperacion-de-la-inversion-o-payback/)
- Valdes-Perez, F. E., & Pallas-Areny, R. (2009). *MICROCONTROLLERS. Fundamentals and Applications with PIC*. Boca Raton: CRC Press.
- Vindas Quirós, L. (16 de Marzo de 2014). Helados artesanales logran mantener su porción de mercado pese a fuerte competencia. *El Financiero*.
- Vitopel. (2016). *Bioriented Polypropylene Film*. Argentina: Vitopel.
- Zúñiga, M. (2018). *PLAN DE NEGOCIO. SAZÚ: Paletas de yogurt light*. Heredia: TEC.

Capítulo 10: Apéndices

10.1. Apéndice A: Manuales de operación.

MANUAL DE OPERACIÓN

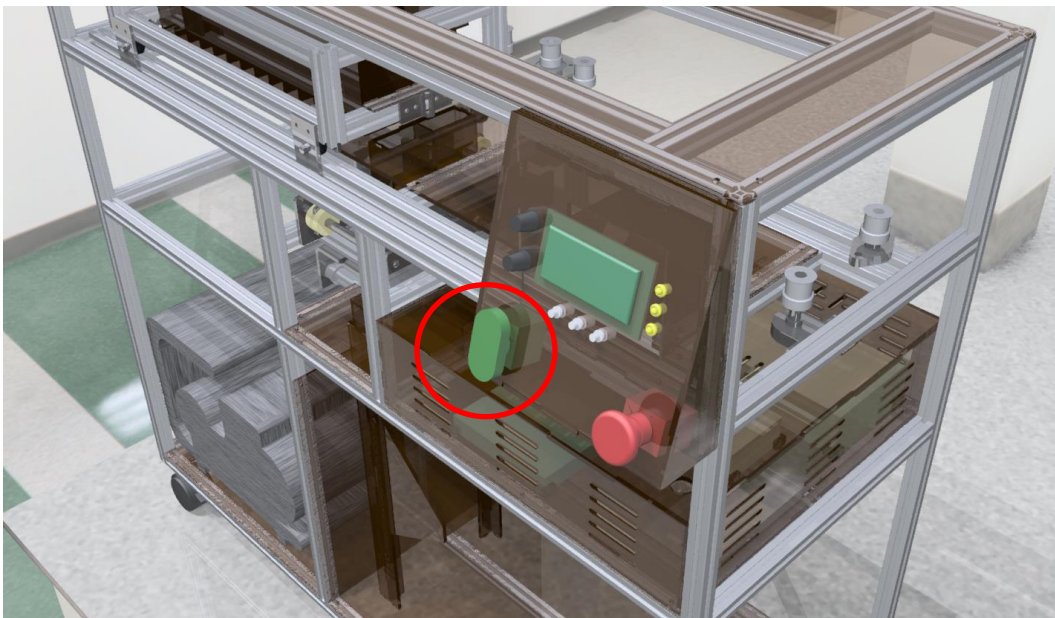
A continuación, se presentan los pasos detallados para la adecuada operación de la máquina para lograr un sellado adecuado.

1. Preparación de los helados.

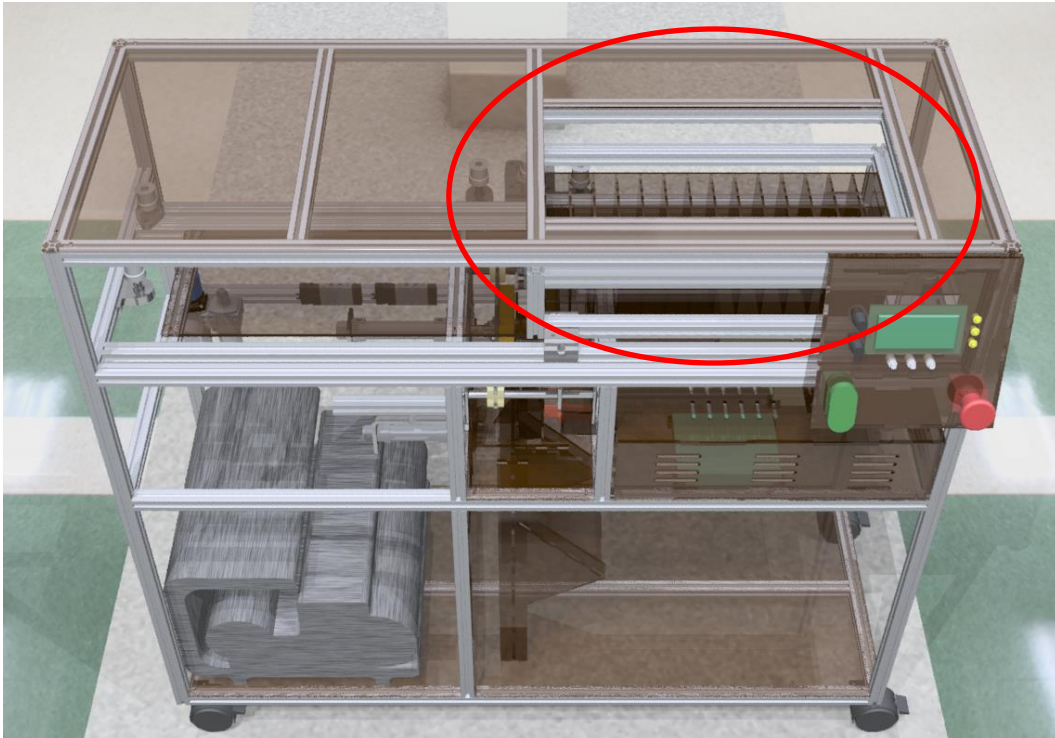
- a. Retirar los helados del congelador.
- b. Embolsar individualmente cada helado. La bolsa solo debe estar abierta en uno de sus extremos.

2. Colocación de helados en la máquina.

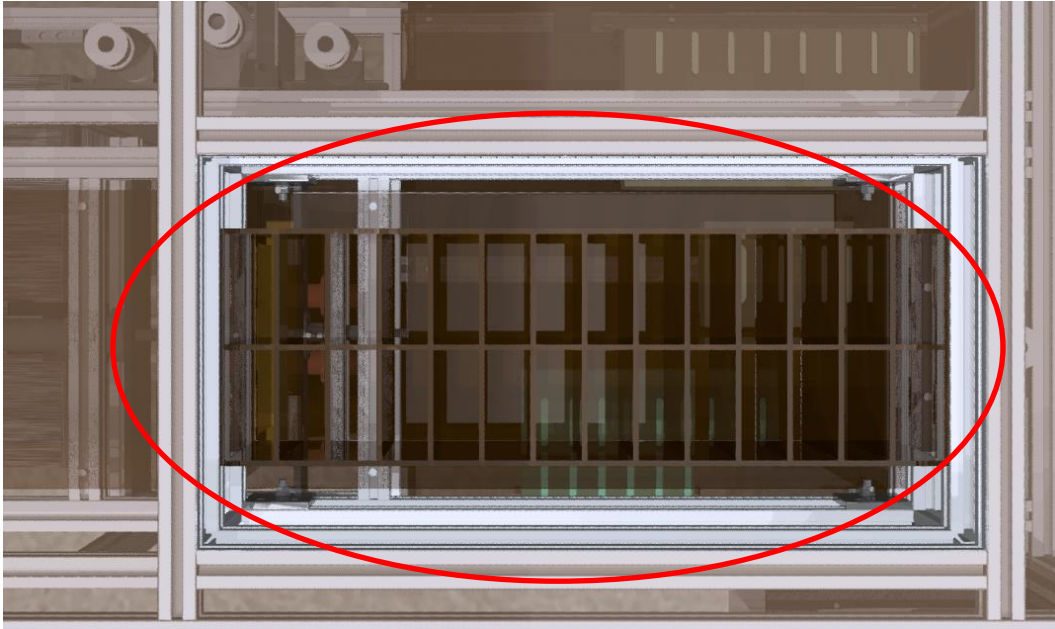
- a. Asegurarse de que la máquina esté conectada a la corriente.
- b. Encender la máquina con el botón de encendido.



- c. Una vez encendida la máquina, esperar a que el carro se coloque en la posición de carga.
- d. **Opcional:** si la luz roja del panel de control está encendida, seguir los pasos del manual para la configuración de la conexión a internet

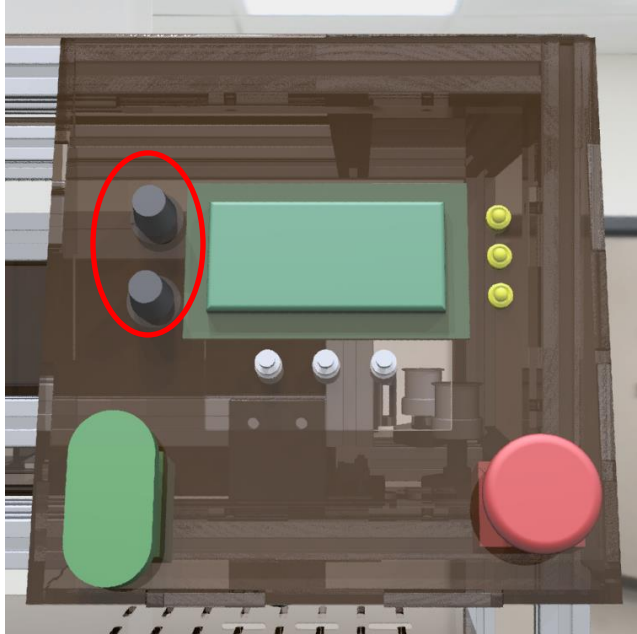


e. Introducir cada helado individualmente en la cuadrícula de almacenamiento.

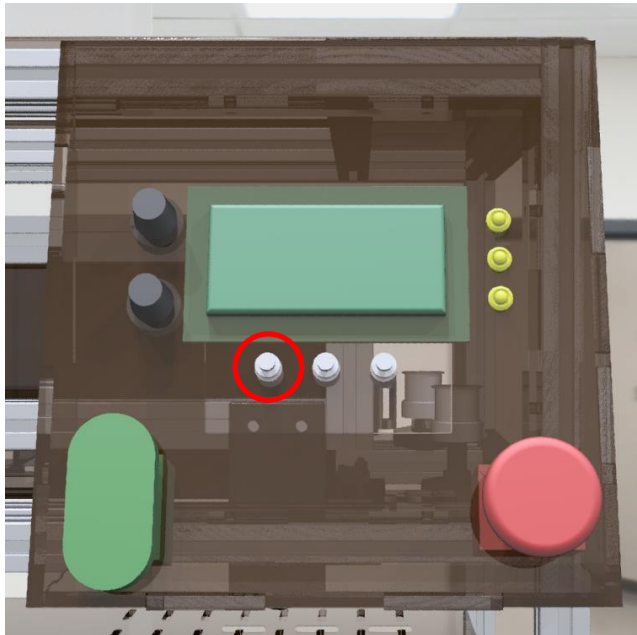


3. Sellado de las bolsas.

- a. Mediante las dos perillas del lado izquierdo del panel de control, introducir el tiempo y la temperatura de sellado deseadas; estos datos se observan en la pantalla. Los parámetros predeterminados son 1.5 segundos y 115°C.



- b. Presionar el botón de inicio para empezar el sellado.



- c. Colocar un recipiente para la recepción de los helados al final de la rampa inferior.



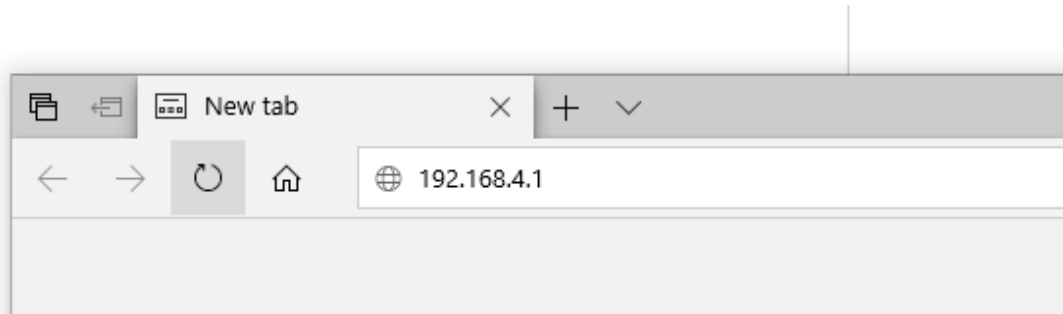
- d. El sellado iniciará una vez que se alcance la temperatura seleccionada. Normalmente toma 10 minutos.
- e. En la pantalla puede observar el porcentaje de avance. El proceso dura, aproximadamente 10 minutos.

MANUAL DE CONFIGURACIÓN DE INTERNET

A continuación, se presenta los pasos detallados para la configuración de la conexión inalámbrica a internet de la máquina. Esta permite el registro de la producción y la notificación de eventos importantes.

Este procedimiento está basado en (Tzapu, 2018); las imágenes son propiedad de este autor.

1. Cuando el dispositivo se enciente, este se intentará conectar a una red guardada con anterioridad. De no poder conectarse o de no existir una red anterior, el dispositivo entrará en modo de configuración.
2. Desde una computadora o celular, conectarse a la red *WiFi* llamada *AutoConnectAP*, o bien, desde el navegador de internet ingrese a la dirección IP 192.168.4.1.



3. Una vez ingresado, se observará la interfaz de configuración:

AutoConnectAP

WiFiManager

Configure WiFi

Configure WiFi (No Scan)

4. Ingresar a la opción *Configure WiFi*, en donde aparecerá la siguiente pantalla. En sección superior se encontrará las redes disponibles para conectarse.

The screenshot shows a mobile interface for configuring WiFi. At the top, two networks are listed: "ROBIN HOOD 30%" and "Tia Network 2 16%", both with lock icons. Below the networks are several input fields: "ROBIN HOOD", "password", "mqtt server", "8080", and "YOUR_BLYNK_TOKEN". The "ROBIN HOOD" and "Tia Network 2" network names are circled in red.

5. Seleccionar la red a la que se desea conectar, introducir la contraseña y presionar *Go*.

This screenshot shows the same WiFi configuration screen as above, but with a keyboard overlay. The "password" field is circled in red. The keyboard is visible at the bottom, with the "Go" button circled in red. The keyboard has a "Done" button in the top right corner and a "Go" button in the bottom right corner.

6. Una vez terminado el procedimiento, se debe encender la luz verde del panel de control. En caso contrario, se debe repetir el procedimiento para verificar que la contraseña introducida sea la correcta. Si el problema persiste, puede significar un problema en la red seleccionada.

10.2. Apéndice B: Plan de mantenimiento.

| | | |
|----------------|--------------------------------|-------------|
| Realizado por: | Orlando Alexander Gatica Valle | |
| Fecha: | 2019-04-16 | Versión 1.1 |

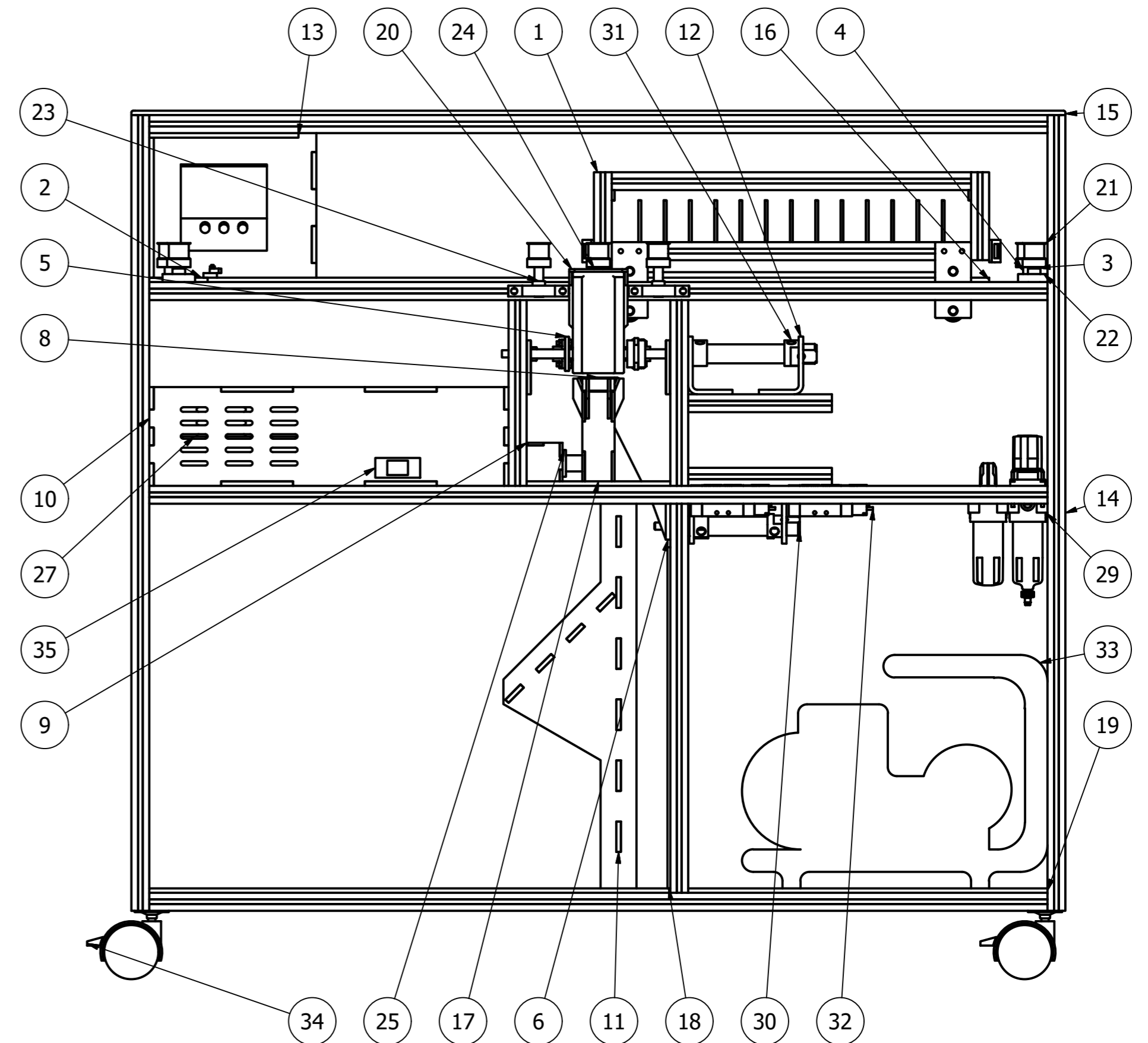
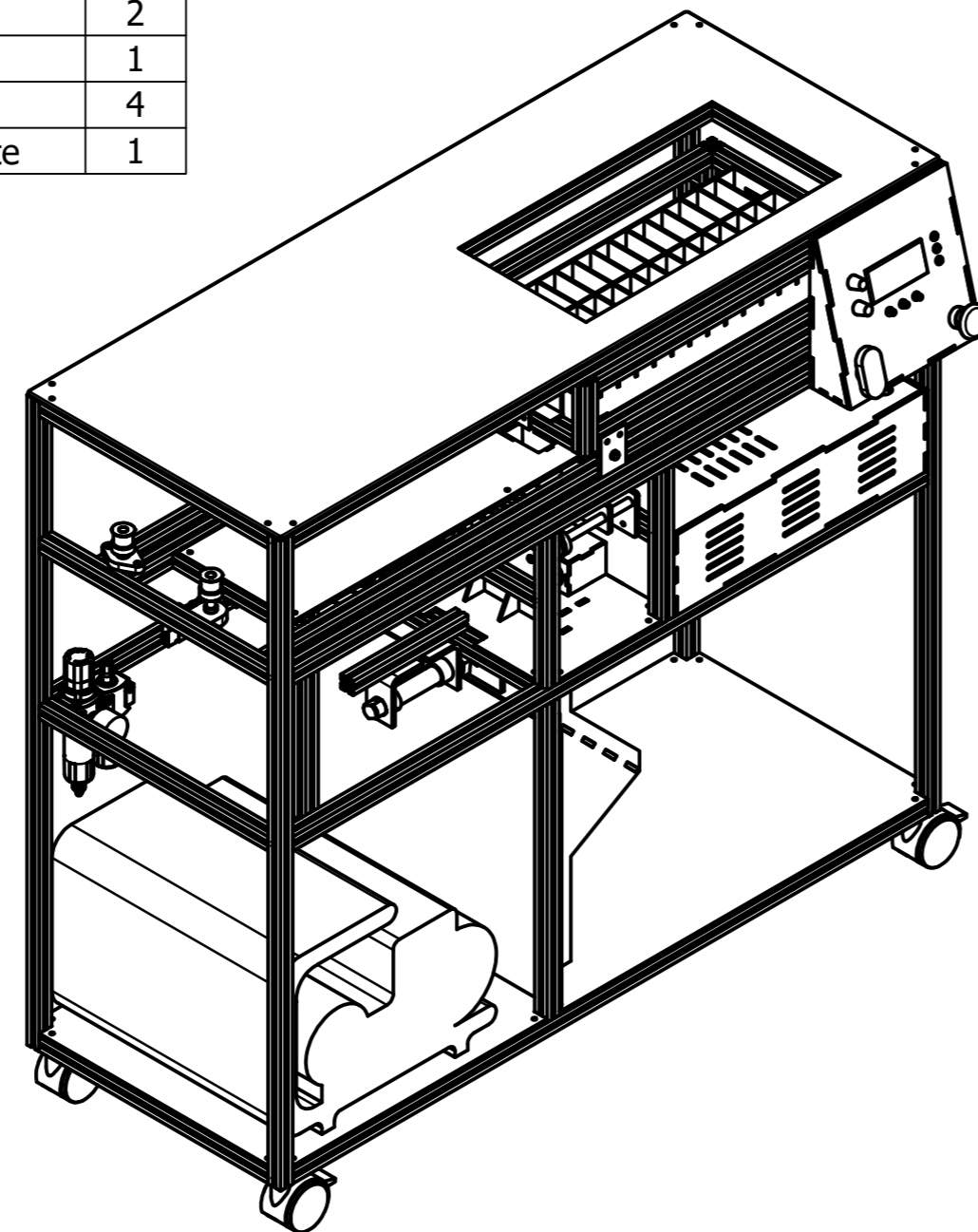
| SISTEMA | Selladora Gatva Seal 1 (2.4.1) | | | | | | |
|------------|--|-----------------|---|---|---|--|--|
| Subsistema | | | | | | | |
| FUNCION | | FALLA FUNCIONAL | MODO DE FALLA | EFFECTOS | CONSECUENCIAS | | |
| 1 | Sellar bolsas de helado con una presión de 5 N/cm2. | 1 | 1 | Válvula de compresor cerrada. | No hay paso de aire para el sellado. | Operacional: no se puede realizar el sellado. | |
| | | | 2 | Compresor dañado. | No se comprime el aire. | | |
| | | 2 | La presión diferente a la requerida. | 1 | Válvula de compresor en posición incorrecta. | Presión mayor o menor a la necesaria. | Operacional: varía la calidad del sellado. Sello no hermético o bolsa aplastada. |
| | | | | 2 | Fuga de aire en mangueras. | No hay fuerza suficiente en las mordazas. | Operacional: el sello obtenido no es hermético. Sellado más lento. |
| 2 | Sellar bolsas de helado a una temperatura de 115°C. | 1 | 1 | Resistencias quemadas. | No se calientan las mordazas. | Operacional: no se realiza el sellado. Las bolsas con presionadas pero sin el calor necesario. | |
| | | | 2 | Actuador de calentamiento dañado. | | | |
| | | | 3 | No hay corriente eléctrica. | | | |
| | | 2 | La temperatura es diferente a la requerida. | 1 | Temperatura mal configurada en el panel de control. | La temperatura de salida corresponde a la configurada, pero es diferente a la necesaria. | Operacional: no se logra el sellado adecuado. |
| | | | | 2 | Termocupla desacoplada, la lectura es incorrecta. | La lectura de temperatura es diferente a la real. Varía la temperatura de salida. | |
| | | | | 3 | Acturador en mal estado | La resistencia permanece encendida siempre. | |
| 3 | Sellar bolsas de helado con un tiempo de 1.5 segundos. | 1 | 1 | Válvula de control dañada. | Los pistones no son accionados. | Operacional: no se puede realizar el sellado. | |
| | | | 2 | Controlador dañado. | | | |
| 2 | El tiempo es diferente al requerido. | 1 | 1 | Tiempo mal configurado en el panel de control. | El tiempo corresponde a la configurada, pero es diferente a la necesaria. | Operacional: el sello obtenido es de calidad variable. | |
| | | | | | | | |
| 4 | Lograr un sellado adecuado y hermético de las bolsas de helado bajo los parámetros de operación. | 1 | 1 | Falla en alguno de los parámetros de operación del sellado. | Las bolsas presentan alguna anomalía en la calidad del sellado. | Operacional: el sello obtenido no garantiza la conservación del producto. | |
| | | | 2 | Mordaza con residuos de plástico | No hay una transferencia de calor adecuada. | | |
| 5 | Sellar bolsas de helado a una razón de 250 helados por hora. | 1 | 1 | Falla en alguno de los parámetros de operación del sellado. | El sellado dura más de lo establecido. | Operacional: se atrasa la producción de helados. | |
| | | | 2 | Giro del motor del movimiento lineal es más lento. | El transporte y procesamiento del lote de helado se atrasa. | | |
| | | | 3 | Banda dentada no se mueve con el motor. | | | |
| | | | 4 | Banda dentada desacoplada del carro. | | | |
| 6 | Registrar los datos de operación en la nube en cada uso del dispositivo. | 1 | 1 | No hay conexión a internet. | No se puede conectar con la red para el registro. | No operacional: pérdida de información de operación de la máquina. | |
| | | | 2 | No hay conexión con el servidor. | No se pued ingresar al servidor para el registro. | | |
| | | | 3 | El controlador de internet no funciona. | No es posible el registro de los datos. | | |
| | | 2 | Registro intermitente. | 1 | Variaciones en la calidad de la conexión a internet. | | El registro solo se realiza cuando existe una buena conexión. |

| | | |
|-----------------------|--------------------------------|-------------|
| Realizado por: | Orlando Alexander Gatica Valle | |
| Fecha: | 2019-04-16 | Versión 1.1 |

| # Consecutivo | Acción proactiva | Frecuencia | | | | | | | Tiempo estimado tarea | | | Mano Obra requerida y costo estimado con cargas sociales | | | | | | Costo Anual | |
|---------------|---|------------|---------|---------|-----------|------------|-----------|-------|-----------------------|-------|------------|--|-------------|-------|----------|------------|-------|--------------|-------|
| | | Operación | Semanal | Mensual | Bimensual | Trimestral | Semestral | Anual | Minutos | Horas | Frecuencia | Mecatrónico | | | Operario | | | | |
| | | | | | | | | | | | | Cantidad | Costo/ hora | Total | Cantidad | Costo/hora | Total | | |
| | Selladora Gatva Seal I (2.4.1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 52 | 12 | 6 | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | |
| 111 | Verificar el estado de la válvula del compresor. De estar cerrada, colocarla en posición de apertura. | X | | | | | | | 1 | 0.02 | 0 | 0 | 6000 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 112 | Verificar el estado de funcionamiento del compresor. Si no se mueve, reemplazar. | | | | | | | X | 30 | 0.50 | 1 | 1 | 6000 | 3000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3000 |
| 121 | Revisar la posición de la válvula de regulación de presión. Si está en una posición diferente a la indicada, colocar en la posición correcta. | X | | | | | | | 2 | 0.03 | 0 | 0 | 6000 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 122 | Revisar el estado de las mangueras de aire comprimido. Si se escucha una fuga, se debe cambiar el segmento afectado. | | | X | | | | | 15 | 0.25 | 12 | 0 | 6000 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 211 | Realizar prueba de calentamiento de mordazas. Si no hay calentamiento y si los cables de la resistencia están quemados, reemplazar. | | | | | | X | | 45 | 0.75 | 2 | 1 | 6000 | 9000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 9000 |
| 212 | Realizar prueba de calentamiento de mordazas. Si no hay calentamiento y si el relé está quemado, reemplazar. | | | | | | X | | 45 | 0.75 | 2 | 1 | 6000 | 9000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 9000 |
| 213 | Realizar prueba de calentamiento de mordazas. Si no se observa daño, revisar conexión a corriente. | | | | | | X | | 10 | 0.17 | 2 | 1 | 6000 | 2000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2000 |
| 221 | Revisar la temperatura configurada en el panel de control. Ajustarla al valor deseado. | X | | | | | | | 1 | 0.02 | 0 | 0 | 6000 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 222 | Revisar estado de las termocuplas. Si está despegada de la mordaza, pegarla con la pasta térmica. | | | | | | X | | 15 | 0.25 | 2 | 1 | 6000 | 3000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3000 |
| 223 | Realizar prueba de calentamiento de mordazas. Si no hay calentamiento y si el relé dañado, reemplazar. | | | | | | X | | 45 | 0.75 | 2 | 1 | 6000 | 9000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 9000 |
| 311 | Realizar prueba de sellado. Si los pistones no son accionados y las otras funciones son adecuadas, reemplazar válvula de control. | | | | | | | X | 30 | 0.50 | 1 | 1 | 6000 | 3000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3000 |
| 312 | Realizar prueba de sellado. Si los pistones no son accionados y las otras funciones no son adecuadas, reemplazar controlador. | | | | | | | X | 60 | 1.00 | 1 | 1 | 6000 | 6000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6000 |
| 321 | Revisar el tiempo configurado en el panel de control. Ajustar al valor deseado. | X | | | | | | | 2 | 0.03 | 0 | 0 | 6000 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 411 | Realizar las tareas propias de las primeras tres funciones. | | | | | | | | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 6000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 412 | Revisar el estado de las mordazas. Si existen residuos plásticos en la superficie de sellado, limpiar con un cepillo de madera. | | X | | | | | | 15 | 0.25 | 52 | 0 | 6000 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 511 | Realizar las tareas propias de las primeras tres funciones. | | | | | | | | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 6000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 512 | Realizar prueba de movimiento de carro. Si el giro del motor es más lento, reemplazar el controlador del motor. | | | | | | | X | 30 | 0.50 | 1 | 1 | 6000 | 3000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3000 |
| 513 | Realizar prueba de movimiento de carro. Si la banda dentada no se mueve con el motor, tensarla con las poleas laterales al motor. | | | | X | | | | 45 | 0.75 | 6 | 0 | 6000 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 514 | Revisar el estado de la banda dentada. Si está rota o desacoplada del carro, reemplazarla y ajustarla. | | | | X | | | | | 0.00 | 6 | 0 | 6000 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 611 | Realizar prueba de conexión a internet. Si no hay conexión, configurar el controlador; si el problema persiste, revisar la red inalámbrica. | X | | | | | | | 15 | 0.25 | 0 | 0 | 6000 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 612 | Realizar prueba de conexión a internet. Si hay conexión a internet pero no al servidor, revisar el estado de la configuración del servidor. | X | | | | | | | 60 | 1.00 | 0 | 1 | 6000 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 613 | Realizar prueba de conexión a internet. Si no se puede configurar el controlador, reemplazarlo. | X | | | | | | | 20 | 0.33 | 0 | 1 | 6000 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 621 | Revisar el estado de los registros de operación. Si se observan datos faltantes, revisar el estado de la configuración del controlador, el servidor y la red. | | | | X | | | | 60 | 1.00 | 6 | 1 | 6000 | 36000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 36000 |
| TOTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | 83000 | |

10.3. Apéndice C: Planos mecánicos.

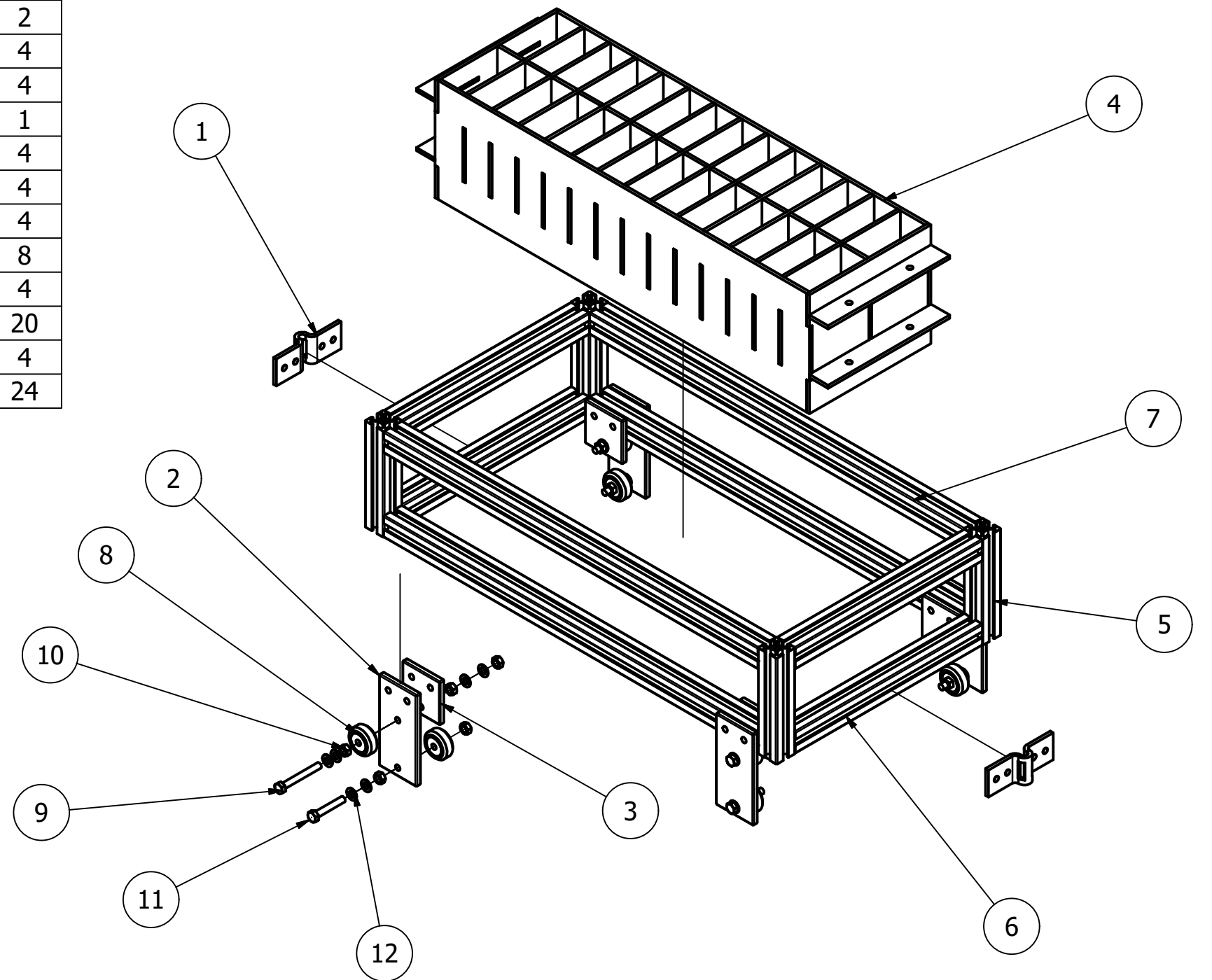
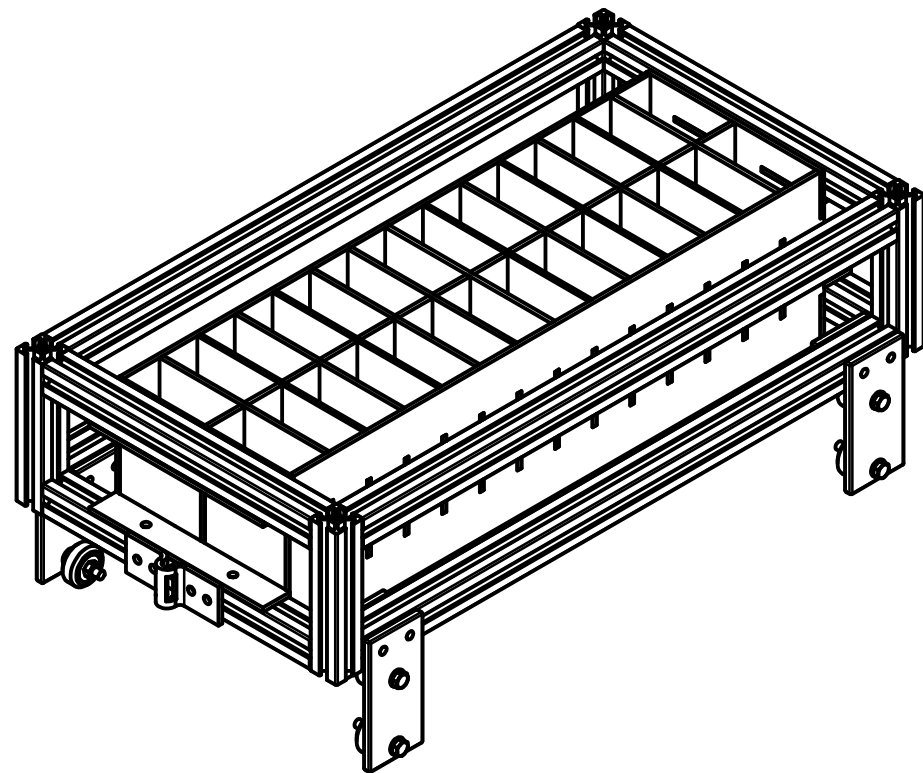
| Lista de Partes | | | | | |
|-----------------|-------|------|-----------------|--------------------------------|-----|
| Item | Form. | Pág. | Designación | Denominación | Qty |
| 1 | A3 | 2 | PFG 13.01.01.00 | Carro | 1 |
| 2 | A3 | 5 | PFG 13.01.01.04 | Final de carrera | 1 |
| 3 | A3 | 6 | PFG 13.01.01.08 | Eje corto polea | 2 |
| 4 | A3 | 6 | PFG 13.01.01.09 | Eje largo polea | 4 |
| 5 | A3 | 13 | PFG 13.01.03.00 | Sellado | 1 |
| 6 | A3 | 18 | PFG 13.01.03.06 | Compuerta inferior | 1 |
| 7 | A3 | 19 | PFG 13.01.04.00 | Guía caída | 1 |
| 8 | A3 | 22 | PFG 13.01.05.00 | Guía sellado | 1 |
| 9 | A4 | 29 | PFG 13.01.06.00 | Caja sensores | 1 |
| 10 | A3 | 32 | PFG 13.01.07.00 | Gabinete | 1 |
| 11 | A4 | 40 | PFG 13.01.08.00 | Rampa | 1 |
| 12 | A4 | 44 | PFG 13.01.09.01 | Soporte pistones | 4 |
| 13 | A3 | 45 | PFG 13.01.10.00 | Panel de control | 1 |
| 14 | A2 | 52 | PFG 13.01.12.00 | Estructura | 1 |
| 15 | A3 | 53 | PFG 13.01.13.01 | Superficie superior | 1 |
| 16 | A3 | 54 | PFG 13.01.13.02 | Superficie caída | 1 |
| 17 | A3 | 55 | PFG 13.01.13.03 | Superficie sellado | 1 |
| 18 | A3 | 56 | PFG 13.01.13.04 | Superficie inferior vertical | 1 |
| 19 | A3 | 57 | PFG 13.01.13.05 | Superficie inferior horizontal | 1 |
| 20 | | | | Soporte Motor | 1 |
| 21 | | | | Polea | 7 |
| 22 | | | | Cojinete montado horizontal | 2 |
| 23 | | | | Cojinete montado vertical | 4 |
| 24 | | | Nema 23 | Motor a pasos | 1 |
| 25 | | | LJC18A3-B-Z/BX | Sensor capacitivo | 2 |
| 26 | | | | Fuente 5 V | 1 |
| 27 | | | | Fuente 24 V | 1 |
| 28 | | | | PCB | 1 |
| 29 | | | Festo | FRC-1/4-DB-7-MINI-H | 1 |
| 30 | | | Festo | DSNU-20-30-P | 1 |
| 31 | | | Festo | DSNU-20-50-P | 1 |
| 32 | | | Festo | CPE10-M1BH-5L-M7 | 2 |
| 33 | | | Senco PC1010 | Compresor | 1 |
| 34 | | | 2" | Caster | 4 |
| 35 | | | | Conector cable corriente | 1 |



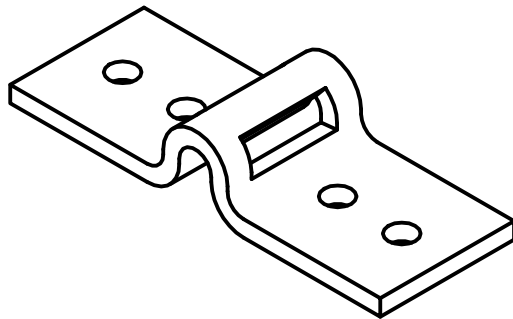
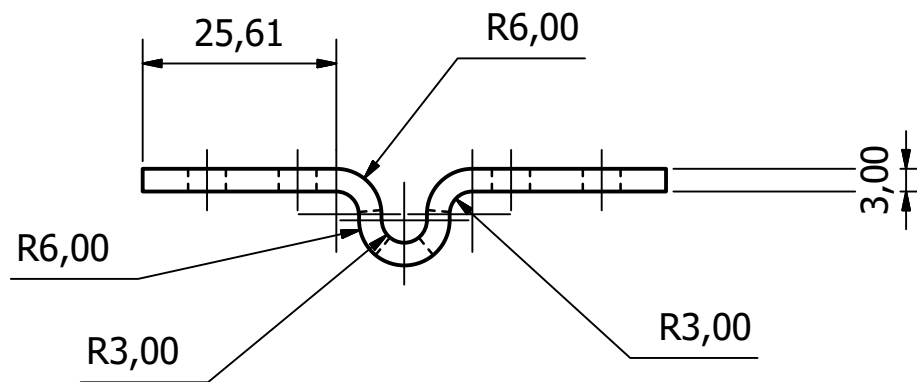
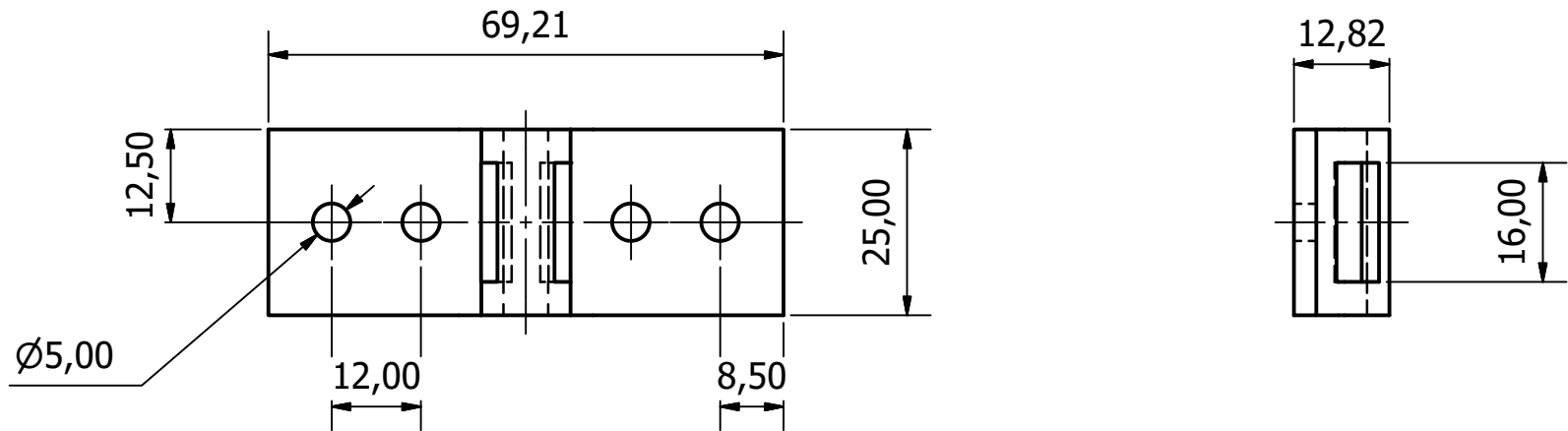
| | | | | |
|--|--|---------------------------------------|--|--|
| | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 |
| DIBUJ. O. Gatica | | FECHA: 2019-03-13 | | DENOMINACIÓN: Ensamble total |
| VERIF. | | ACABADO: | | |
| APROB. | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | |
| FABR. | | MATERIAL: Varios | | |
| NOTAS: Las dimensiones generales de la máquina son 1040x470x965 mm (LxAxH). | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.00.00 | | FORMATO: A2 |
| ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 5 | | HOJA 1 DE 57 |

Lista de Partes

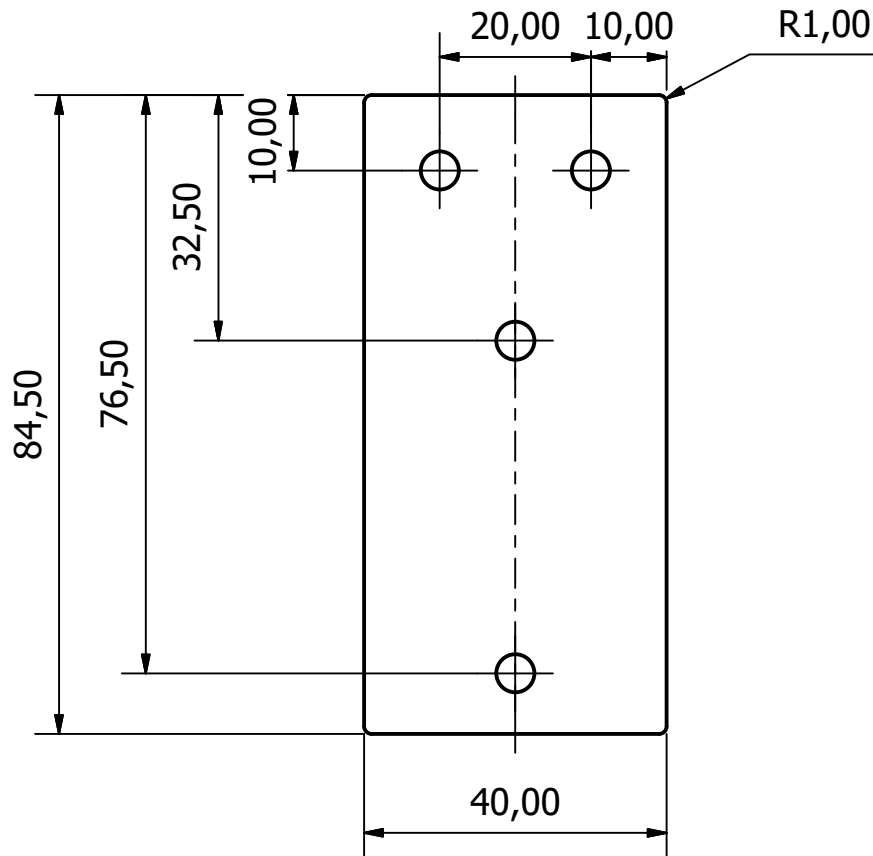
| Item | Form. | Pág. | Designación | Denominación | Qty |
|------|-------|------|-----------------|------------------------------|-----|
| 1 | A4 | 3 | PFG 13.01.01.01 | Agarradera banda dentada | 2 |
| 2 | A4 | 4 | PFG 13.01.01.02 | Soporte largo rueda carro | 4 |
| 3 | A4 | 4 | PFG 13.01.01.03 | Soporte corto rueda carro | 4 |
| 4 | A4 | 7 | PFG 13.01.02.00 | Cuadrícula de almacenamiento | 1 |
| 5 | A4 | 51 | PFG 13.01.11.01 | Perfil ITEM 2020x98 | 4 |
| 6 | A4 | 51 | PFG 13.01.11.04 | Perfil ITEM 2020x200 | 4 |
| 7 | A4 | 51 | PFG 13.01.11.08 | Perfil ITEM 2020x400 | 4 |
| 8 | | | V-Slot 20 | Rueda carro | 8 |
| 9 | | | ISO | Perno M5x40 | 4 |
| 10 | | | ISO | Tuerca M5 | 20 |
| 11 | | | ISO | Perno M5x30 | 4 |
| 12 | | | ISO | Arandela M5x1 | 24 |



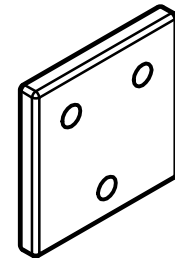
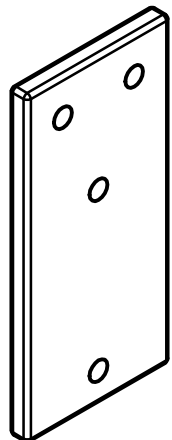
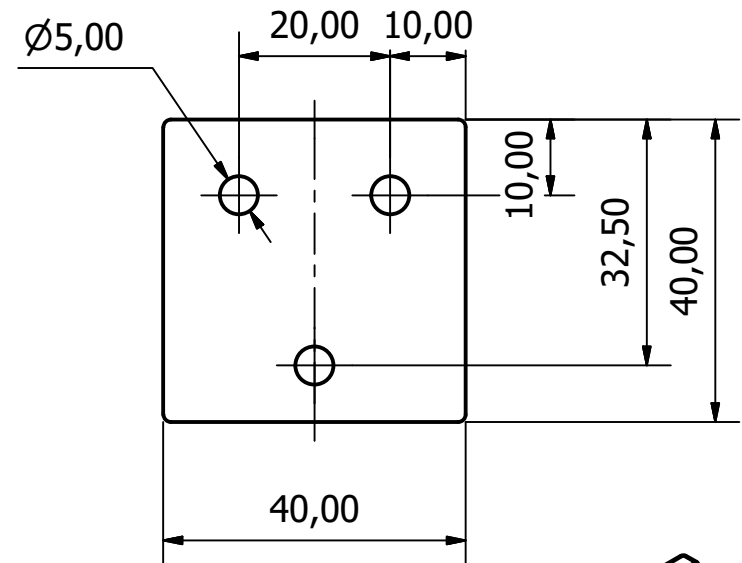
| | | | | | | |
|--|--|--|--|---------------------------------------|-----------------|---|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: | | Proyecto Final de Graduación |
| | | | | DENOMINACIÓN: | | |
| | | | | Carro | | |
| NOTAS: | | | | MATERIAL: | DESIGNACIÓN: |  FORMATO: A3 |
| | | | | Varios | PFG 13.01.01.00 | |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 1 : 4 | HOJA 2 DE 57 |



| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|-----------------------|
| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 |
| | | | | DENOMINACIÓN: Agarradera banda dentada | | |
| NOTAS: La apertura rectangular es de 5x16 mm. | | | | MATERIAL: Acero 304 3mm | DESIGNACIÓN: PGF 13.01.01.01 | FORMATO: A4 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 1 : 1 | HOJA 3 DE 57 |

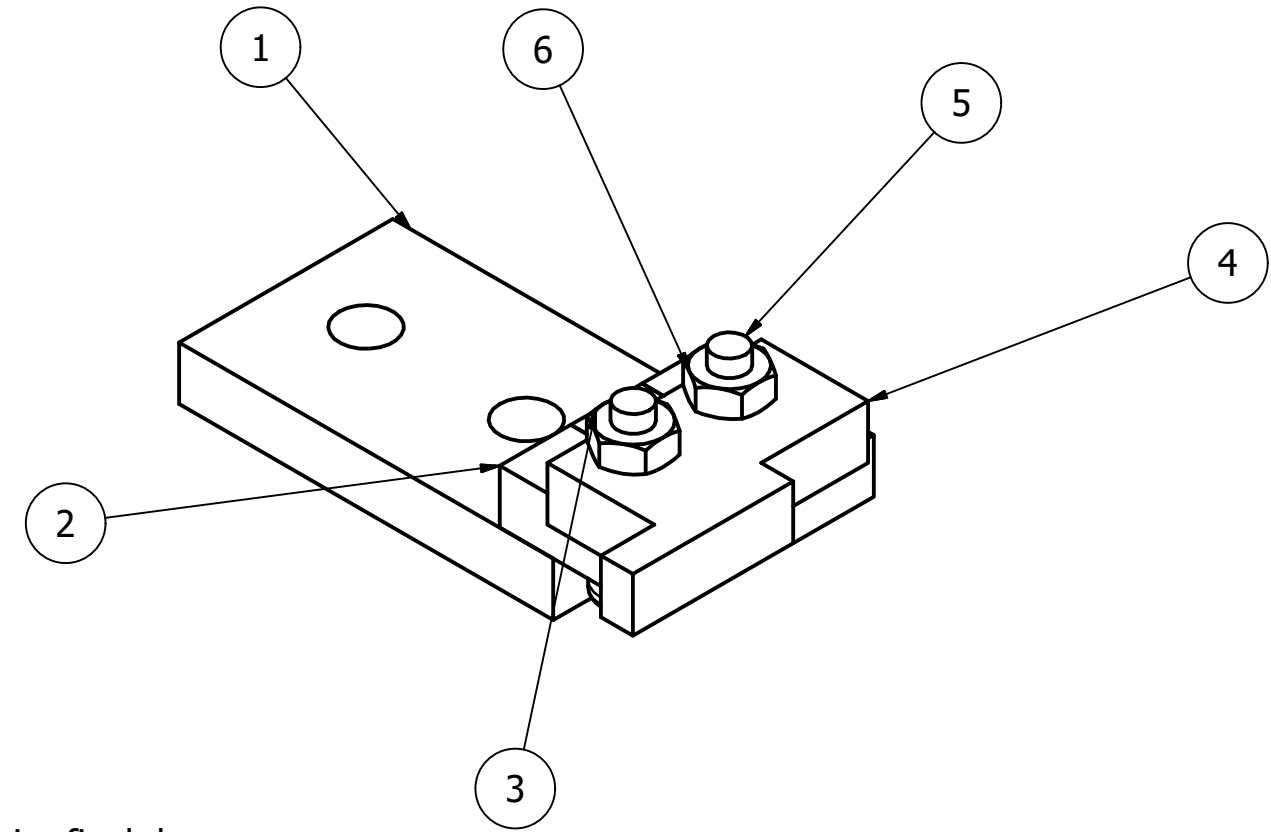


Soporte corto rueda carro
PFG 13.01.01.03

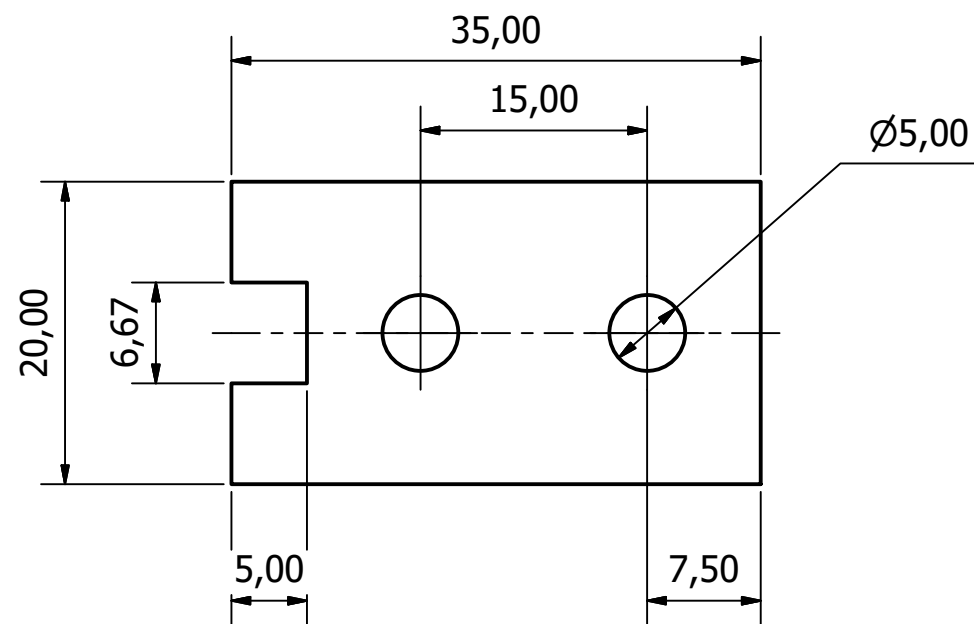


| | | | | | | | |
|---|--|--|--|---|--|--|---|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Soporte largo rueda carro | | | |
| NOTAS: Incluye el plano de PFG 13.01.01.03 | | | | MATERIAL: Acero 304 5mm | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.01.02 |  FORMATO: A4 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 1 | HOJA 4 DE 57 |

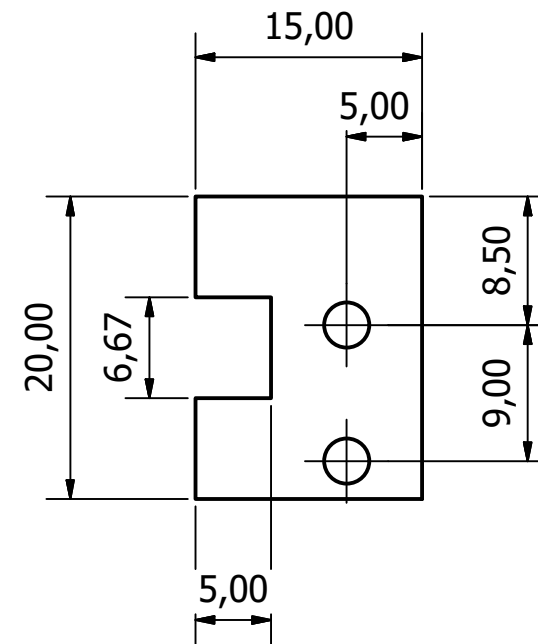
| Lista de Partes | | | | | |
|-----------------|-------|------|-----------------|---------------------------|-----|
| Item | Form. | Pág. | Designación | Denominación | Qty |
| 1 | A3 | 5 | PFG 13.01.01.05 | Base final de carrera | 1 |
| 2 | A3 | 5 | PFG 13.01.01.06 | Superior final de carrera | 1 |
| 3 | A3 | 5 | PFG 13.01.01.07 | Pin final de carrera | 1 |
| 4 | | | | Switch final de carrera | 1 |
| 5 | | | ISO | Tornillo M3x14 | 2 |
| 6 | | | ISO | Tuerca M3 | 2 |



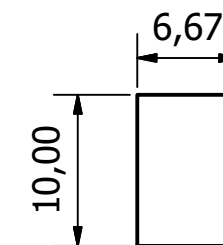
Base final de carrera
PFG 13.01.01.05



Superior final de carrera
PFG 13.01.01.06

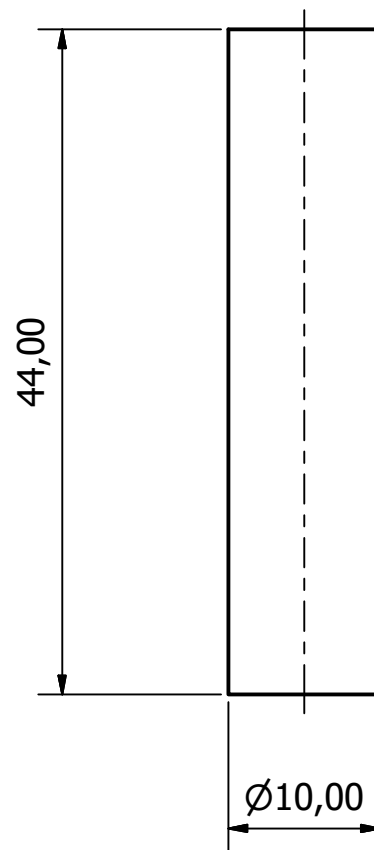
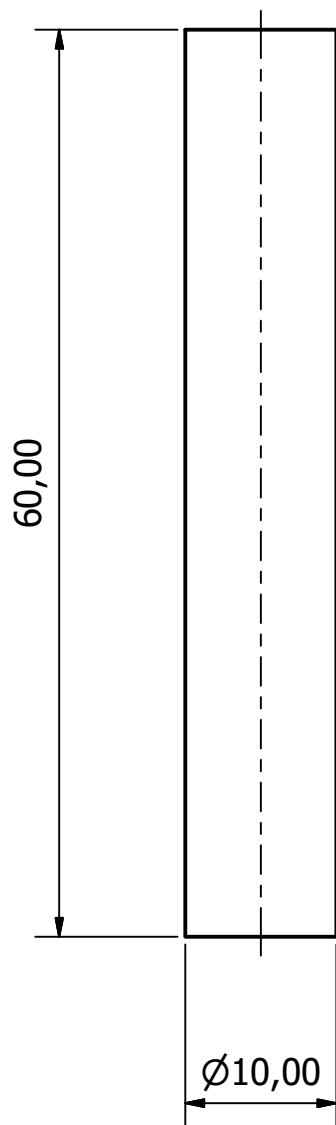


Pin final de carrera
PFG 13.01.01.07



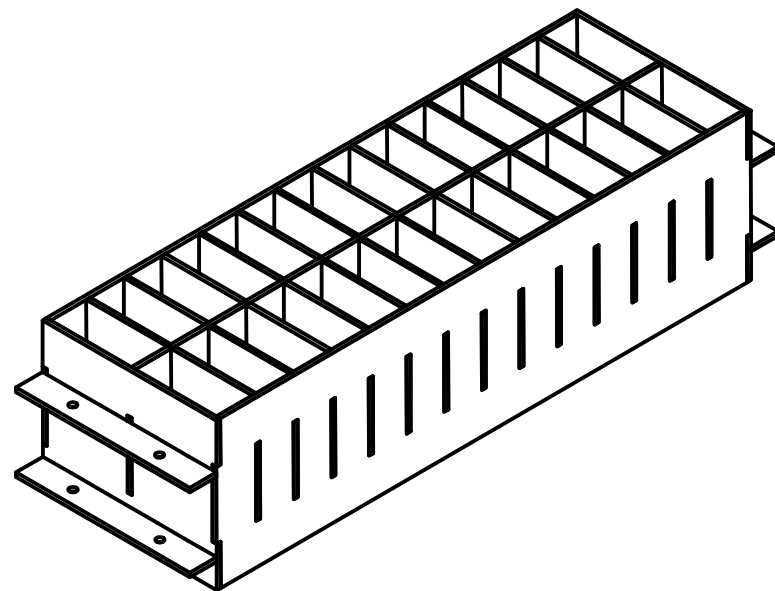
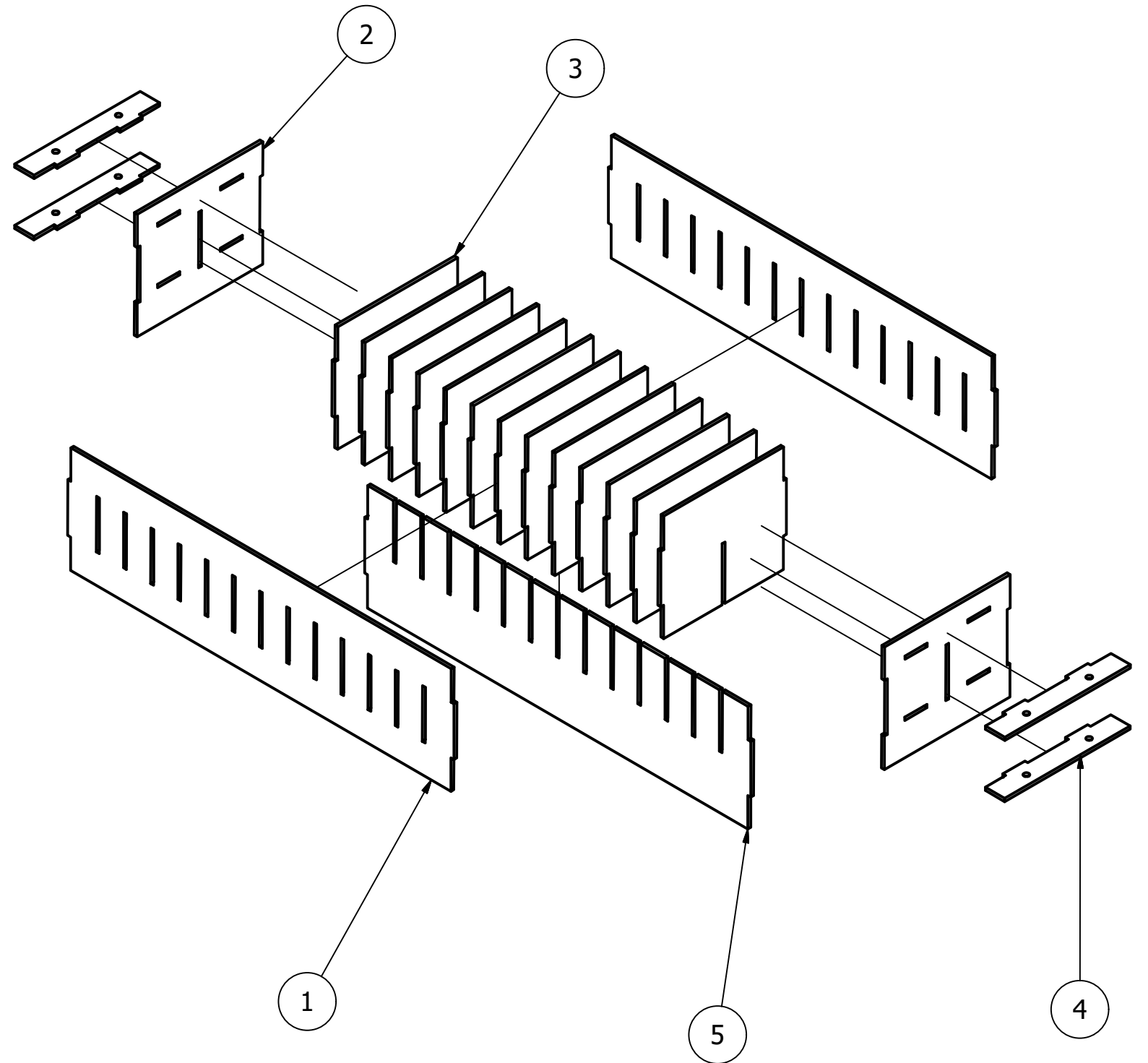
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|------------|-----------------------|--|--|---|----------|--------|-----------|------------|--|--------|--|--|-----------------------|--------|--|--|--|-------|--|--|--|--|--|--|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>NOMBRE</td> <td>FIRMA</td> <td>FECHA</td> <td>ACABADO:</td> </tr> <tr> <td>DIBUJ.</td> <td>O. Gatica</td> <td>2019-04-09</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> <td>NOTAS DE FABRICACIÓN:</td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | | | | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | DIBUJ. | O. Gatica | 2019-04-09 | | VERIF. | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | APROB. | | | | FABR. | | | | DENOMINACIÓN: Final de carrera | | |
| NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIBUJ. | O. Gatica | 2019-04-09 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VERIF. | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOTAS: El espesor de las piezas de acrílico es de 5 mm. | | | | MATERIAL: Varios | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.01.04 |  FORMATO: A3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACOTACIÓN: mm | | | | ESCALA: 2 : 1 | HOJA 5 DE 57 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Eje largo polea
PFG 13.01.01.09

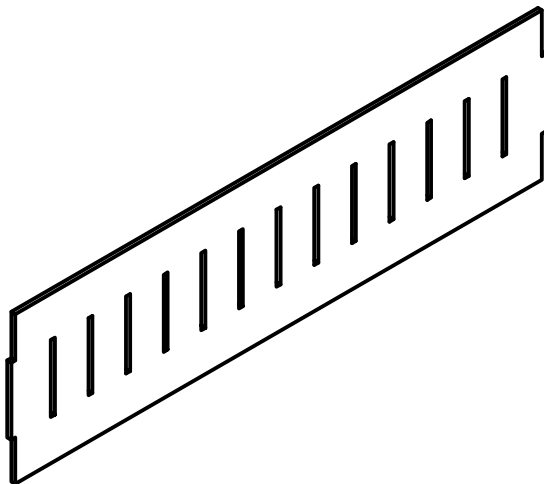
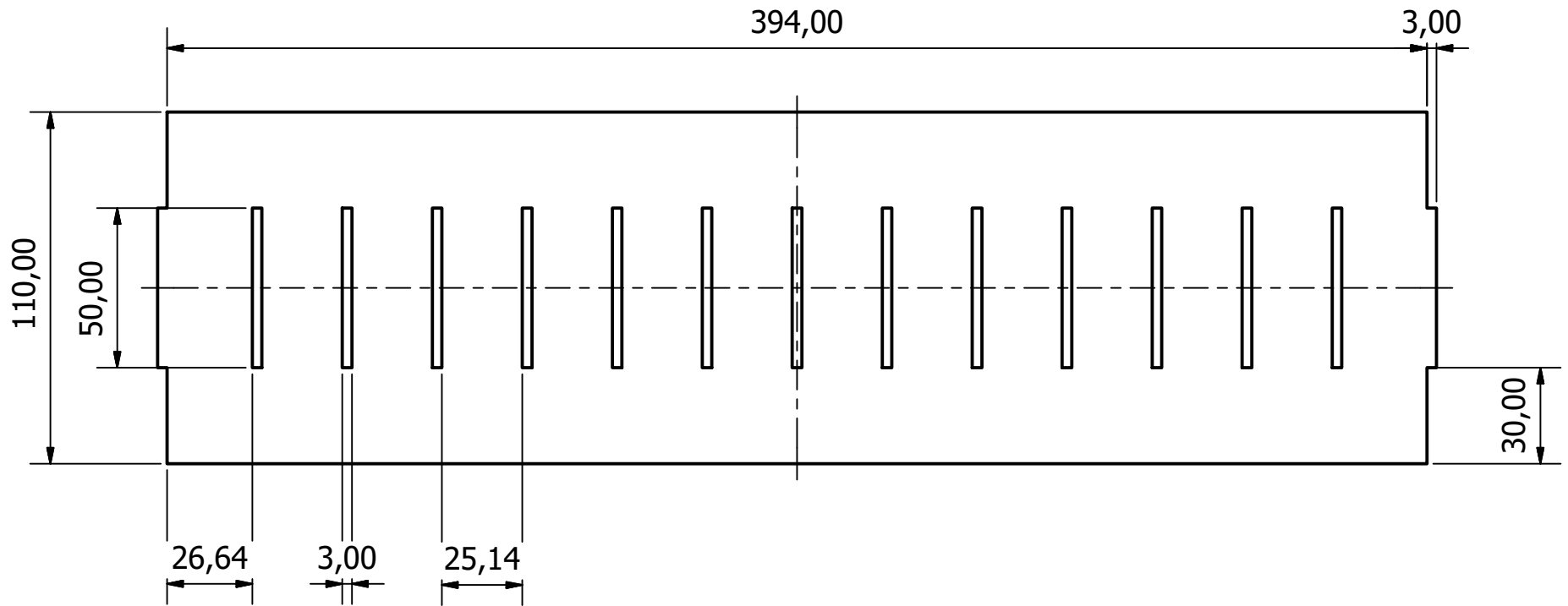


| | | | | | | |
|---|-----------|-------|------------|---|--|---|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - |
| | | | | DENOMINACIÓN: Eje corto polea | | |
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | | |
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-27 | | | |
| VERIF. | | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | |
| APROB. | | | | | | |
| FABR. | | | | | | |
| NOTAS: Incluye plano de PFG 13.01.01.09 | | | | MATERIAL: Acero 304 | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.01.08 | FORMATO: A4 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 2 : 1 |  HOJA 6 DE 57 |

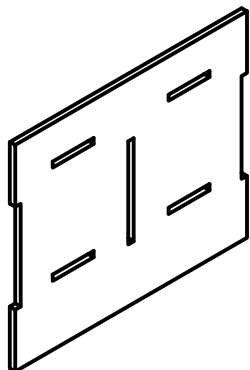
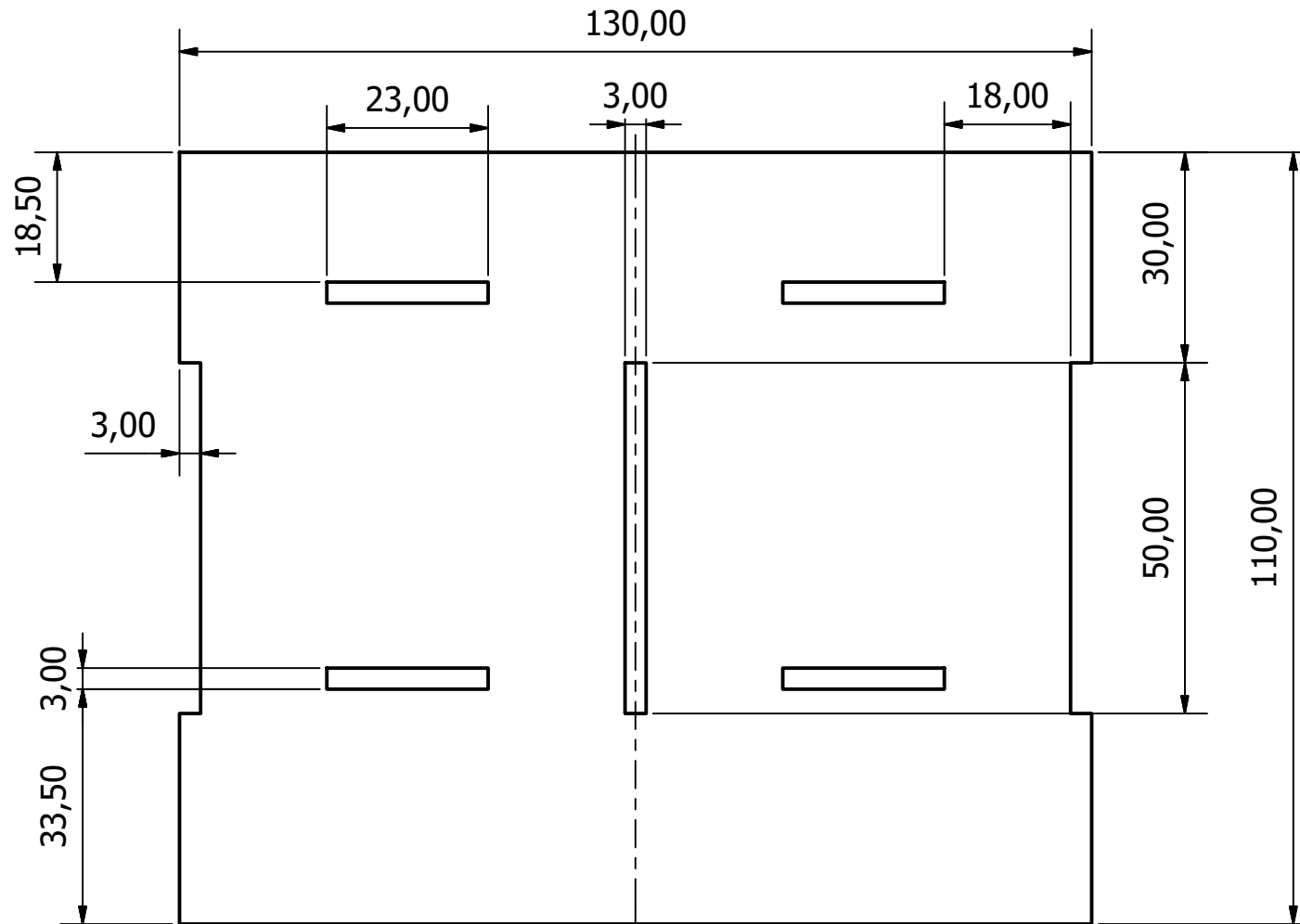
| Lista de Partes | | | | | |
|-----------------|-------|------|-----------------|--------------------------|-----|
| Item | Form. | Pág. | Designación | Denominación | Qty |
| 1 | A4 | 8 | PFG 13.01.02.01 | Lateral largo cuadrícula | 2 |
| 2 | A4 | 9 | PFG 13.01.02.02 | Lateral corto cuadrícula | 2 |
| 3 | A4 | 10 | PFG 13.01.02.03 | Separador cuadrícula | 13 |
| 4 | A4 | 11 | PFG 13.01.02.04 | Soporte cuadrícula | 4 |
| 5 | A4 | 12 | PFG 13.01.02.05 | Central cuadrícula | 1 |



| | | | | | | |
|--|--|-------|--|---------------------------------------|--|-----------------|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: | | 1 - 1 |
| | | | | Proyecto Final de Graduación | | |
| | | | | DENOMINACIÓN: | | |
| | | | | Cuadrícula de almacenamiento | | |
| | | | | MATERIAL: | | DESIGNACIÓN: |
| | | | | Acrílico 3mm | | PFG 13.01.02.00 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 4 |
| | | | | NOTAS: | | HOJA 7 DE 57 |
| DIBUJ. | | FIRMA | | FECHA | | FORMATO: |
| O. Gatica | | | | 2019-03-19 | | A3 |
| VERIF. | | | | | | |
| APROB. | | | | | | |
| FABR. | | | | | | |



|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-------|------------|--|--------|--|---|--------|-----------|--|------------|--------|--|--|--|--------|--|--|--|-------|--|--|--|---------------|--|--------------|
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Lateral largo cuadrícula | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | MATERIAL: Acrílico 3mm | | DESIGNACIÓN: PGF 13.01.02.01 |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOTAS: | | | | ACOTACIÓN: mm | | FORMATO: A4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIBUJ.</td> <td>O. Gatica</td> <td></td> <td>2019-03-19</td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | | | | NOMBRE | FIRMA | FECHA | DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-19 | VERIF. | | | | APROB. | | | | FABR. | | | | ESCALA: 1 : 2 | | HOJA 8 DE 57 |
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VERIF. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



TEC | Tecnológico de Costa Rica

ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA

REVISIÓN:

CURSO:

Proyecto Final de Graduación

1 - 1

| | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--------|-----------|-------|------------|
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-19 |
| VERIF. | | | |
| APROB. | | | |
| FABR. | | | |

ACABADO:

NOTAS DE FABRICACIÓN:

DENOMINACIÓN:

Lateral corto cuadrícula

NOTAS:

MATERIAL:

Acrílico 3mm

ACOTACIÓN: mm

DESIGNACIÓN:

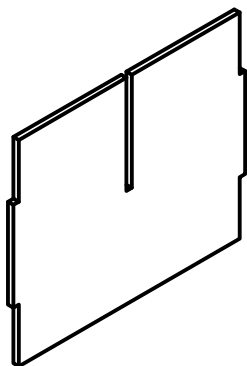
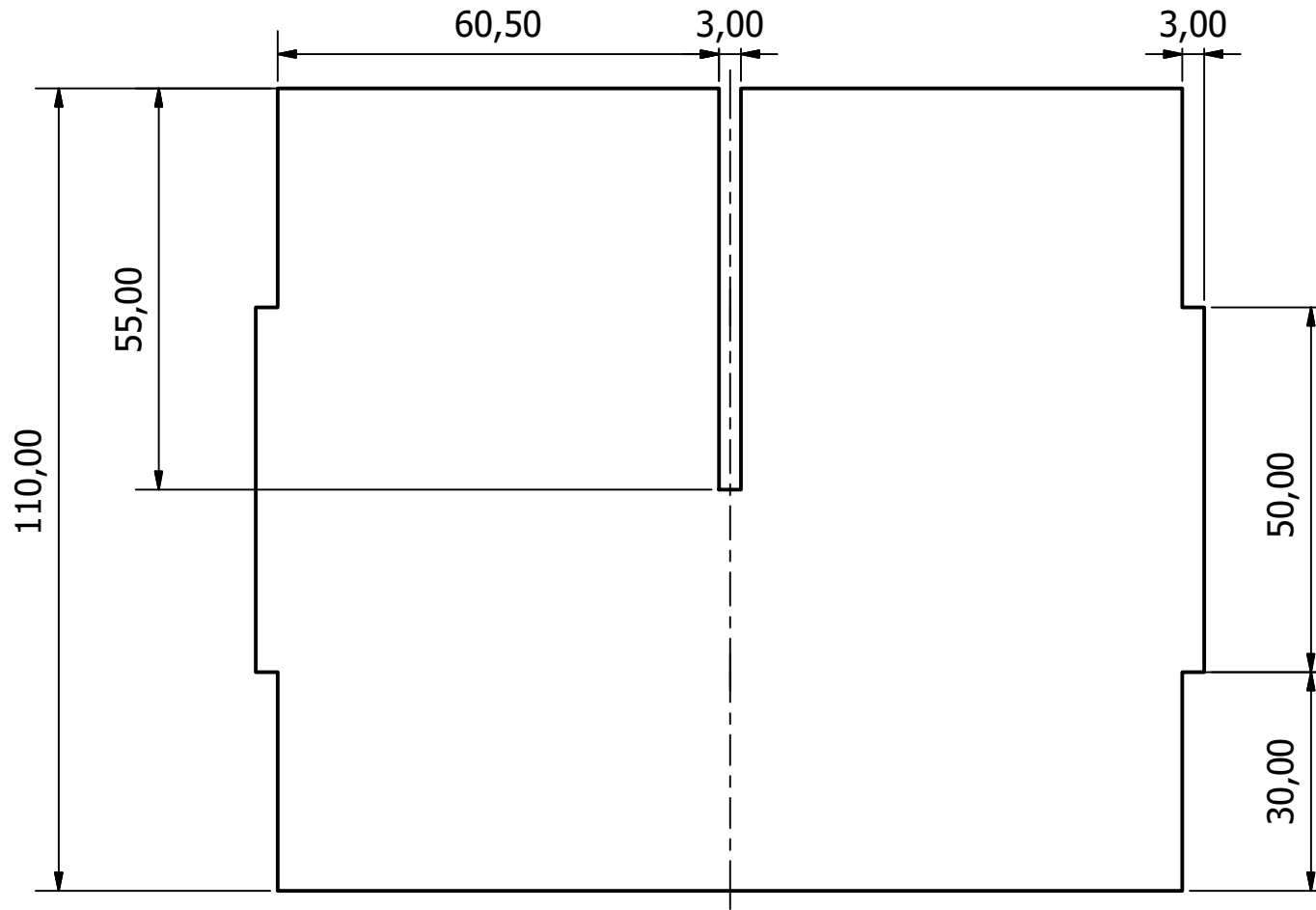
PGF 13.01.02.02

ESCALA: 1 : 1

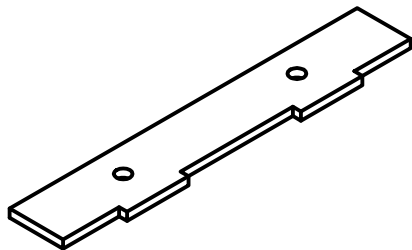
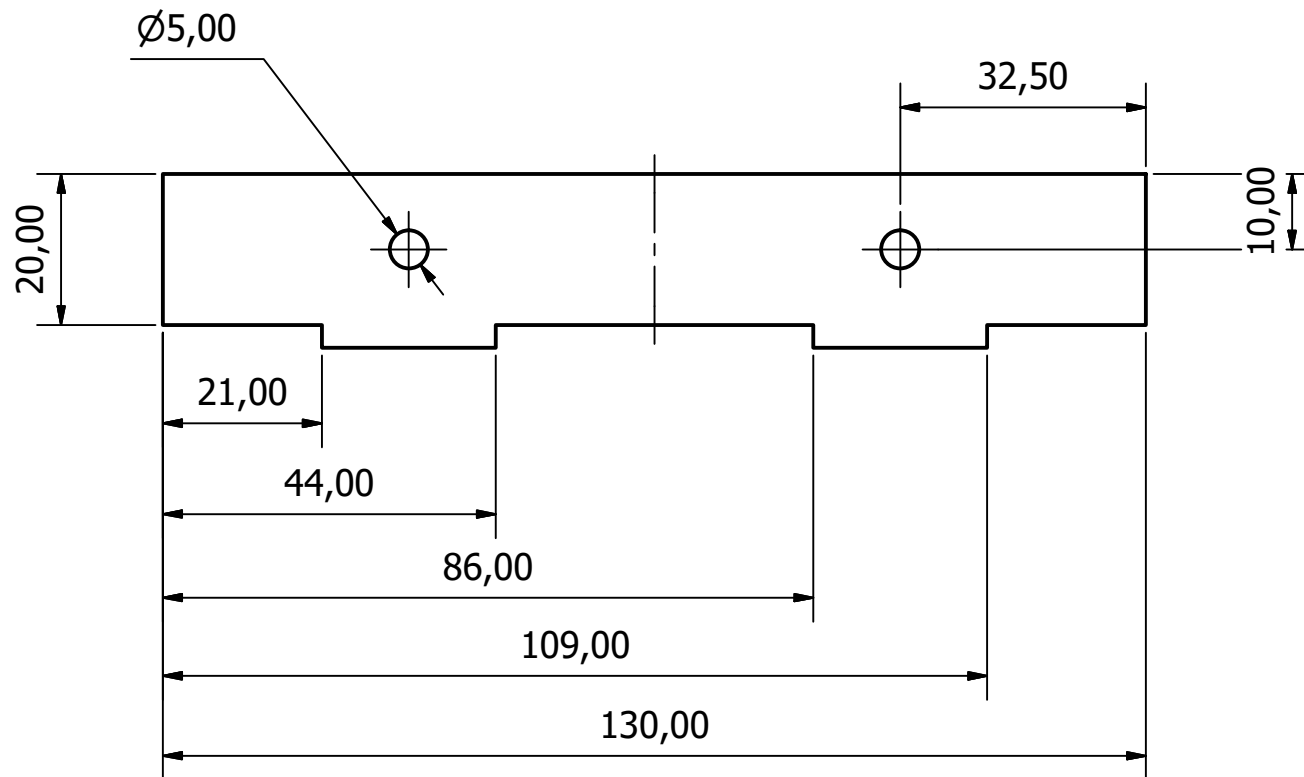
FORMATO:

A4

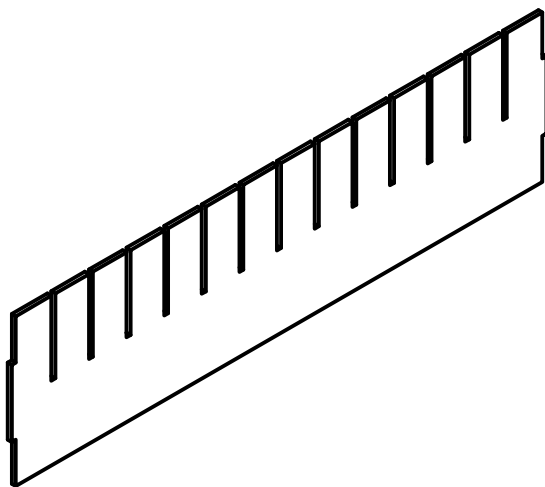
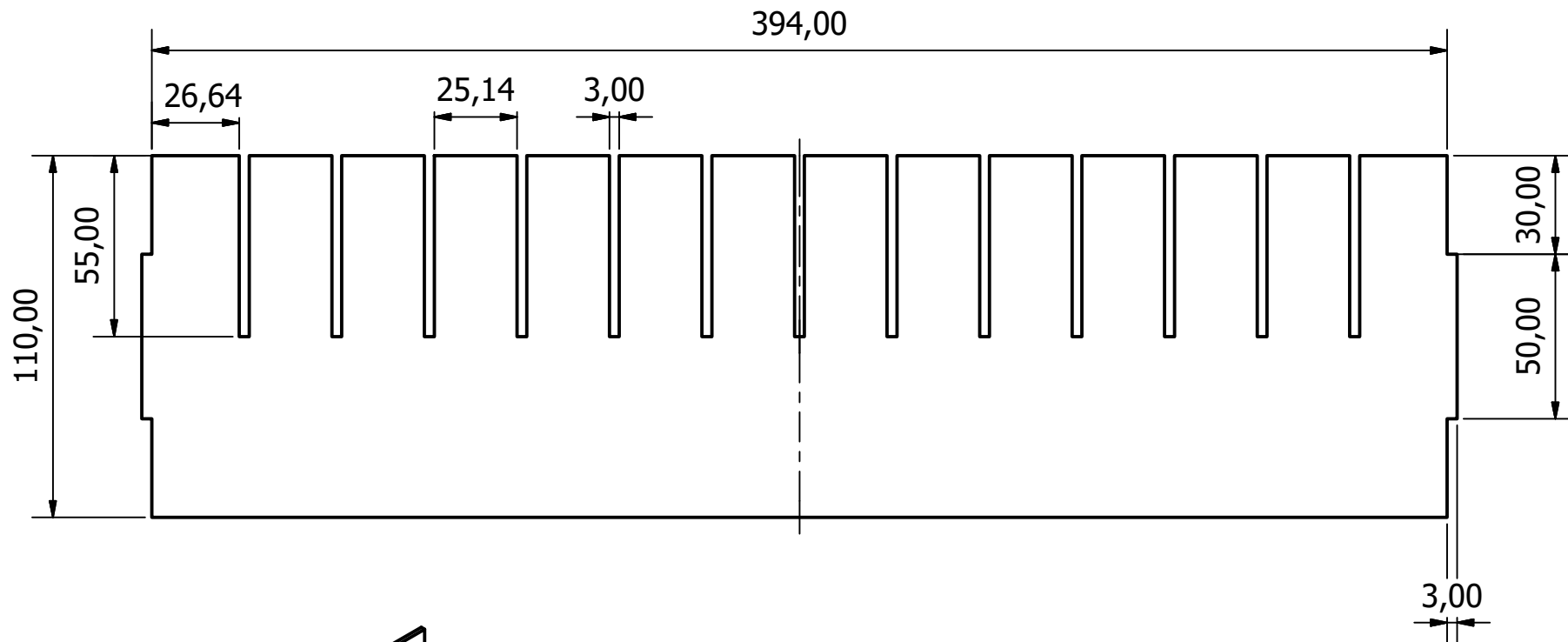
HOJA 9 DE 57



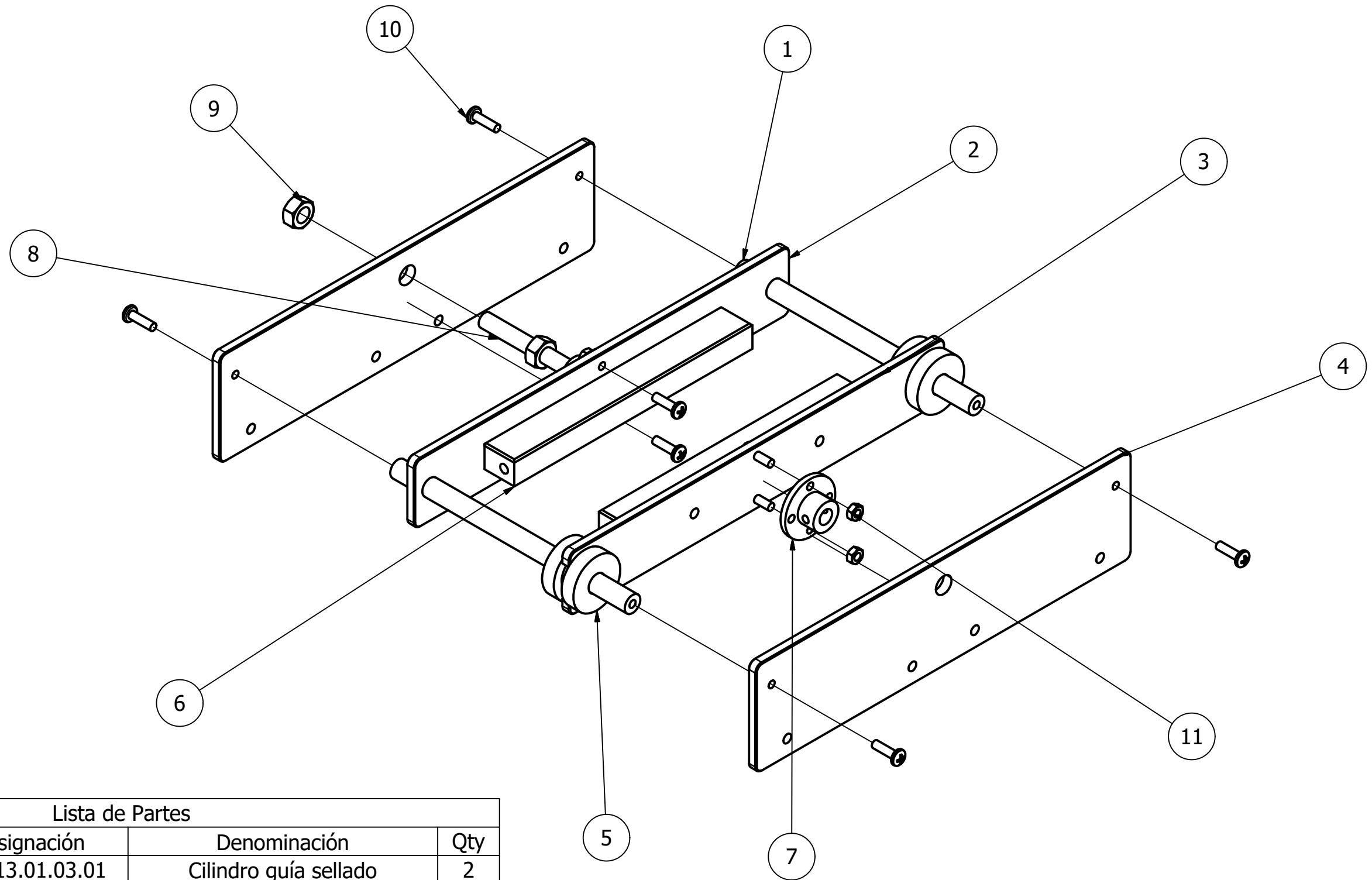
| | | | | | | | |
|---|-----------|-------|------------|--|--|--|---|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Separador cuadrícula | | | |
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | | | |
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-19 | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | | |
| VERIF. | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | |
| NOTAS: | | | | MATERIAL: Acrílico 3mm | | DESIGNACIÓN: PGF 13.01.02.03 |  |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 1 | HOJA 10 DE 57 FORMATO: A4 |



| | | | | | | |
|---|-----------|-------|------------|--|--|---------------|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 |
| | | | | DENOMINACIÓN: Soporte cuadrícula | | |
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | DESIGNACIÓN: PGF 13.01.02.04 | |
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-19 | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | |
| VERIF. | | | | | | |
| APROB. | | | | | | |
| FABR. | | | | | | |
| NOTAS: | | | | MATERIAL: Acrílico 3mm | FORMATO: A4 | |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 1 : 1 | HOJA 11 DE 57 |



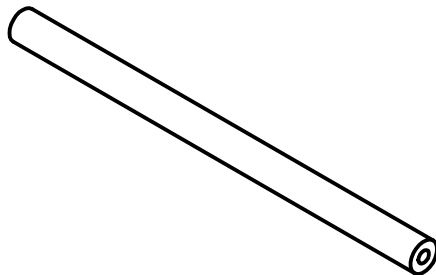
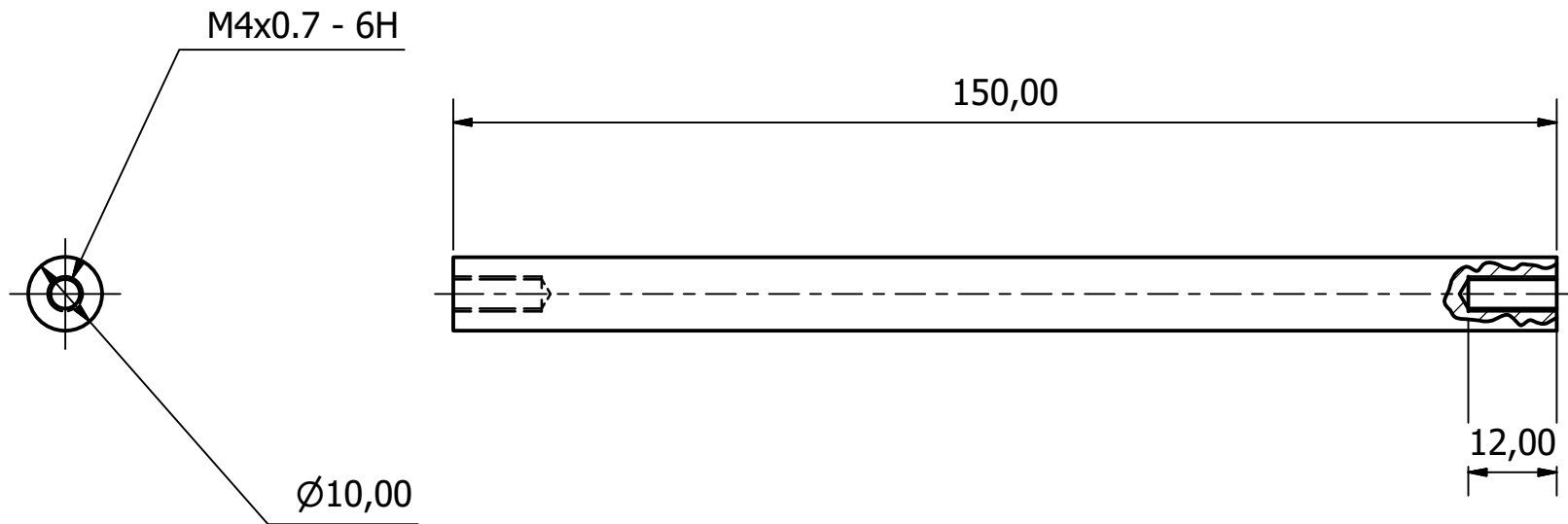
| | | | | | | | |
|---|-----------|-------|------------|--|--|---------------|---|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Central cuadrícula | | | |
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | DESIGNACIÓN: PGF 13.01.02.05 | |  FORMATO: A4 |
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-19 | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | | |
| VERIF. | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | |
| FABR. | | | | MATERIAL: Acrílico 3mm | | HOJA 12 DE 57 | |
| NOTAS: | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 2 | |

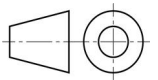


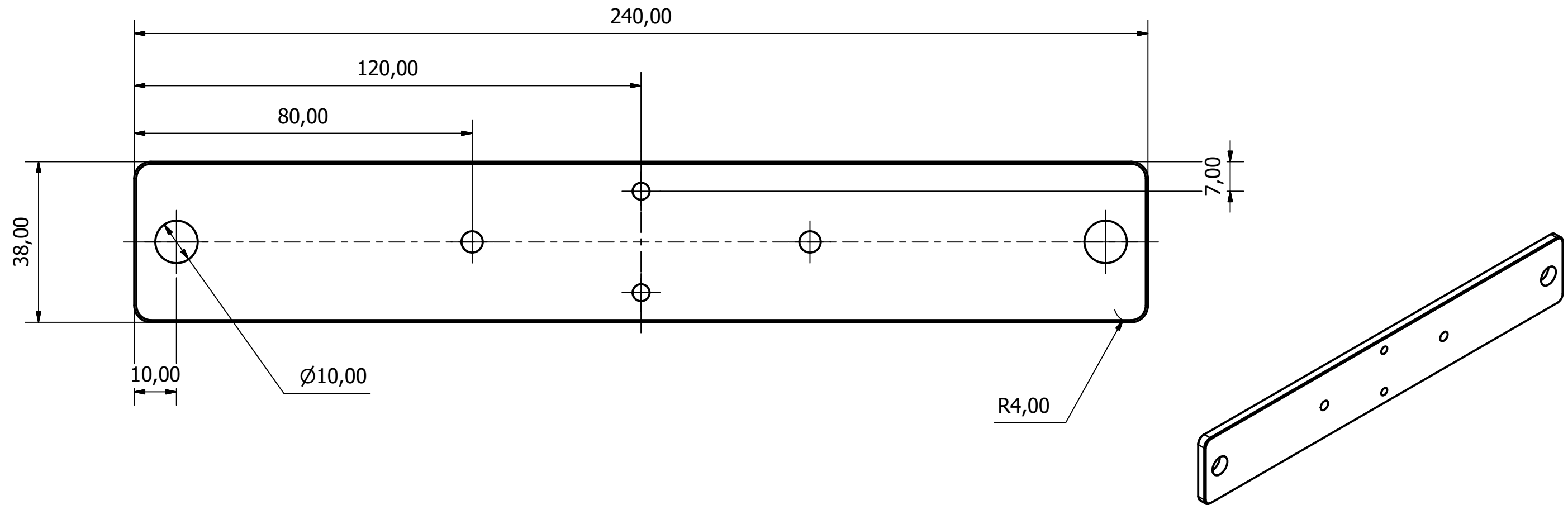
Lista de Partes

| Item | Form. | Pág. | Designación | Denominación | Qty |
|------|-------|------|------------------|---------------------------------|-----|
| 1 | A4 | 14 | PFG 13.01.03.01 | Cilindro guía sellado | 2 |
| 2 | A3 | 15 | PFG 13.01.03.02 | Placa mordaza fija sellado | 1 |
| 3 | A3 | 15 | PFG 13.01.03.03 | Placa mordaza movil sellado | 1 |
| 4 | A4 | 16 | PFG 13.01.03.04 | Soporte cilindro sellado | 2 |
| 5 | A4 | 17 | PFG 13.01.03.05 | Bocín movimiento lineal sellado | 2 |
| 6 | | | KF-150CST | Mordaza sellado | 2 |
| 7 | | | Flange 8 mm bore | Brida placa mordazas | 2 |
| 8 | | | ISO | Barra roscada M10x70 | 1 |
| 9 | | | ISO | Tuerca M8 | 2 |
| 10 | | | ISO | Tornillo M4x12 | 8 |
| 11 | | | ISO | Tuerca M4 | 4 |

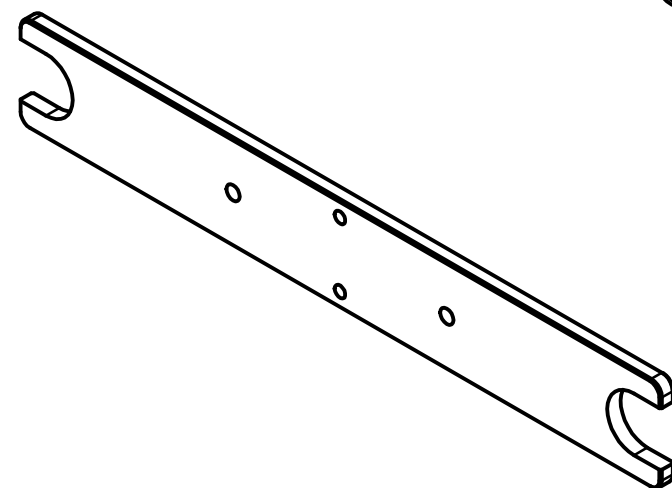
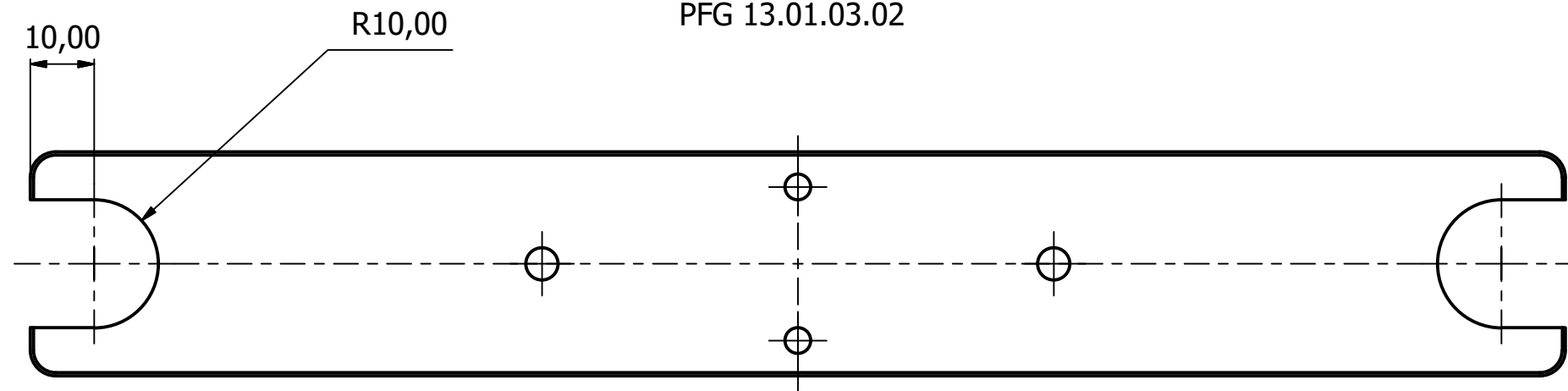
| | | | | | | | |
|------------------|--|--|--|--|--|------------------------------|--|
| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | |
| DIBUJ. O. Gatica | | | | FECHA: 2019-04-12 | | ACABADO: | |
| VERIF. | | | | APROB. | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | |
| FABR. | | | | NOTAS: | | MATERIAL: Varios | |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.03.00 | |
| | | | | ESCALA: 1 : 2 | | | |
| | | | | HOJA 13 DE 57 | | FORMATO: A3 | |



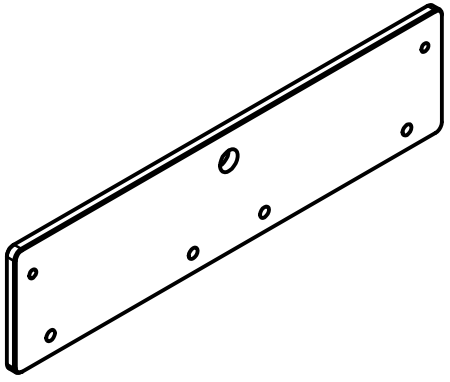
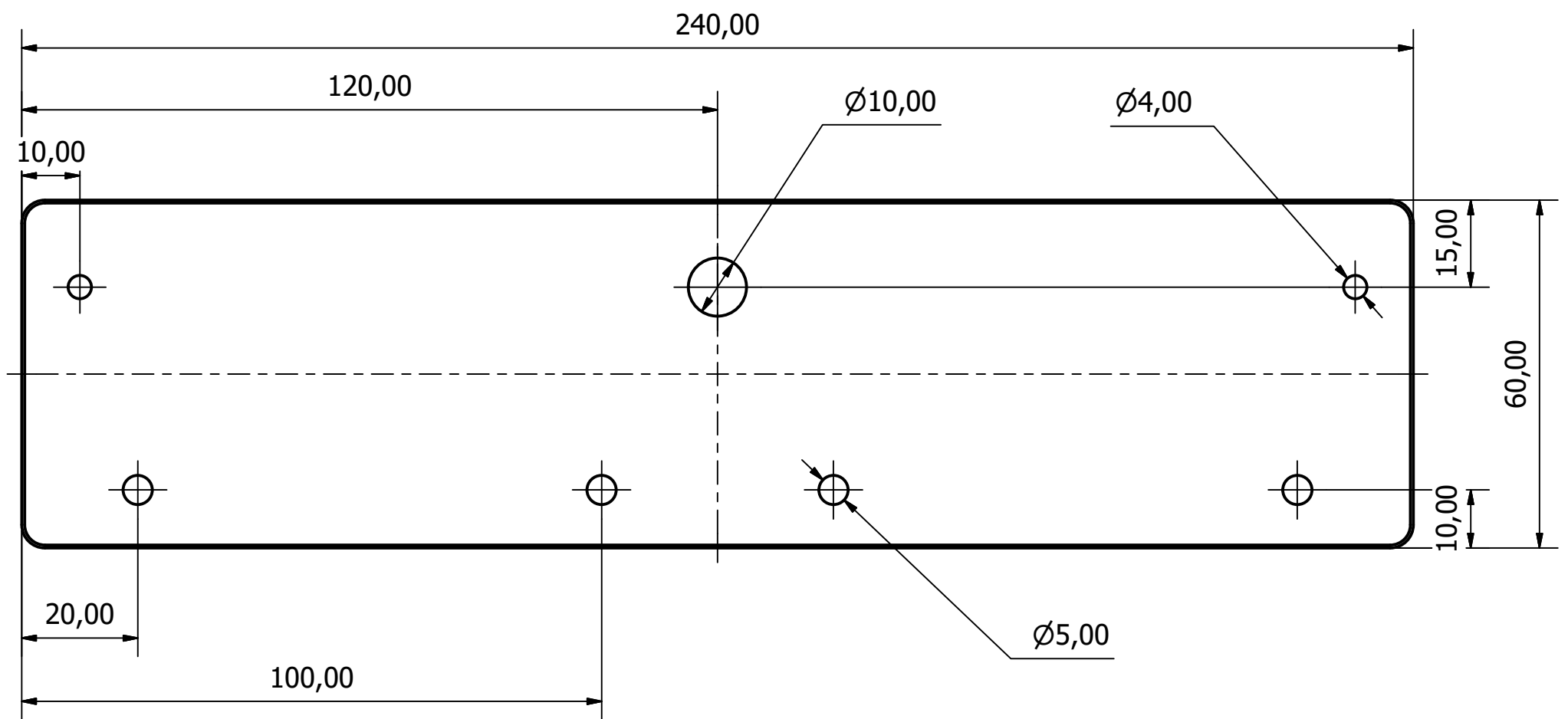
| | | | | | | |
|---|-----------|-------|------------|---|--|---|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 |
| | | | | DENOMINACIÓN: Cilindro guía sellado | | |
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | DESIGNACIÓN: PGF 13.01.03.01 | |
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-12 | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | |
| VERIF. | | | | | | |
| APROB. | | | | | | |
| FABR. | | | | MATERIAL: Acero 304 | |  |
| NOTAS: | | | | ACOTACIÓN: mm | | |
| | | | | ESCALA: 1 : 1 | | FORMATO: A4 |
| | | | | HOJA 14 DE 57 | | |



Placa mordaza móvil
PFG 13.01.03.02



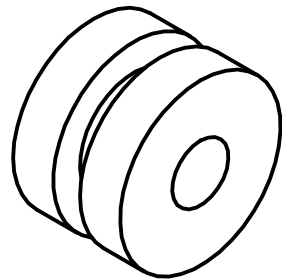
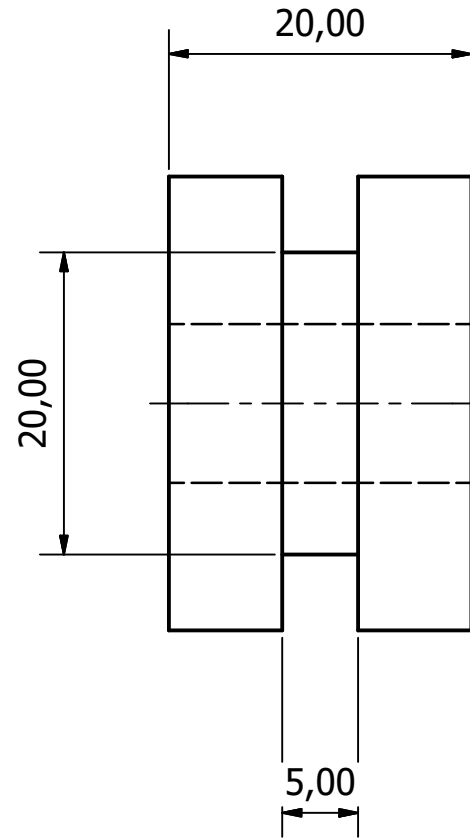
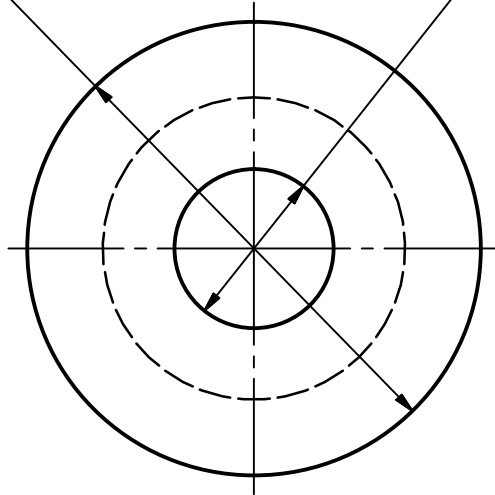
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------------|-----------------------|--|---------------------------------|----------------|----------|------------------|--|------------|--|--------|--|--|-----------------------|--------|--|--|--|-------|--|--|--|---|--|--|
| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>NOMBRE</td> <td>FIRMA</td> <td>FECHA</td> <td>ACABADO:</td> </tr> <tr> <td>DIBUJ. O. Gatica</td> <td></td> <td>2019-03-12</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> <td>NOTAS DE FABRICACIÓN:</td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | | | | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | DIBUJ. O. Gatica | | 2019-03-12 | | VERIF. | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | APROB. | | | | FABR. | | | | DENOMINACIÓN: Placa mordaza fija sellado | | |
| NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIBUJ. O. Gatica | | 2019-03-12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VERIF. | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOTAS: El espesor de la placa es de 5 mm. Se incluye el plano de PFG 13.01.03.02, lo único que varía es los extremos de la placa. | | | | MATERIAL: Acero 304 5mm | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.03.02 | FORMATO: A3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACOTACIÓN: mm | | | | ESCALA: 1 : 1 | HOJA 15 DE 57 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|---|-----------------------|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Soporte cilindro sellado | | | |
| NOTAS: El espesor de la placa es 5 mm. | | | | MATERIAL: Acero 304 5mm | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.03.04 |  | FORMATO: A4 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 1 : 1 | HOJA 16 DE 57 | |

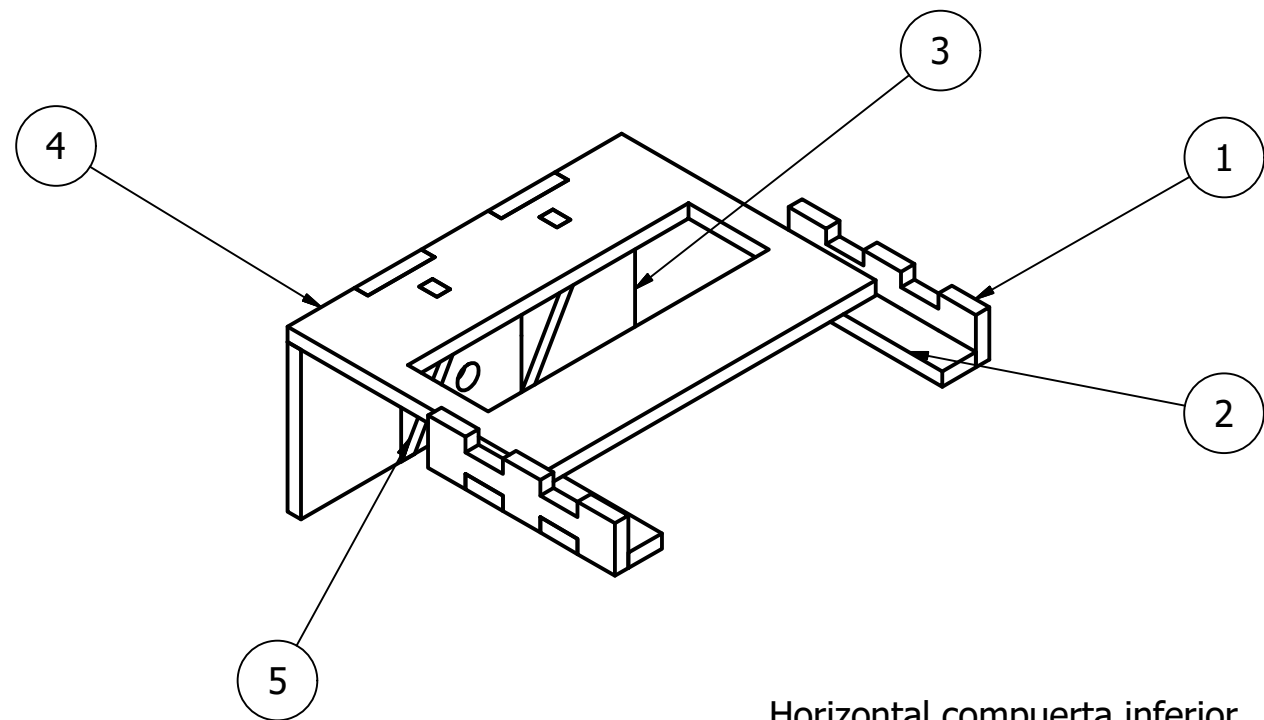
Ø30,00

Ø10,50

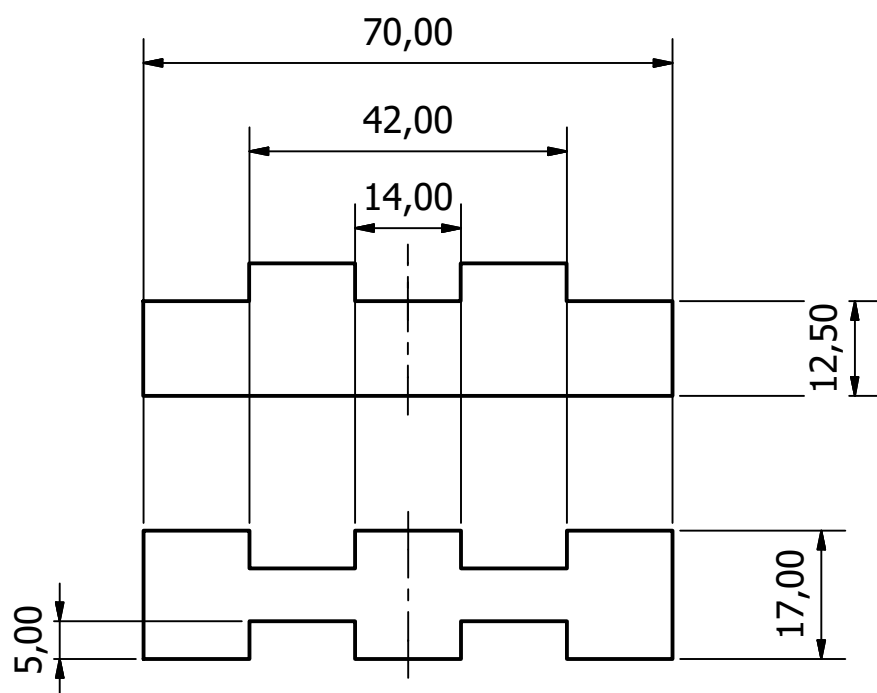


|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-------|------------|---|--------|--|---|--------|-----------|--|------------|--------|--|--|--|--------|--|--|--|-------|--|--|--|---------------|--|---------------|
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Bocín movimiento lineal sellado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | MATERIAL: Nylon | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.03.05 |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOTAS: | | | | ACOTACIÓN: mm | | FORMATO: A4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIBUJ.</td> <td>O. Gatica</td> <td></td> <td>2019-03-19</td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | | | | NOMBRE | FIRMA | FECHA | DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-19 | VERIF. | | | | APROB. | | | | FABR. | | | | ESCALA: 2 : 1 | | HOJA 17 DE 57 |
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VERIF. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

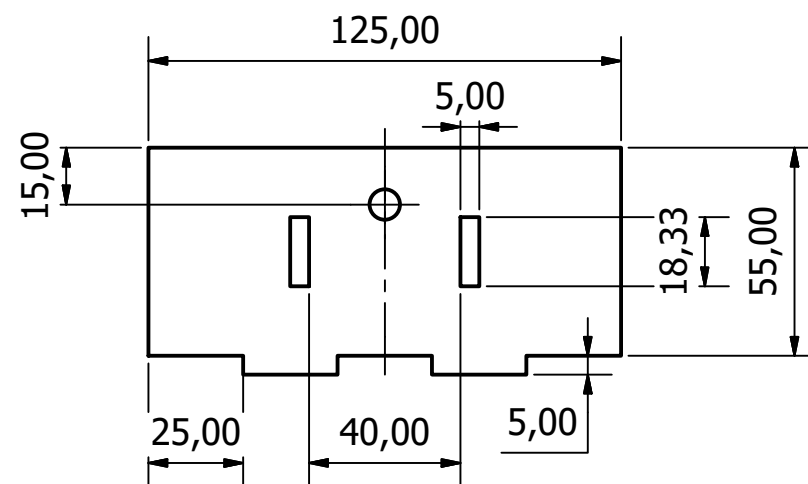
| Lista de Partes | | | | | |
|-----------------|-------|------|-----------------|-------------------------------|-----|
| Item | Form. | Pág. | Designación | Denominación | Qty |
| 1 | A3 | 18 | PFG 13.01.03.07 | Riel vertical compuerta | 2 |
| 2 | A3 | 18 | PFG 13.01.03.08 | Riel horizontal compuerta | 2 |
| 3 | A3 | 18 | PFG 13.01.03.09 | Vertical compuerta inferior | 1 |
| 4 | A3 | 18 | PFG 13.01.03.10 | Horizontal compuerta inferior | 1 |
| 5 | A3 | 18 | PFG 13.01.03.11 | Apoyo compuerta inferior | 2 |



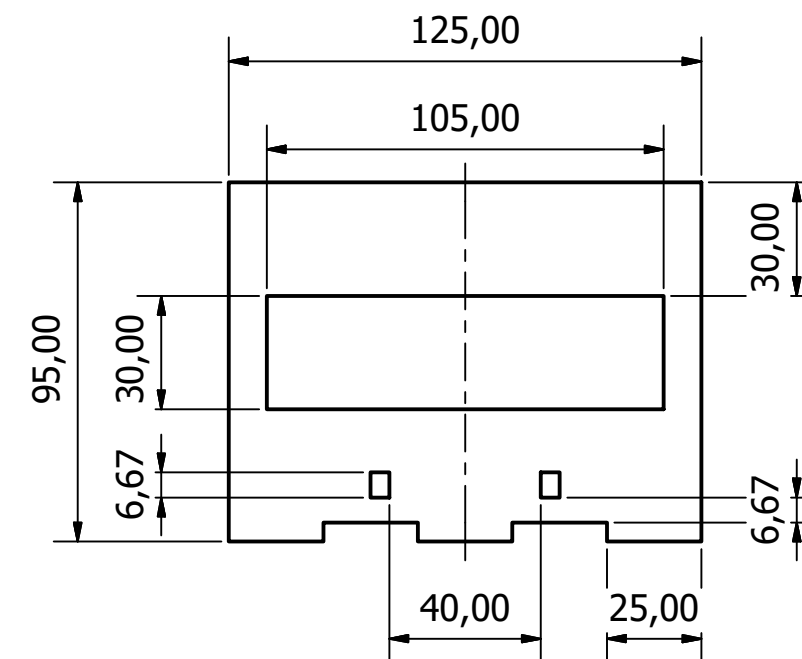
Rieles compuerta
PFG 13.01.03.07-08
Escala 1:1



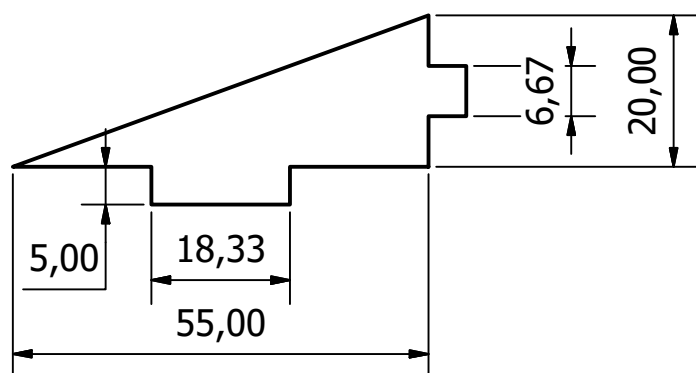
Vertical compuerta inferior
PFG 13.01.03.09
Escala 1:1



Horizontal compuerta inferior
PFG 13.01.03.10
Escala 1:1



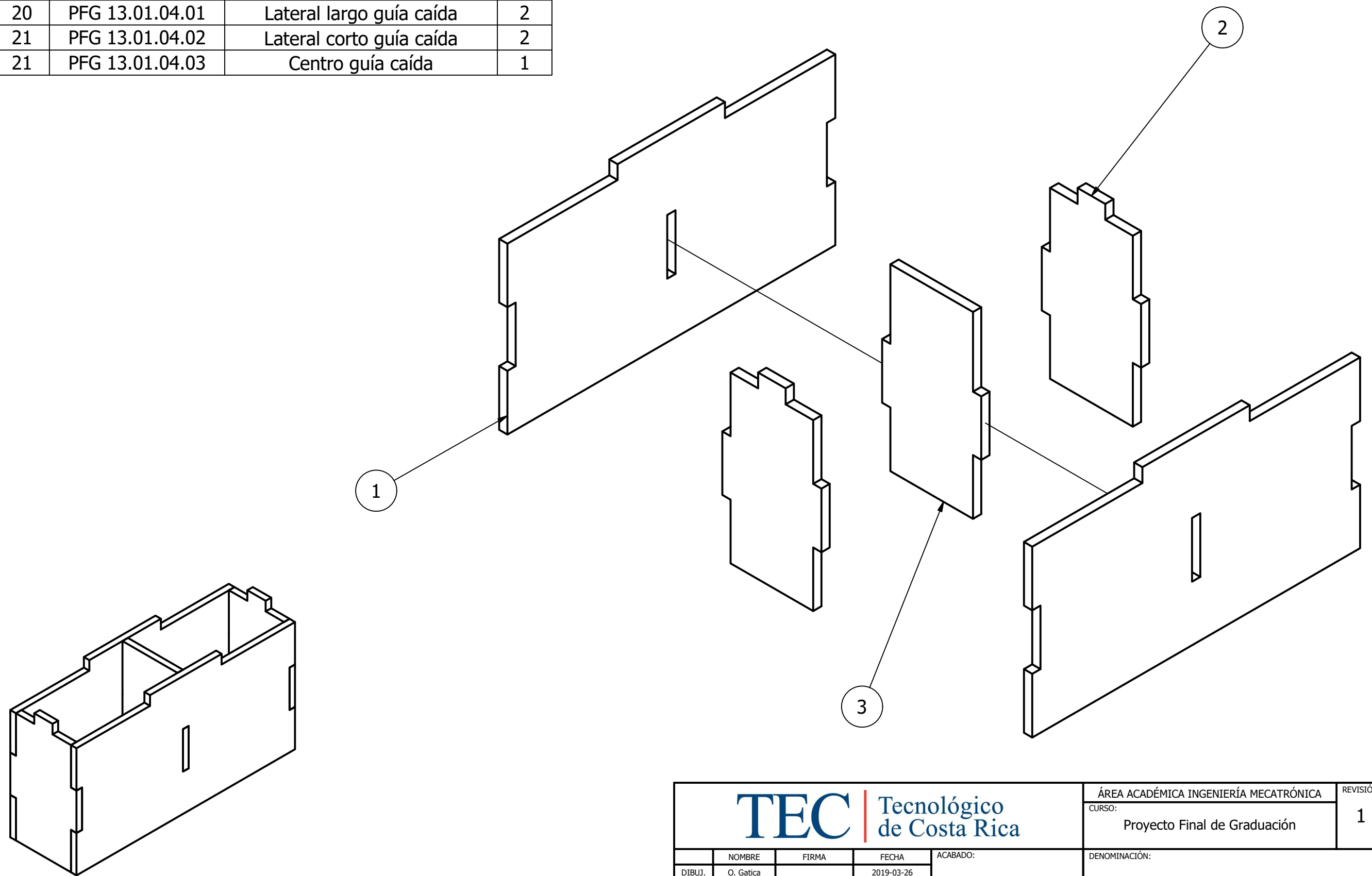
Apoyo compuerta inferior
PFG 13.01.03.11
Escala 1:1



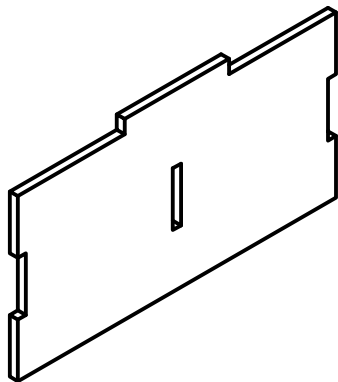
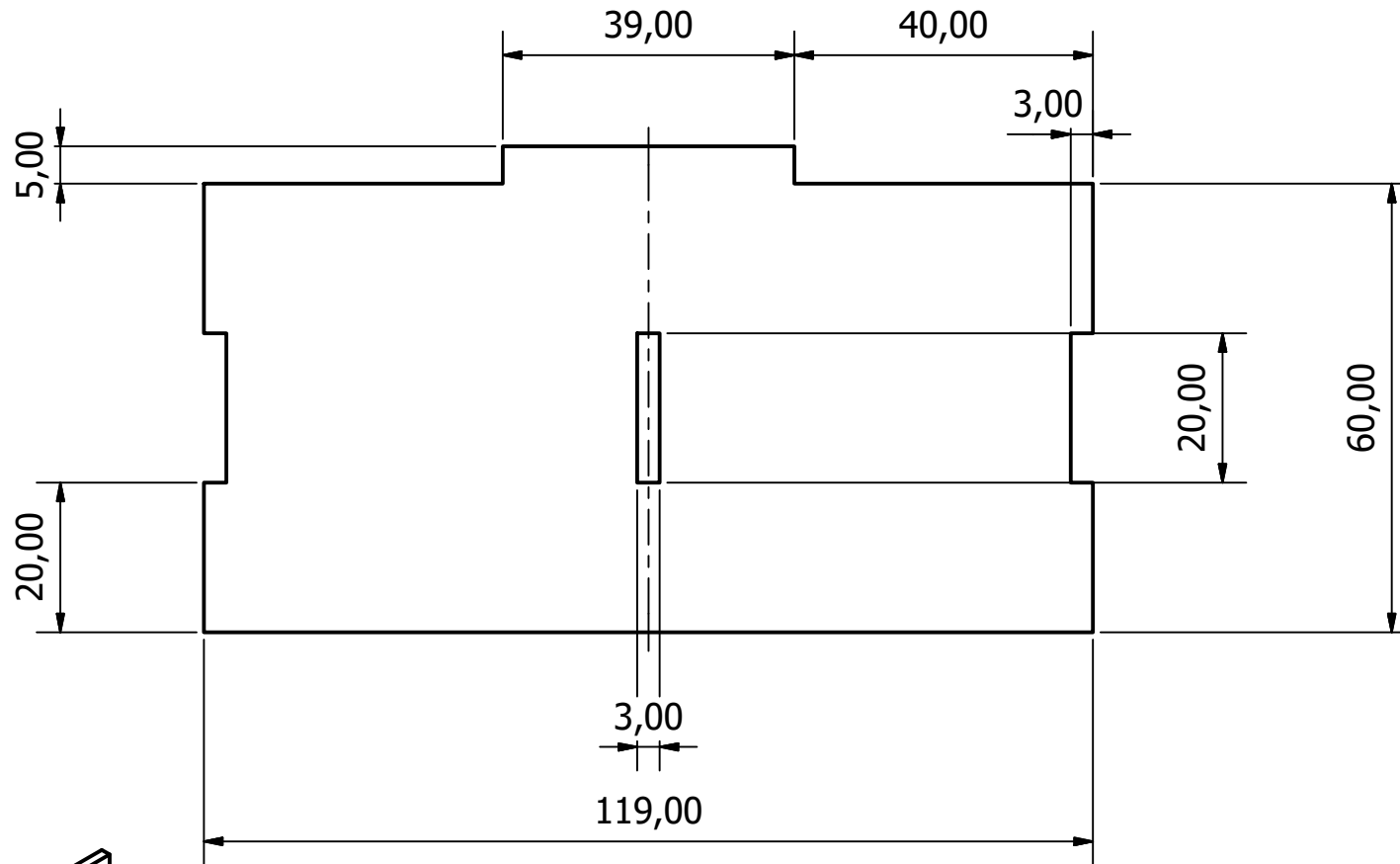
| | | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|--|--|--|-----------|
| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 |
| DENOMINACIÓN: Compuerta inferior | | | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.03.06 | | |
| MATERIAL: Acrílico 5mm | | | | FORMATO: A3 | | |
| ACOTACIÓN: mm | | | | ESCALA: 1 : 2 | | |

Lista de Partes

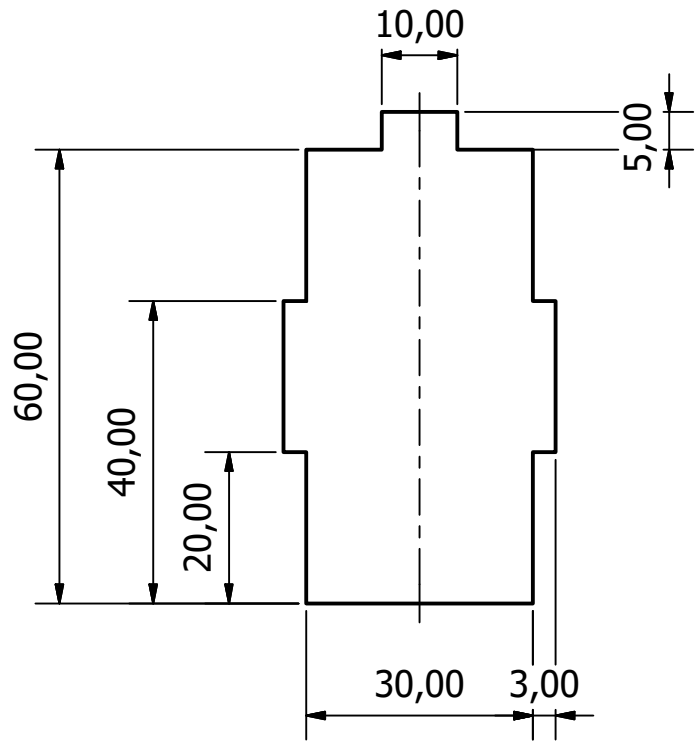
| Item | Form. | Pág. | Designación | Denominación | Qty |
|------|-------|------|-----------------|--------------------------|-----|
| 1 | A4 | 20 | PFG 13.01.04.01 | Lateral largo guía caída | 2 |
| 2 | A4 | 21 | PFG 13.01.04.02 | Lateral corto guía caída | 2 |
| 3 | A4 | 21 | PFG 13.01.04.03 | Centro guía caída | 1 |



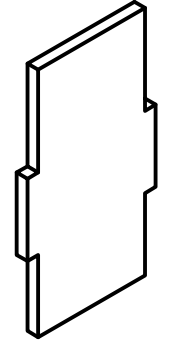
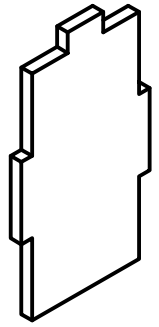
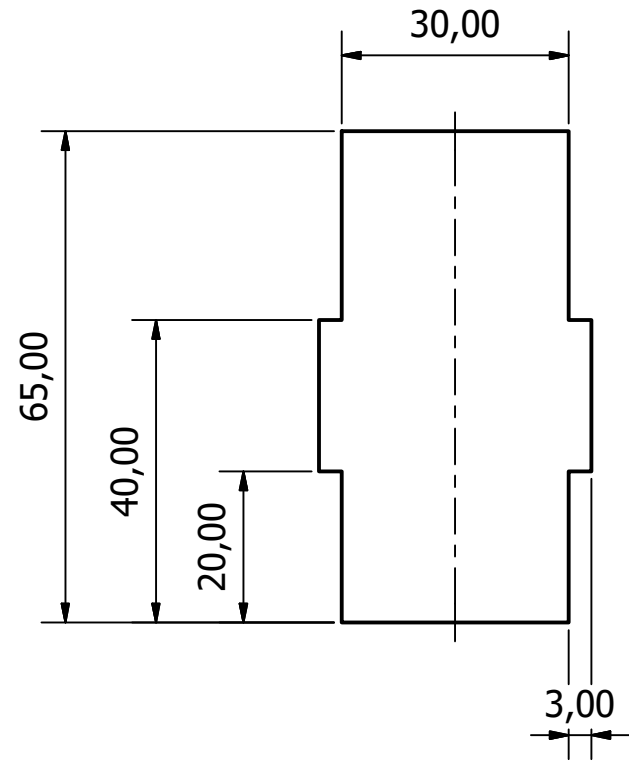
| | | | | | | |
|--|--|--|--|---------------------------------------|--|---|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: | | 1 - 1 |
| | | | | Proyecto Final de Graduación | | |
| | | | | DENOMINACIÓN: | | |
| | | | | Guía caída | | |
| | | | | DESIGNACIÓN: | |  |
| | | | | PFG 13.01.04.00 | | |
| | | | | MATERIAL: | | FORMATO: A3 |
| | | | | Acrílico 3mm | | |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | HOJA 19 DE 57 |
| | | | | ESCALA: 1 : 1 | | |



| | | | | | | |
|---|-----------|-------|------------|--|--|-----------------------|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 |
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | DENOMINACIÓN: Lateral largo guía caída | |
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-26 | | | |
| VERIF. | | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | |
| APROB. | | | | | | |
| FABR. | | | | | | |
| NOTAS: | | | | MATERIAL: Acrílico 3mm | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.04.01 | FORMATO: A4 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 1 : 1 | HOJA 20 DE 57 |

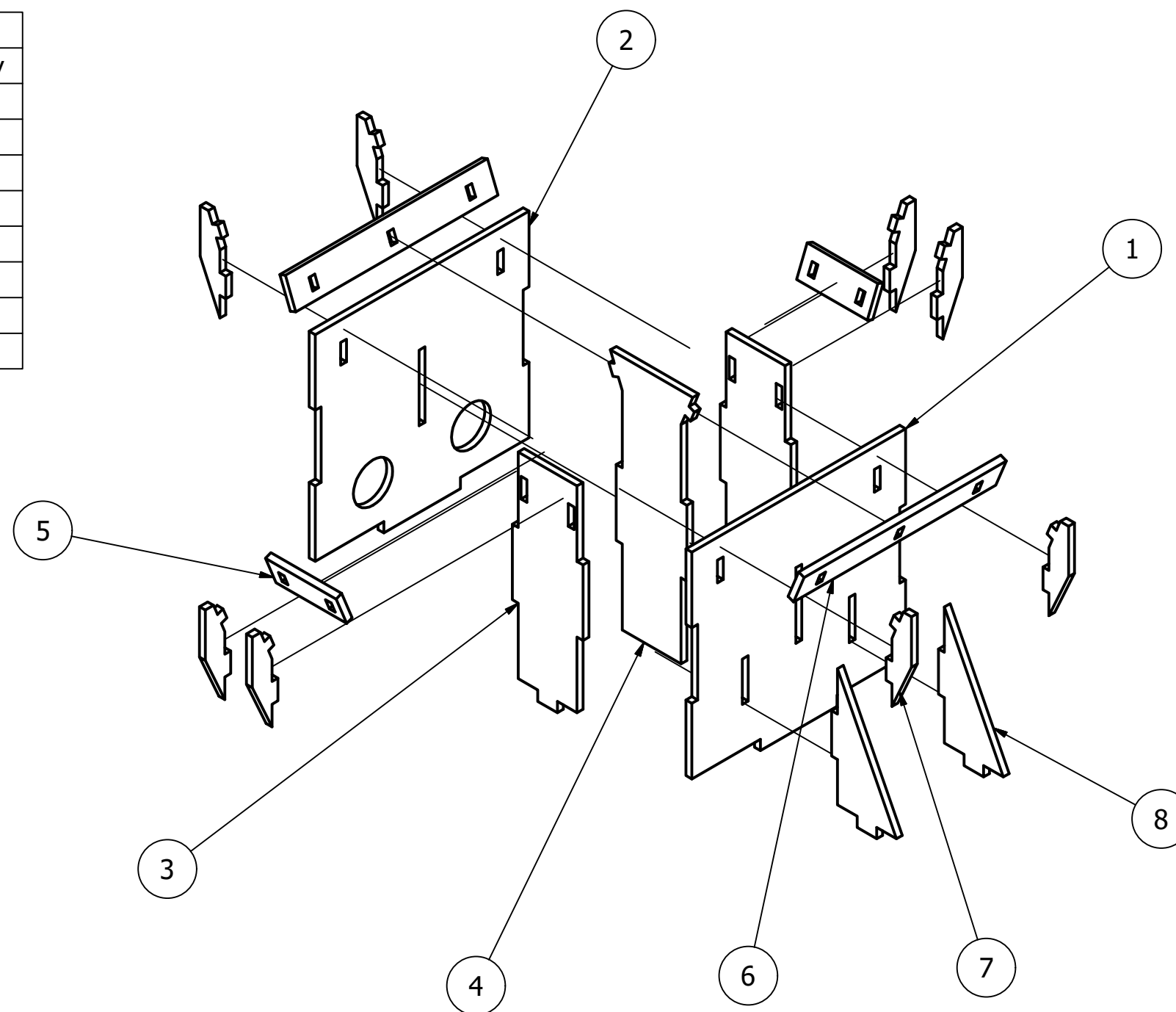
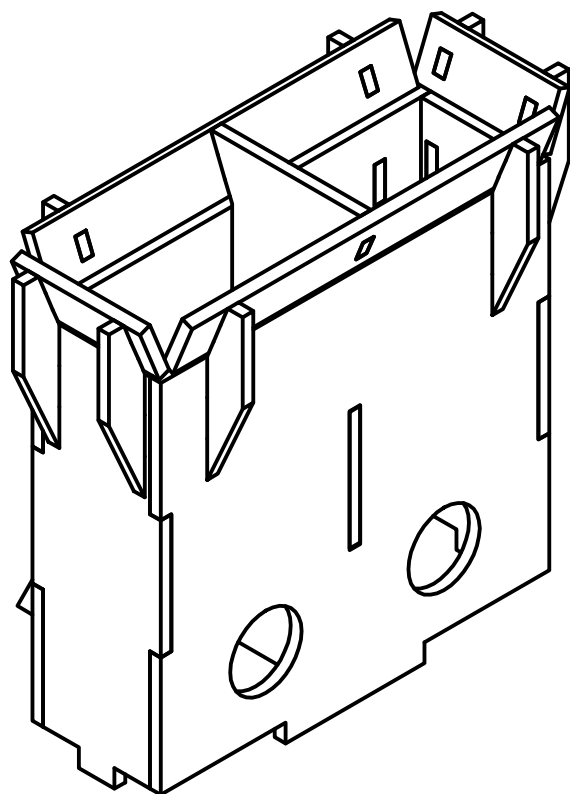


Centro guía caída
PFG 13.01.04.03

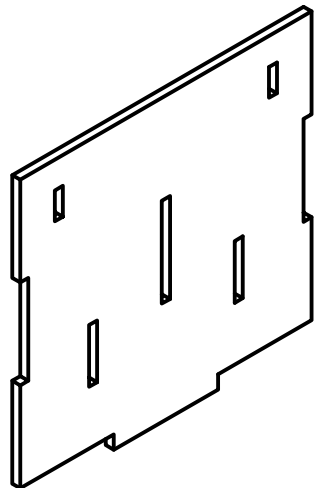
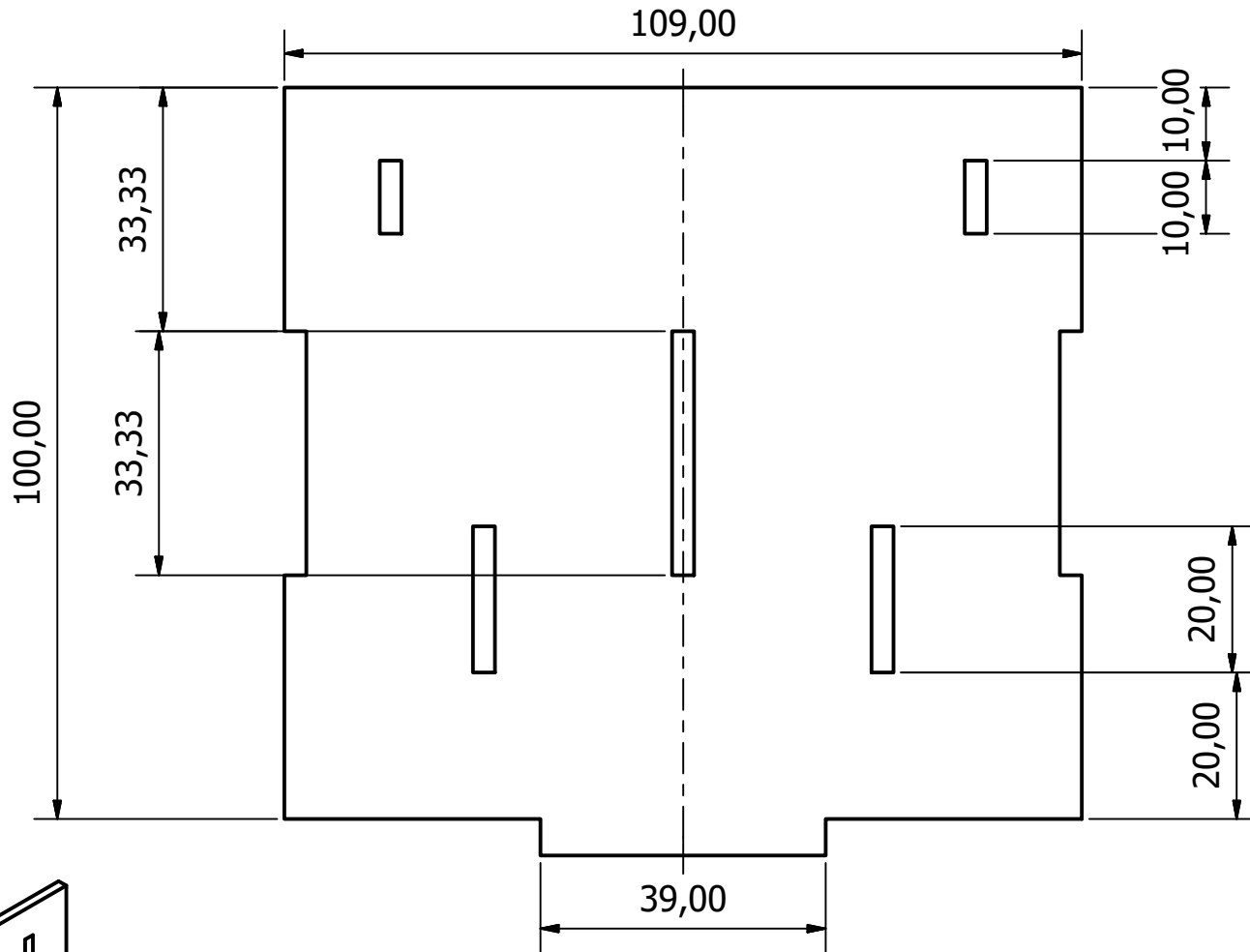


| | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|---------------|-----------------------|
| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Lateral corto guía caída | | | | |
| NOTAS: Incluye plano de PFG 13.01.04.03. | | | | MATERIAL: Acrílico 3mm | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.04.02 | | FORMATO: A4 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 1 | HOJA 21 DE 57 | |

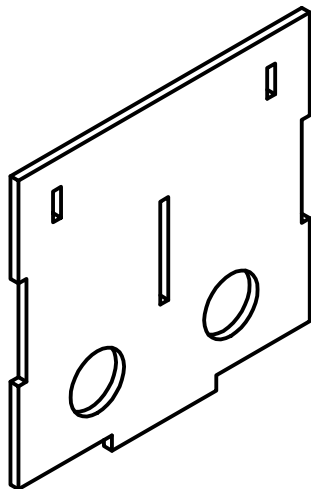
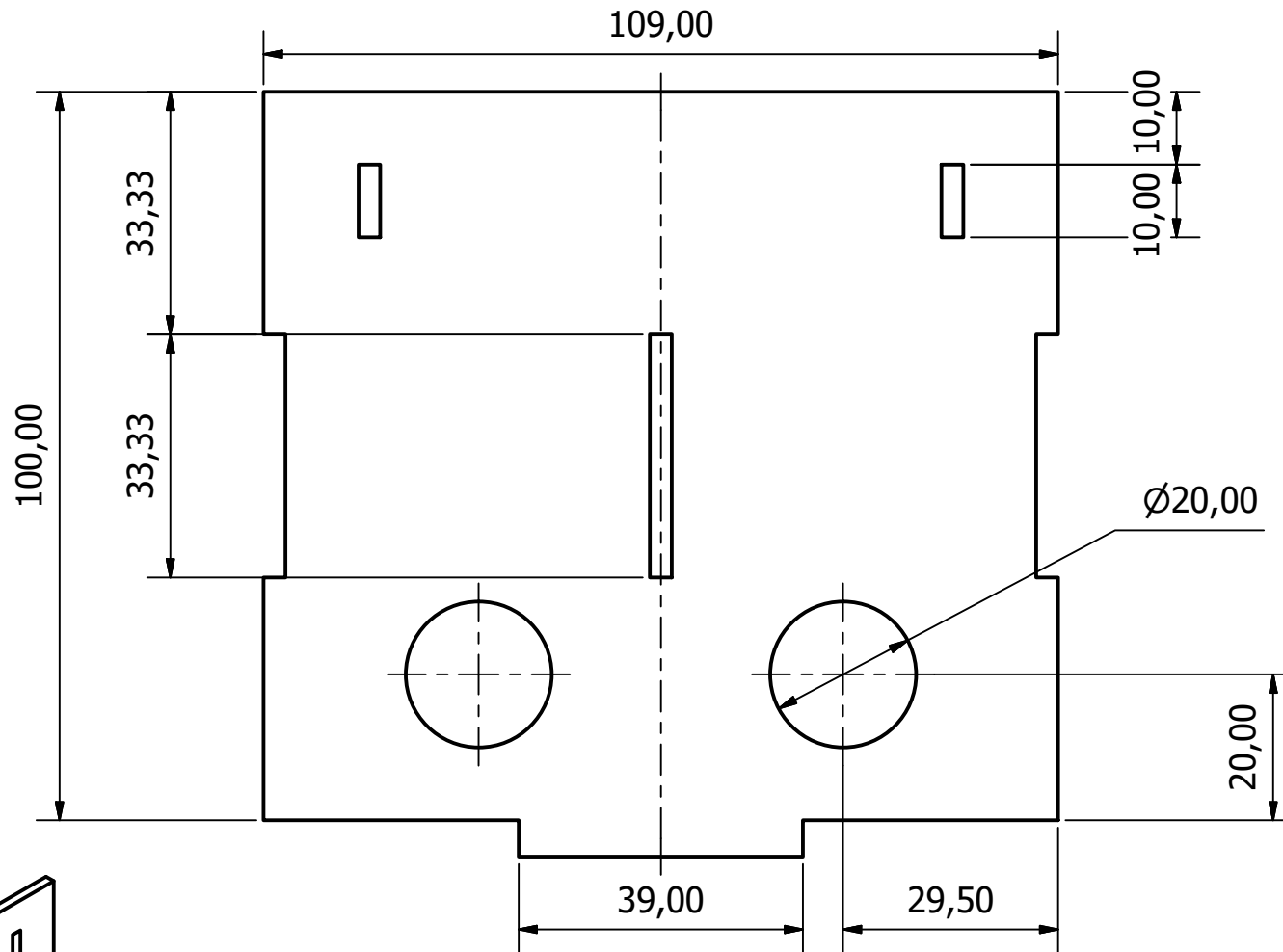
| Lista de Partes | | | | | |
|-----------------|-------|------|-----------------|-------------------------------|-----|
| Item | Form. | Pág. | Designación | Denominación | Qty |
| 1 | A4 | 23 | PFG 13.01.05.01 | Lateral largo guía sellado | 1 |
| 2 | A4 | 24 | PFG 13.01.05.02 | Lateral sensores guía sellado | 1 |
| 3 | A4 | 25 | PFG 13.01.05.03 | Lateral corto guía sellado | 2 |
| 4 | A4 | 26 | PFG 13.01.05.04 | Centro guía sellado | 1 |
| 5 | A4 | 27 | PFG 13.01.05.05 | Tolva corto guía sellado | 2 |
| 6 | A4 | 27 | PFG 13.01.05.06 | Tolva largo guía sellado | 2 |
| 7 | A4 | 28 | PFG 13.01.05.07 | Soporte tolva guía sellado | 8 |
| 8 | A4 | 28 | PFG 13.01.05.08 | Apoyo lateral guía sellado | 2 |



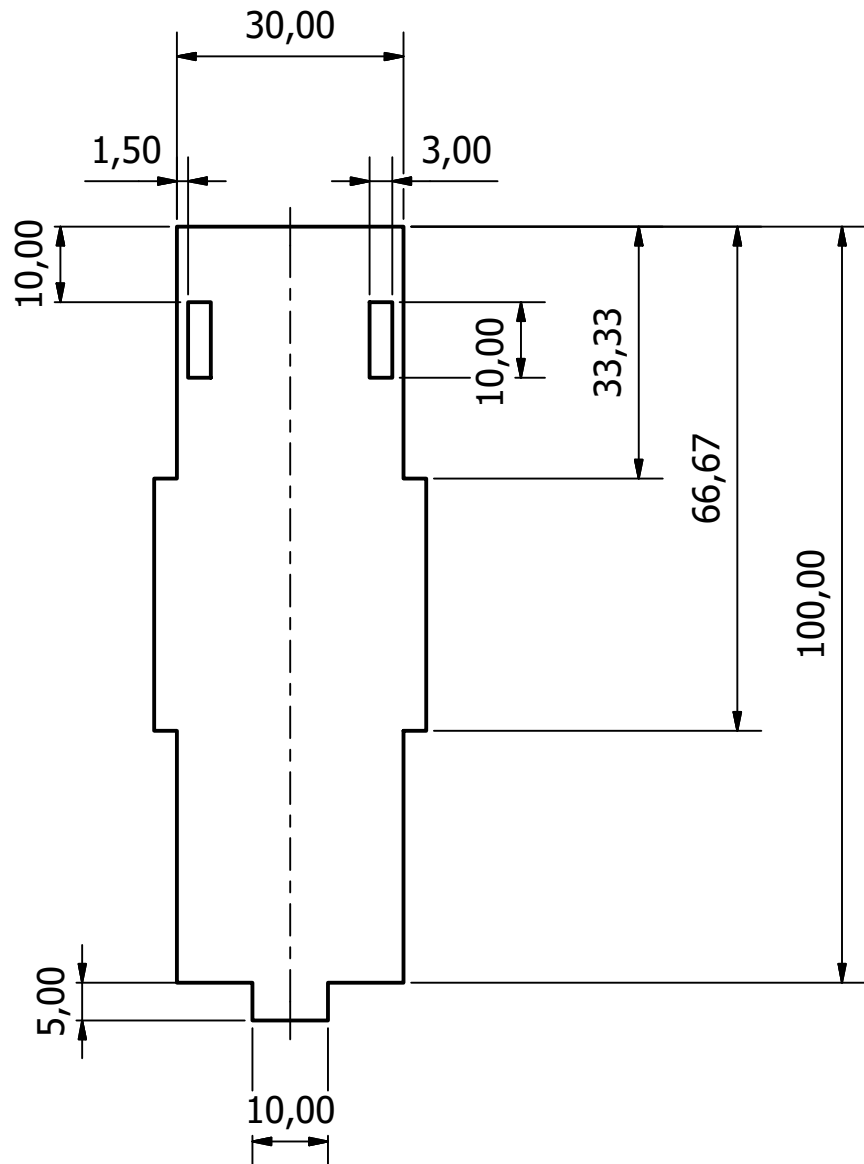
| | | | | | | | |
|--------|--|--|--|--|---------------------------------|-----------|----------------|
| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Guía sellado | | | |
| NOTAS: | | | | MATERIAL: Acrílico 3mm | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.05.00 | | FORMATO: A3 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 1 : 2 | | HOJA 22 DE 57 |



| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|-----------------------|
| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Lateral largo guía sellado | | | |
| NOTAS: Todas las ranuras tienen un ancho de 3 mm. | | | | MATERIAL: Acrílico 3mm | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.05.01 | |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 1 | |
| | | | | | | HOJA 23 DE 57 | FORMATO: A4 |



| | | | | | | | |
|--|--|--|--|---|--|--|-----------------------|
| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Lateral sensores guía sellado | | | |
| NOTAS: Todas las ranuras tienen un ancho de 3 mm. | | | | MATERIAL: Acrílico 3mm | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.05.02 | |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 1 | |
| | | | | | | HOJA 24 DE 57 | FORMATO: A4 |



| | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--------|-----------|-------|------------|
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-26 |
| VERIF. | | | |
| APROB. | | | |
| FABR. | | | |

ACABADO:

DENOMINACIÓN:

Lateral corto guía sellado

NOTAS DE FABRICACIÓN:

NOTAS:

MATERIAL:

Acrílico 3mm

DESIGNACIÓN:

PFG 13.01.05.03



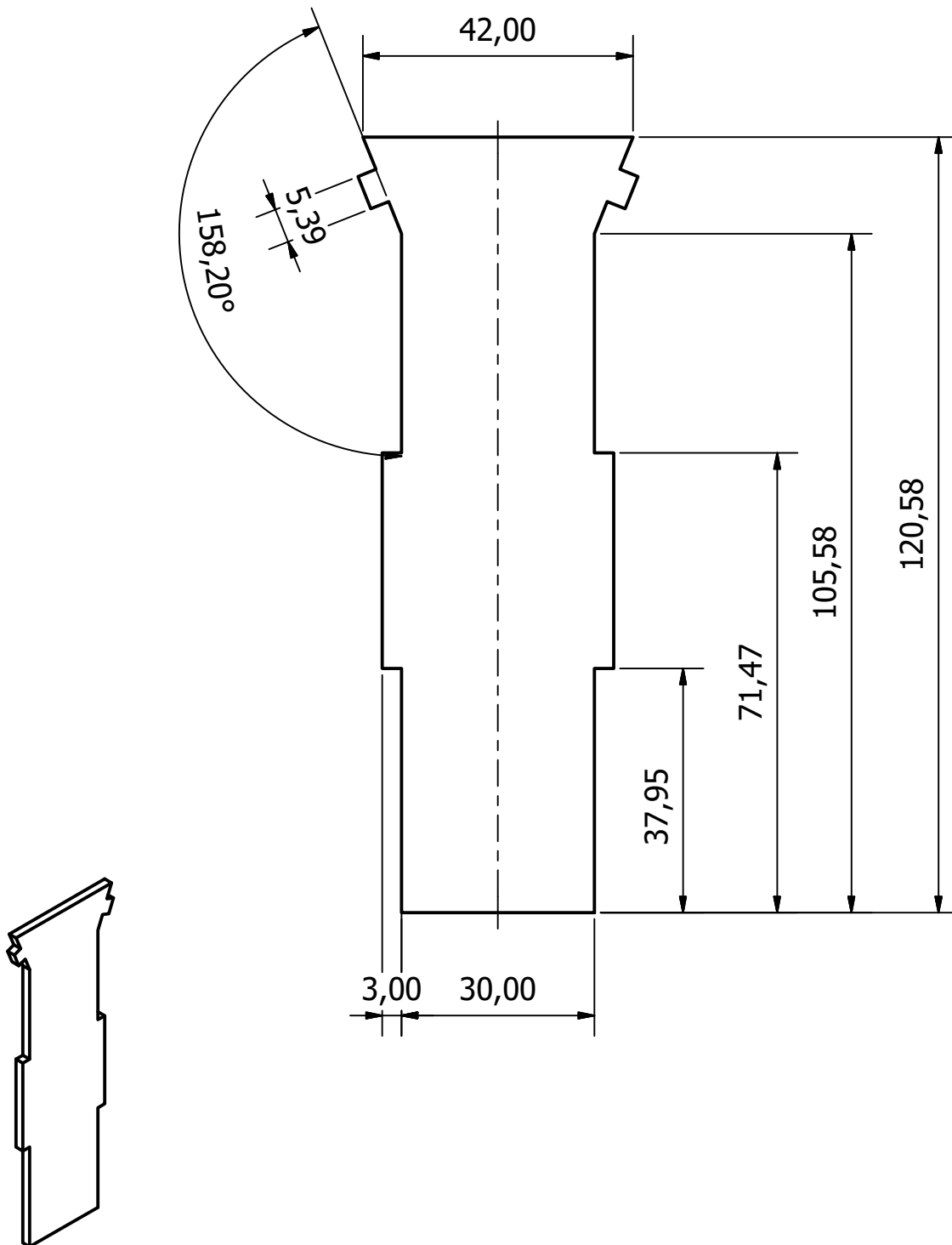
FORMATO:

A4

ACOTACIÓN: mm

ESCALA: 1 : 1

HOJA 25 DE 57



| | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--------|-----------|-------|------------|
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-26 |
| VERIF. | | | |
| APROB. | | | |
| FABR. | | | |

ACABADO:

DENOMINACIÓN:

Centro guía sellado

NOTAS DE FABRICACIÓN:

NOTAS:

MATERIAL:

Acrílico 3mm

DESIGNACIÓN:

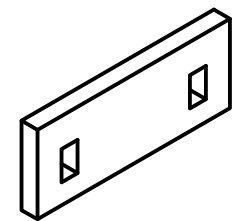
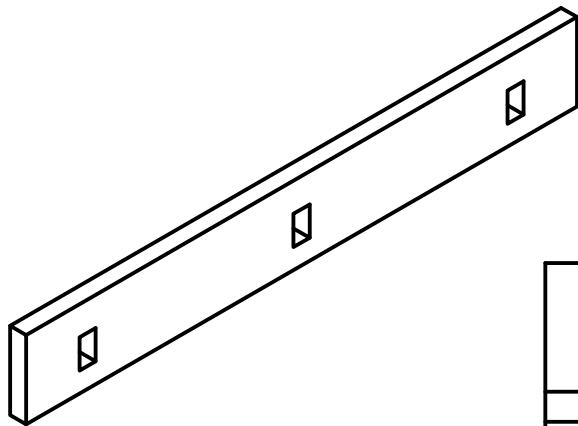
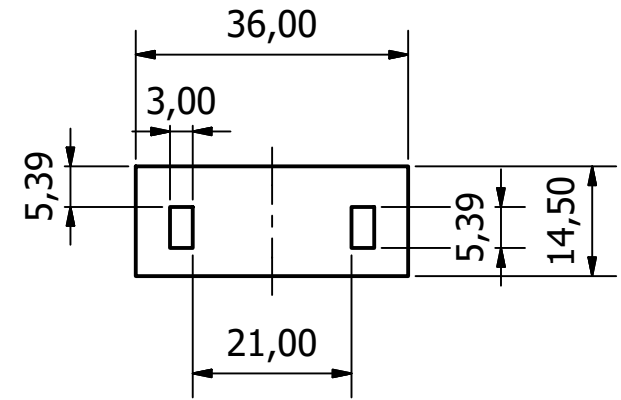
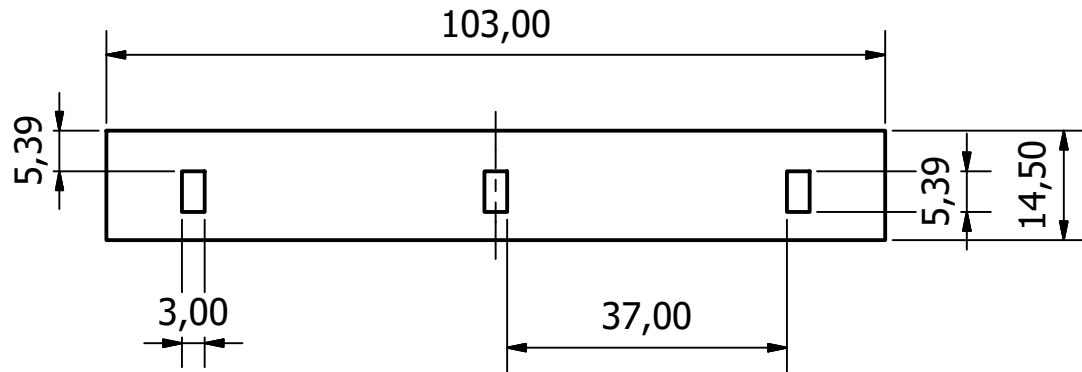
PFG 13.01.05.04



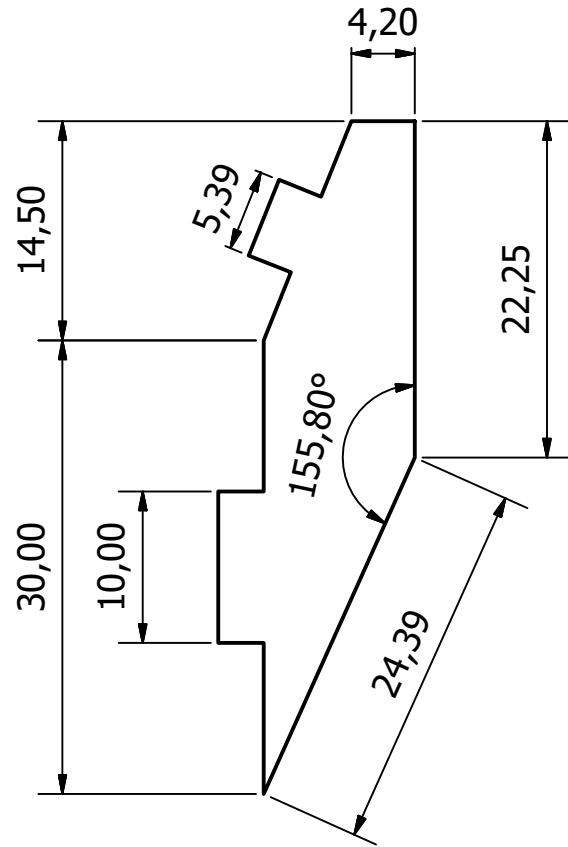
FORMATO:

A4

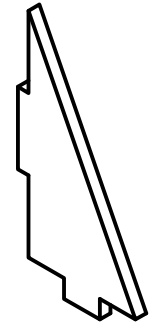
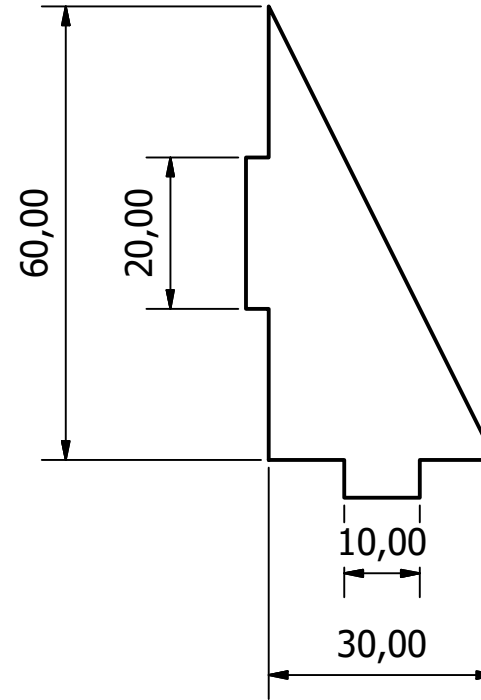
Tolva largo guía sellado
PFG 13.01.05.06



| | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|---|-----------------------|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Tolva corto guía sellado | | | |
| NOTAS: Incluye plano de PFG 13.01.05.06. | | | | MATERIAL: Acrílico 3mm | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.05.05 |  | FORMATO: A4 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 1 : 1 | HOJA 27 DE 57 | |



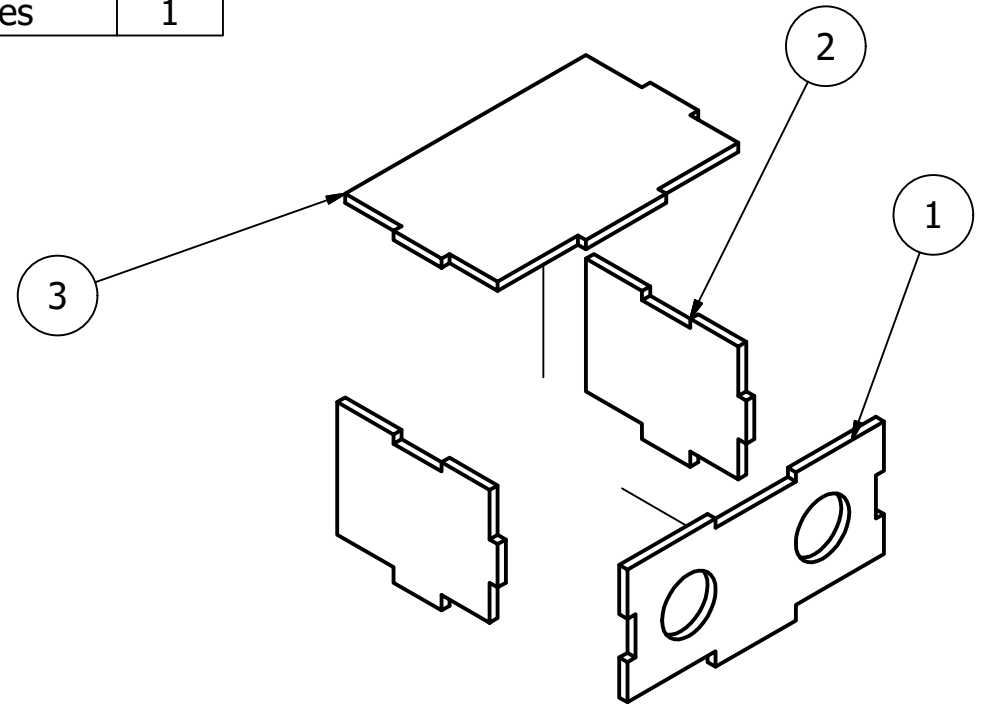
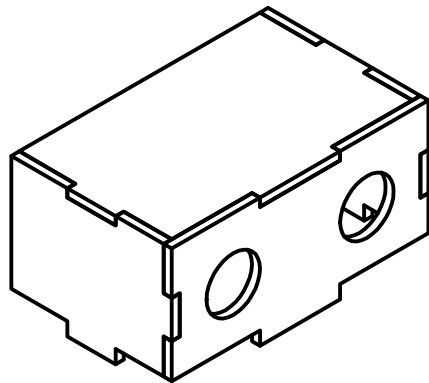
Apoyo lateral guía sellado
 PFG 13.01.05.08
 Escala 1:1



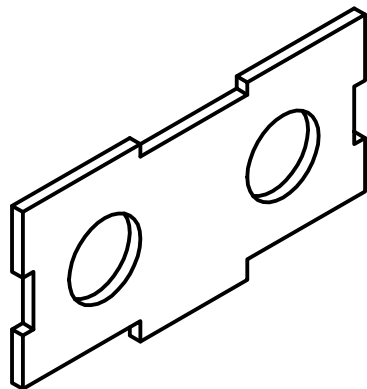
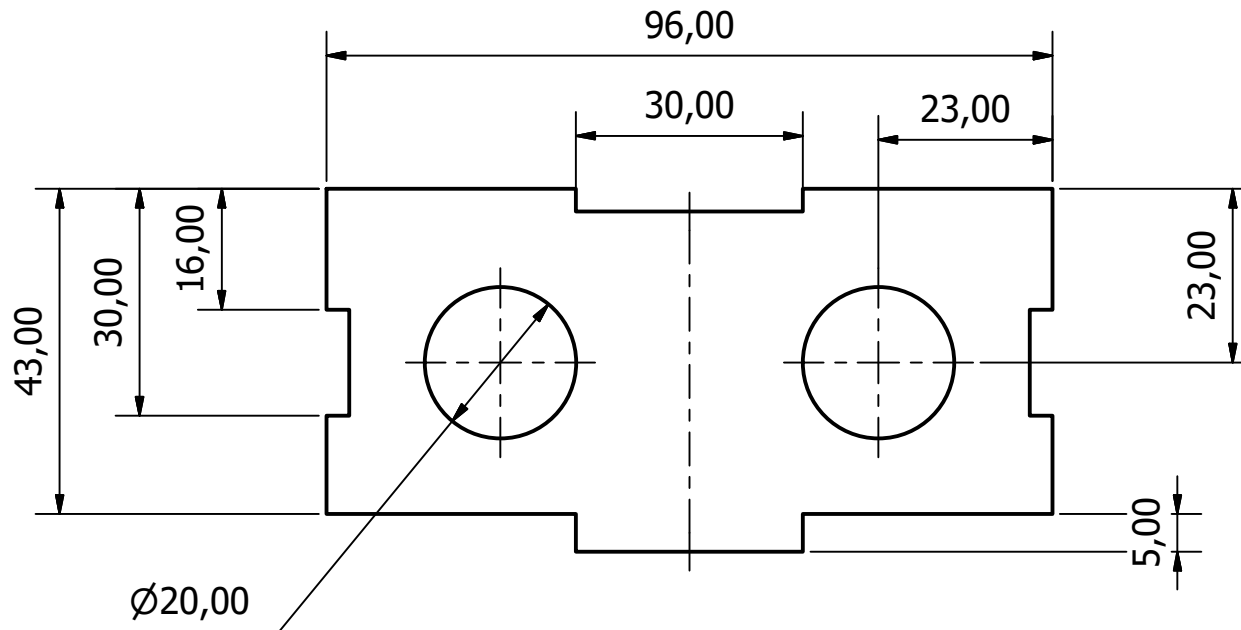
| | | | | | | | |
|--|--|--|--|---|---------------------------------|-------------------|----------------|
| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Soporte tolva guía sellado | | | |
| NOTAS: Incluye plano de PFG 13.01.05.08 | | | | MATERIAL: Acrílico 3mm | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.05.07 | | FORMATO: A4 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 2 : 1 | HOJA 28 DE 57 | |

Lista de Partes

| Item | Form. | Pág. | Designación | Denominación | Qty |
|------|-------|------|-----------------|------------------------|-----|
| 1 | A4 | 30 | PFG 13.01.06.01 | Frontal caja sensores | 1 |
| 2 | A4 | 31 | PFG 13.01.06.02 | Lateral caja sensores | 2 |
| 3 | A4 | 31 | PFG 13.01.06.03 | Superior caja sensores | 1 |

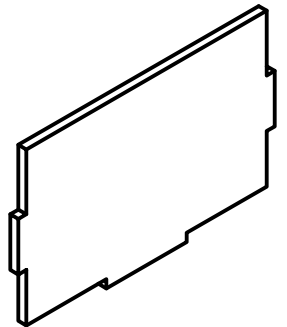
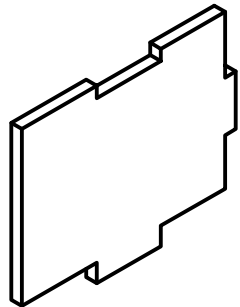
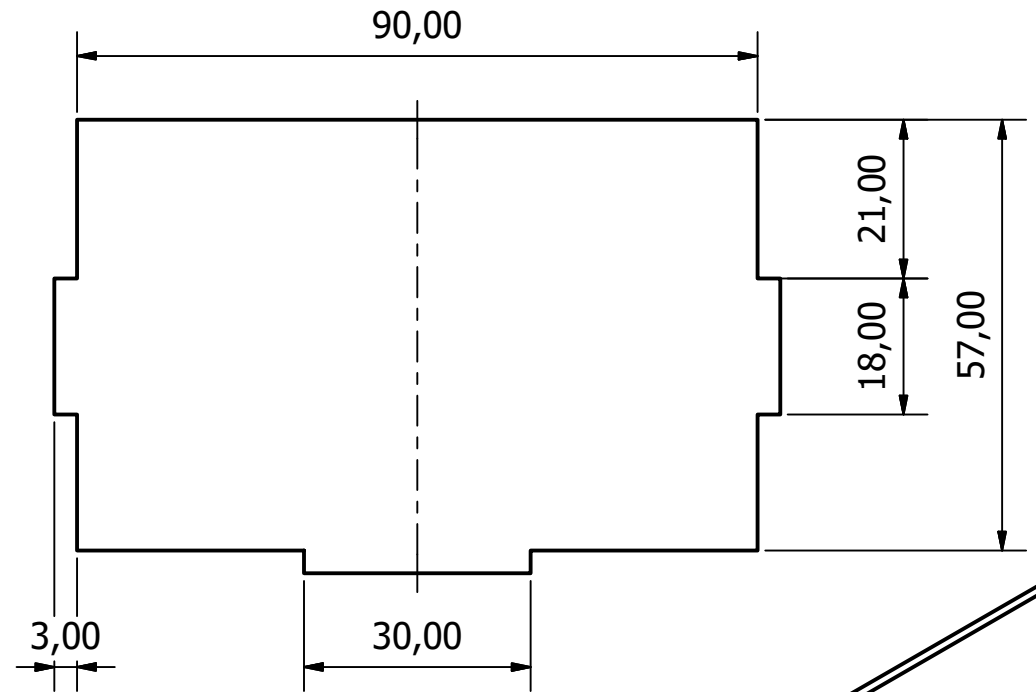
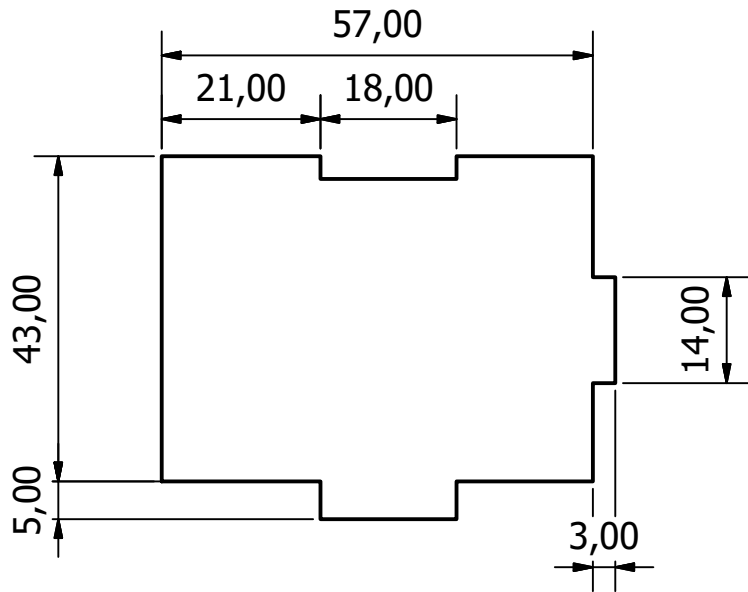


| | | | | | | |
|---|-----------|-------|------------|--|--|--|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 |
| | | | | DENOMINACIÓN: Caja sensores | | |
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.06.00 |
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-04-11 | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | |
| VERIF. | | | | | | |
| APROB. | | | | | | |
| FABR. | | | | MATERIAL: Acrílico 3mm | | FORMATO: A4 |
| NOTAS: | | | | ACOTACIÓN: mm | | |
| | | | | ESCALA: 1 : 2 | | HOJA 29 DE 57 |



| | | | | | | |
|--------|-----------|-------|------------|---|--|--|
| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 |
| | | | | DENOMINACIÓN: Frontal caja sensores | | |
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | | DESIGNACIÓN: PGF 13.01.06.01 |
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-28 | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | |
| VERIF. | | | | | | |
| APROB. | | | | | | |
| NOTAS: | | | | MATERIAL: Acrílico 3mm | | FORMATO: A4 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 1 HOJA 30 DE 57 |

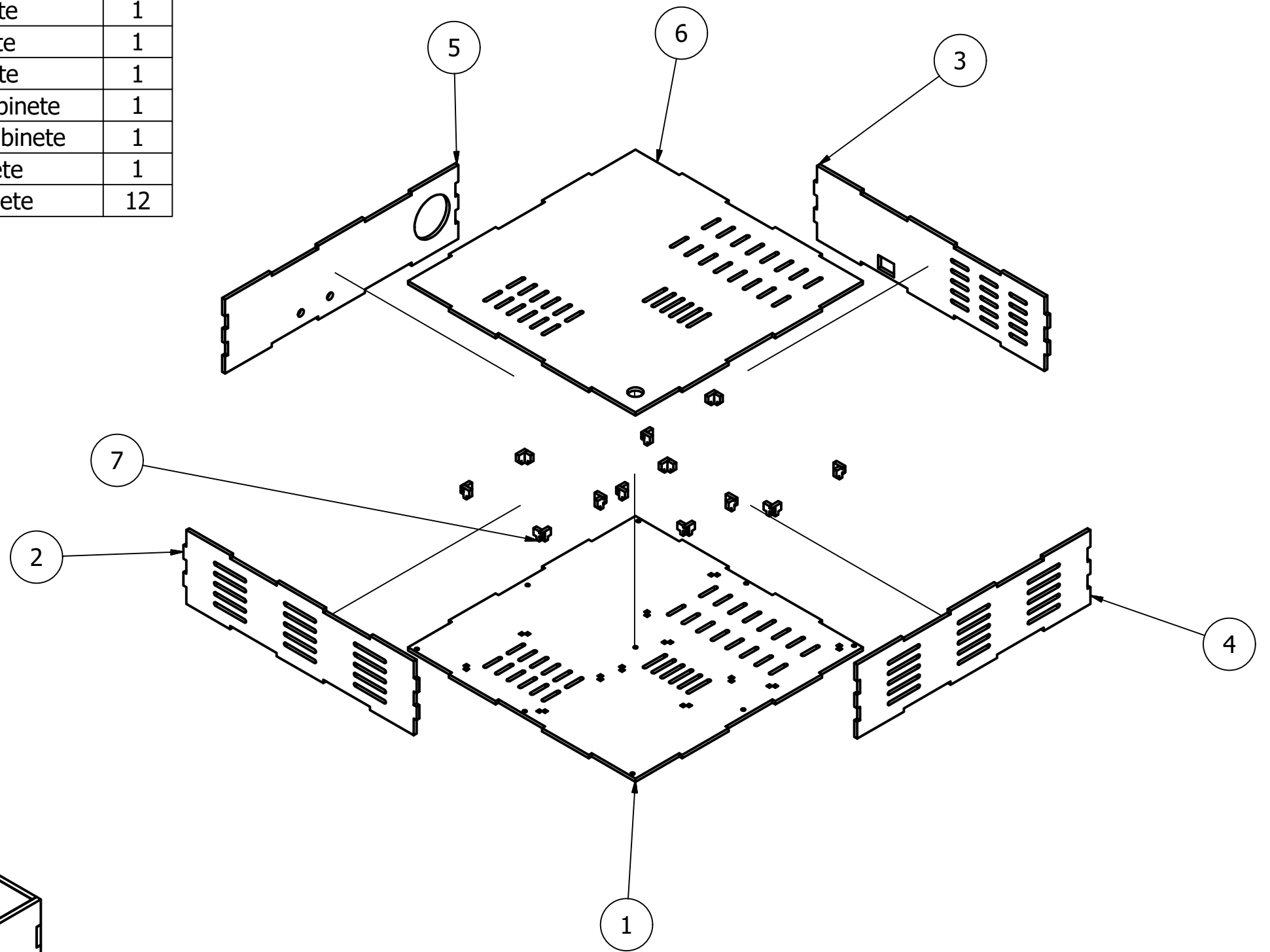
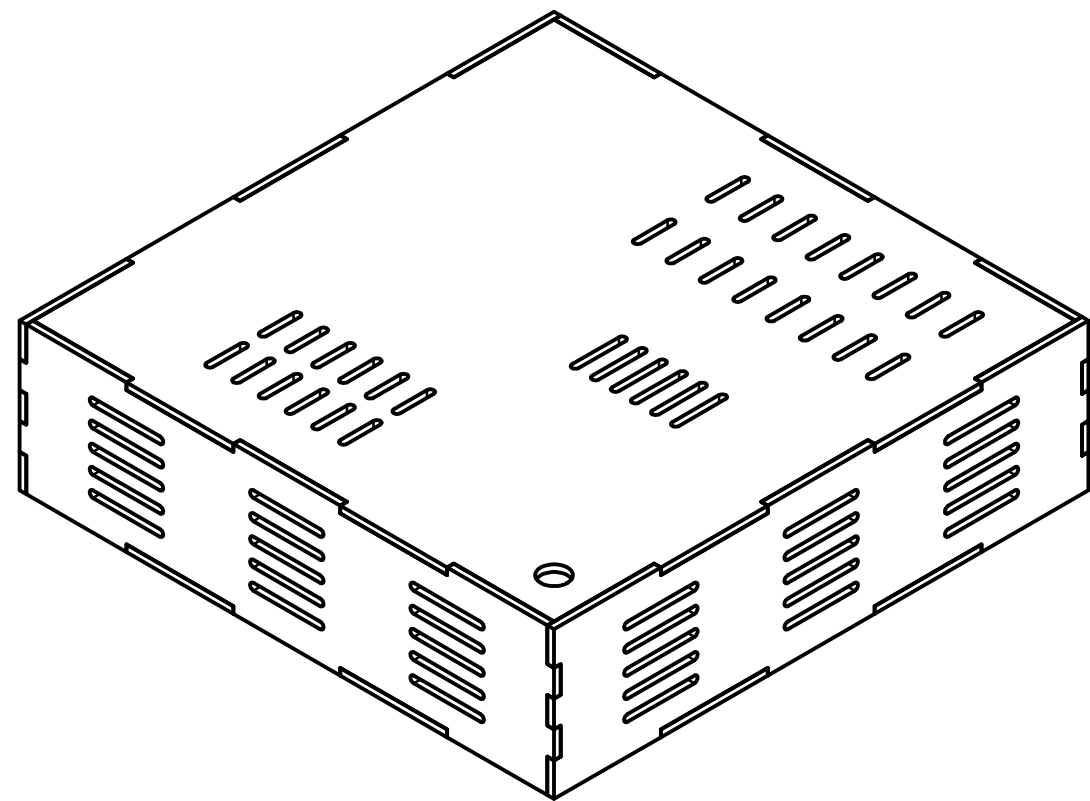
Superior caja sensores
PFG 13.01.06.03



| | | | | | | | |
|--|--|--|--|---|--|---------------|-----------------------|
| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Lateral caja sensores | | | |
| NOTAS: Incluye plano de PFG 13.01.06.03 | | | | MATERIAL: Acrílico 3mm | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.06.02 | | FORMATO: A4 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 1 : 1 | HOJA 31 DE 57 | |

Lista de Partes

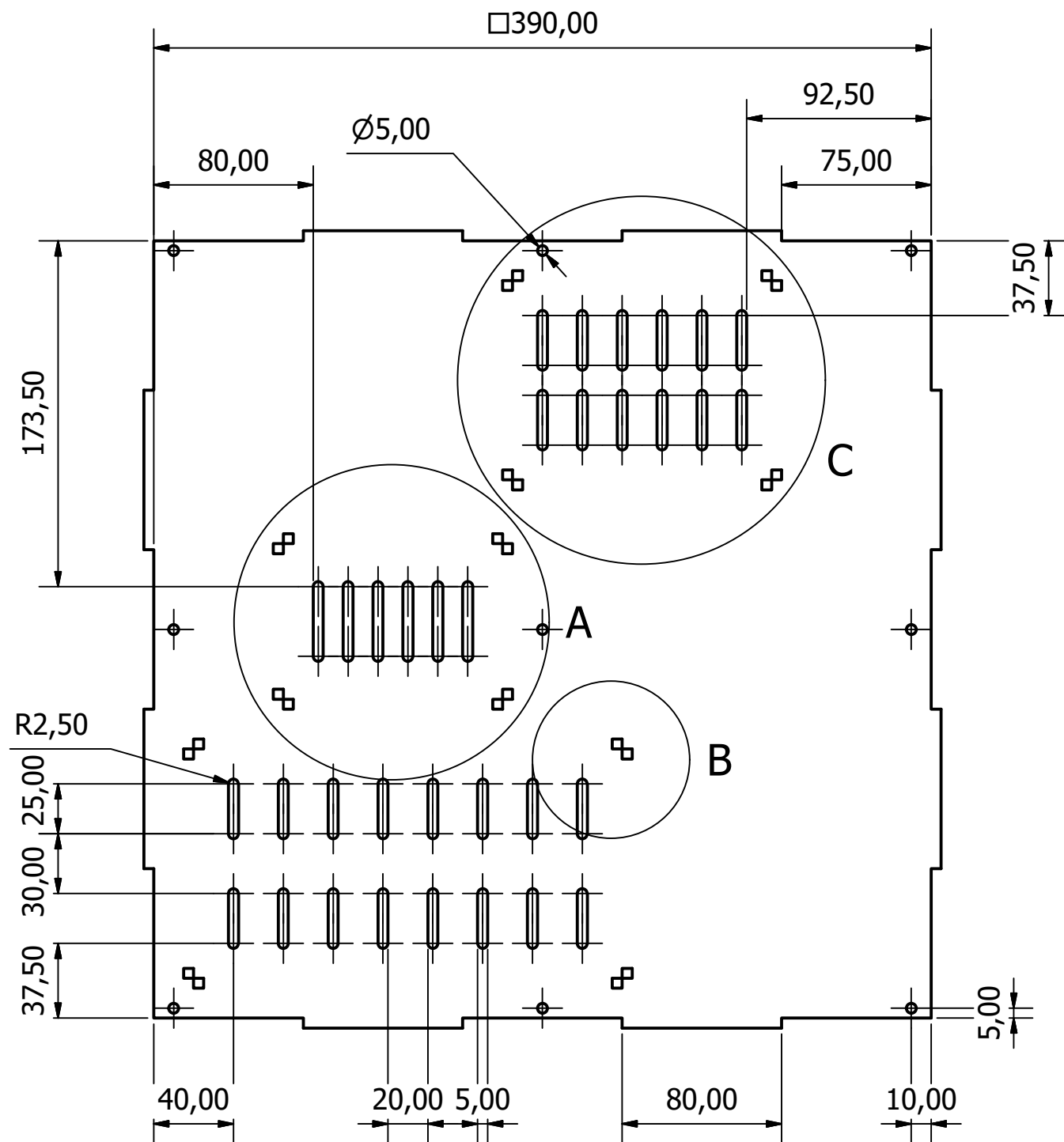
| Item | Form. | Pág. | Designación | Denominación | Qty |
|------|-------|------|-----------------|----------------------------|-----|
| 1 | A3 | 33 | PFG 13.01.07.01 | Inferior gabinete | 1 |
| 2 | A3 | 34 | PFG 13.01.07.02 | Frontal gabinete | 1 |
| 3 | A4 | 35 | PFG 13.01.07.03 | Trasera gabinete | 1 |
| 4 | A3 | 36 | PFG 13.01.07.04 | Lateral derecha gabinete | 1 |
| 5 | A3 | 37 | PFG 13.01.07.05 | Lateral izquierda gabinete | 1 |
| 6 | A3 | 38 | PFG 13.01.07.06 | Superior gabinete | 1 |
| 7 | A3 | 39 | PFG 13.01.07.07 | Retenedor gabinete | 12 |



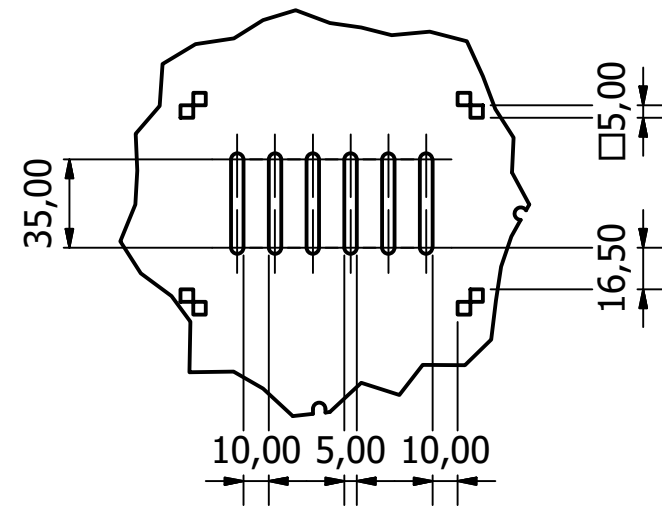
| | | | | | | |
|--|--|--|--|---------------------------------------|-----------------|---|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: | | Proyecto Final de Graduación |
| | | | | DENOMINACIÓN: | | |
| | | | | Gabinete | | |
| | | | | MATERIAL: | DESIGNACIÓN: |  FORMATO: A3 |
| | | | | Acrílico 5mm | PFG 13.01.07.00 | |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 1 : 6 | HOJA 32 DE 57 |

| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: |
|--------|-----------|-------|------------|----------|
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-04-05 | |
| VERIF. | | | | |
| APROB. | | | | |
| FABR. | | | | |

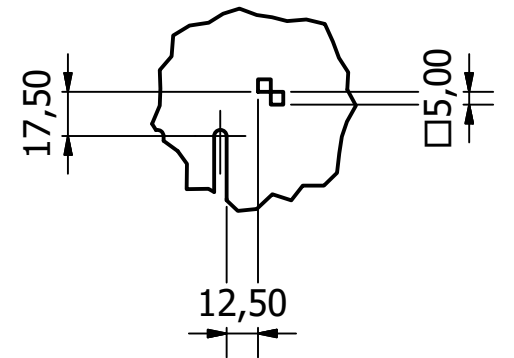
| | | | | | |
|--------|--|--|--|-----------------------|--|
| NOTAS: | | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | |
|--------|--|--|--|-----------------------|--|



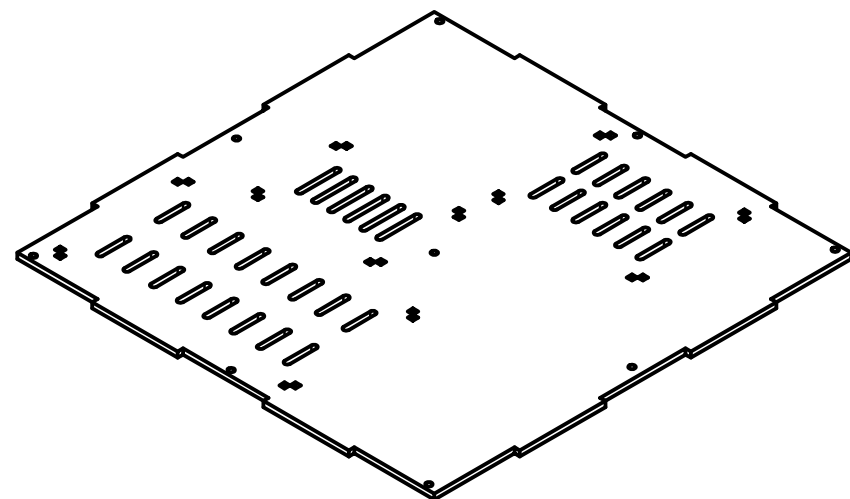
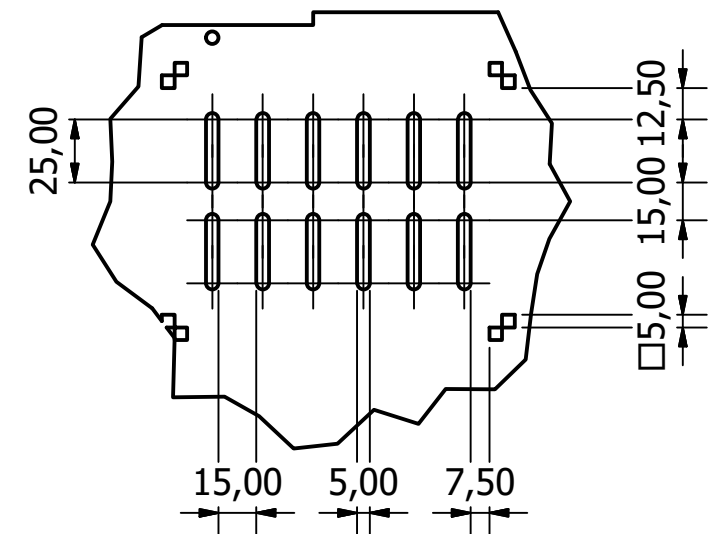
Detalle A



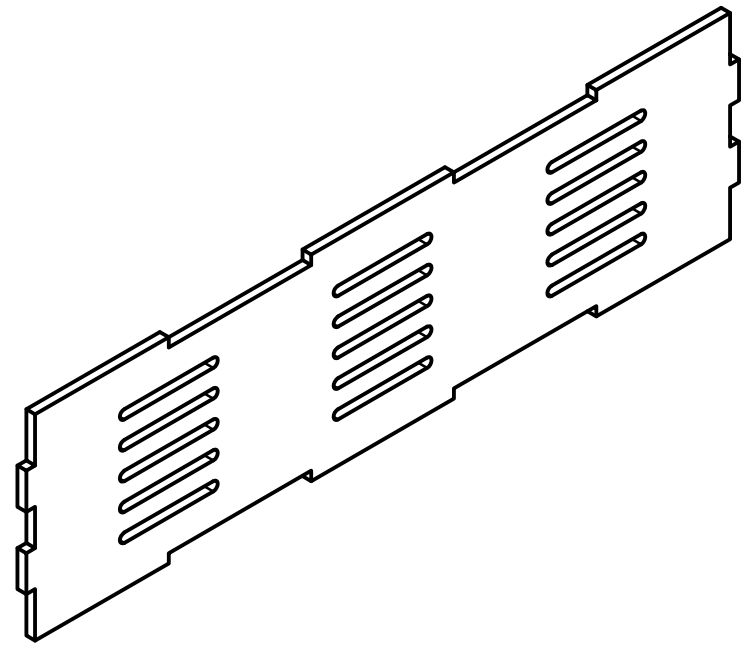
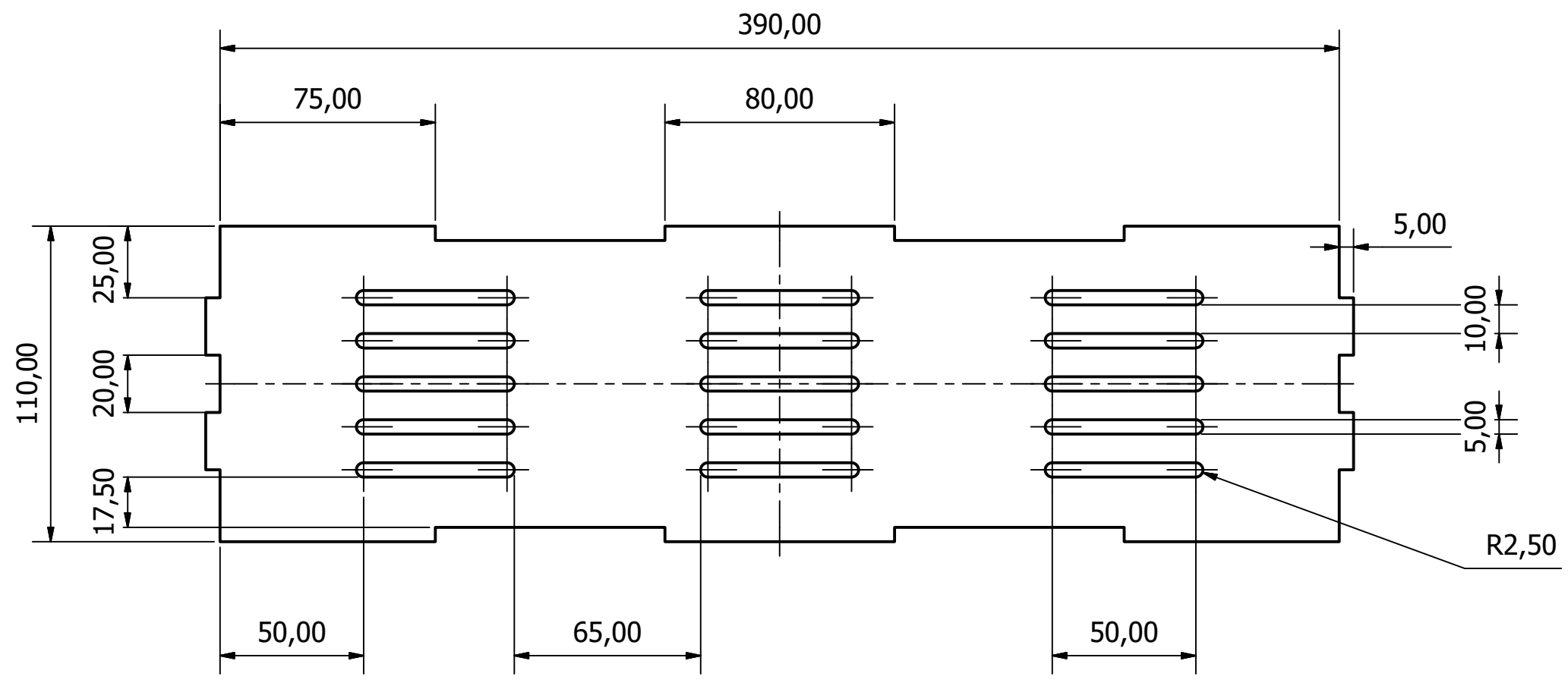
Detalle B



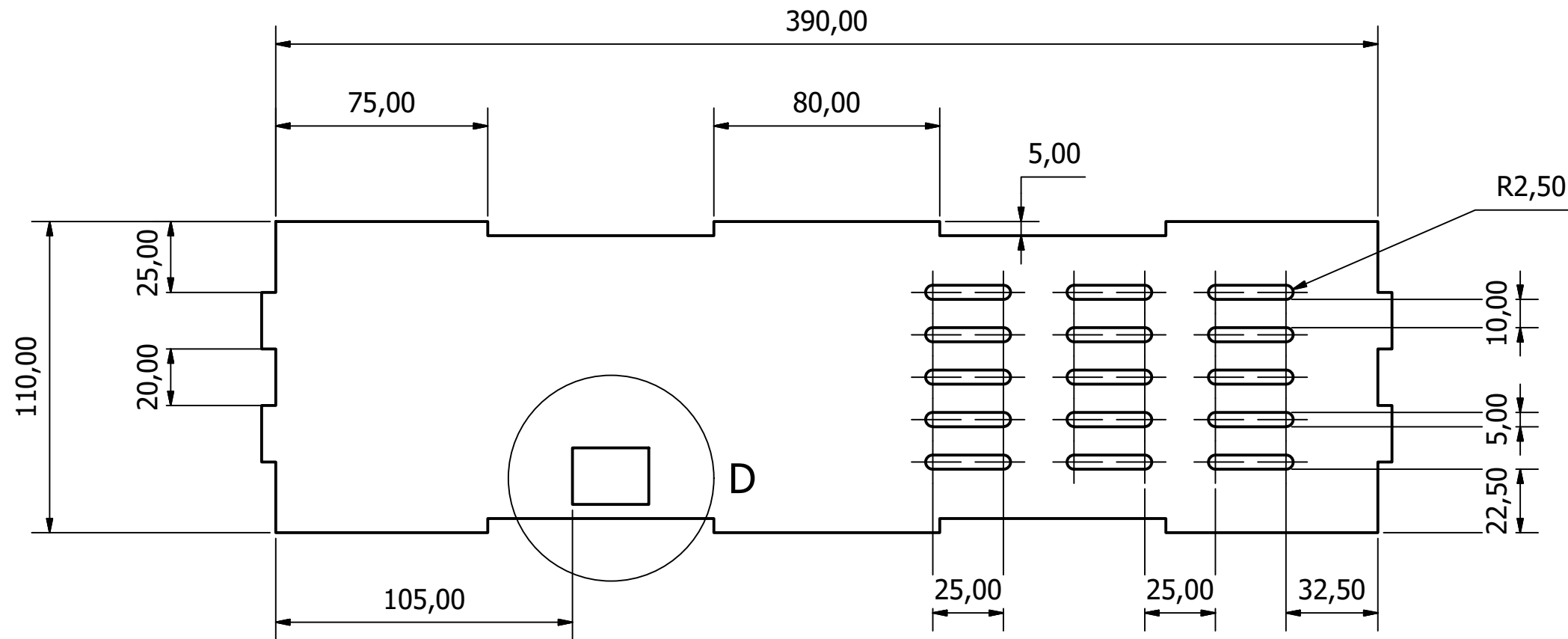
Detalle C



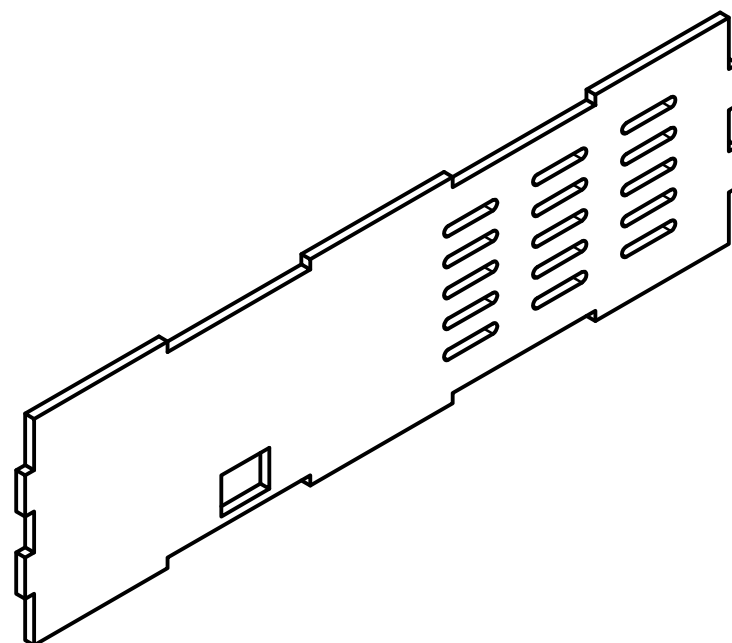
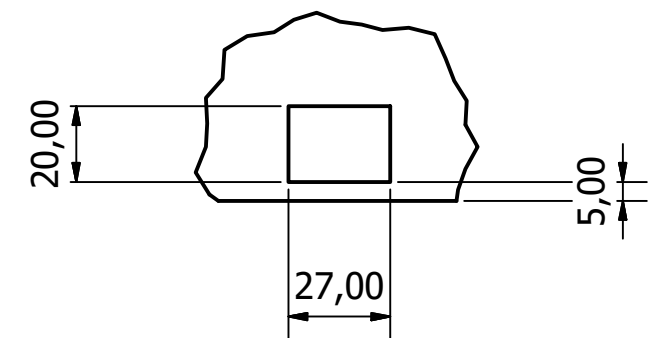
| | | | | | | |
|--|--|--|--|---------------------------------------|--|-----------------|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: | | 1 - 1 |
| | | | | Proyecto Final de Graduación | | |
| | | | | DENOMINACIÓN: | | |
| | | | | Inferior gabinete | | |
| | | | | MATERIAL: | | DESIGNACIÓN: |
| | | | | Acrílico 5mm | | PFG 13.01.07.01 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 3 |
| | | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | FORMATO: A3 |
| | | | | MATERIALES: | | HOJA 33 DE 57 |



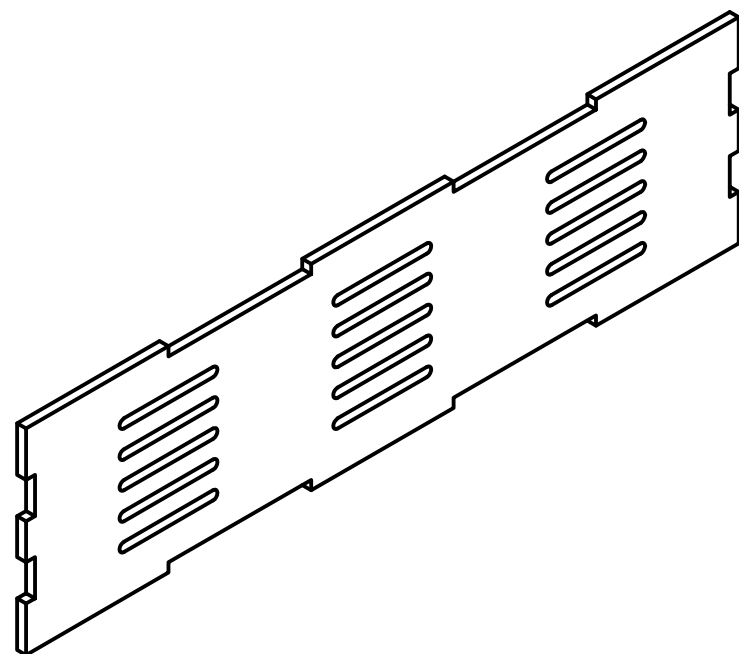
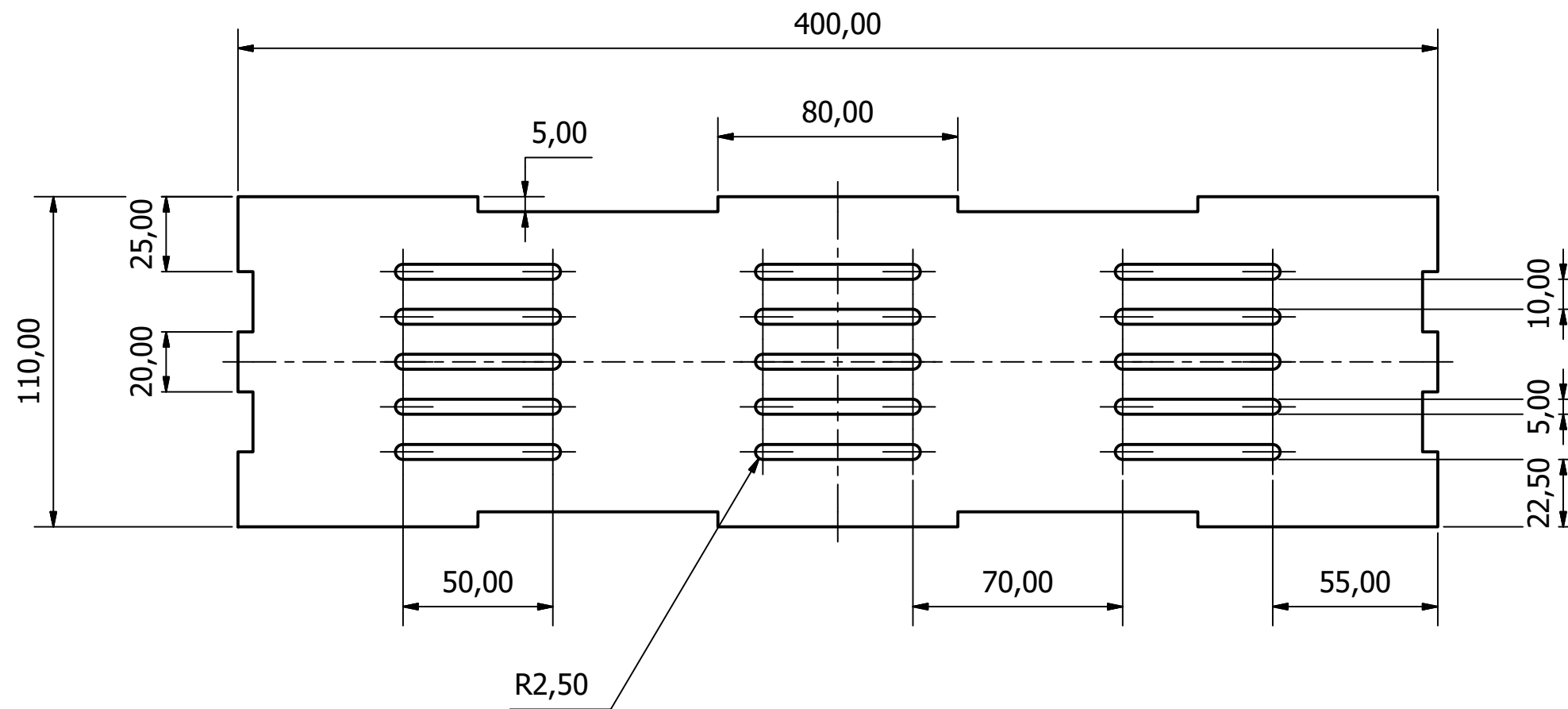
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|------------|----------|--|-------|---------------|---------------|------------------|--|------------|--|--------|--|--|--|--------|--|--|--|-------|--|--|--|-----------------------|--|--|---|
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Frontal gabinete | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> <th>ACABADO:</th> </tr> <tr> <td>DIBUJ. O. Gatica</td> <td></td> <td>2019-04-05</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | | | | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | DIBUJ. O. Gatica | | 2019-04-05 | | VERIF. | | | | APROB. | | | | FABR. | | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.07.02 |  FORMATO: A3 |
| NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIBUJ. O. Gatica | | 2019-04-05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VERIF. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOTAS: | | | | MATERIAL: Acrílico 5mm | | ESCALA: 1 : 2 | HOJA 34 DE 57 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



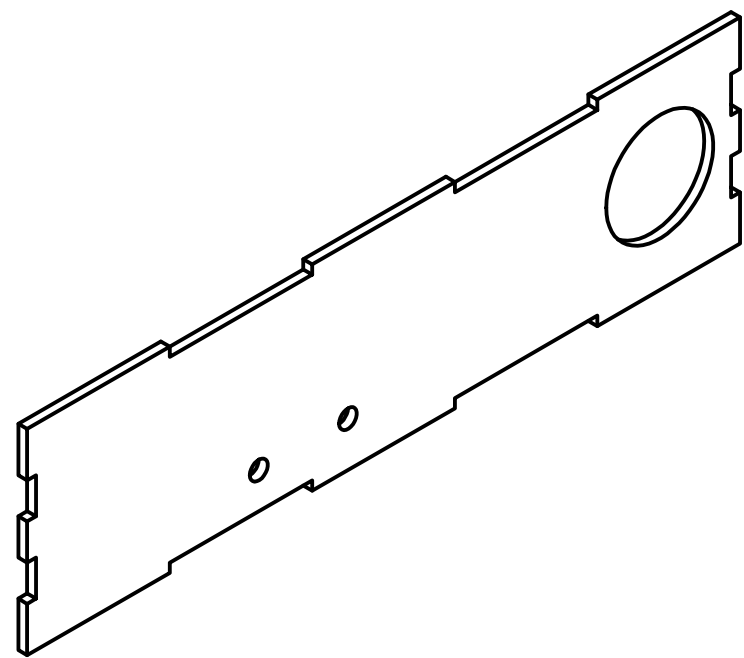
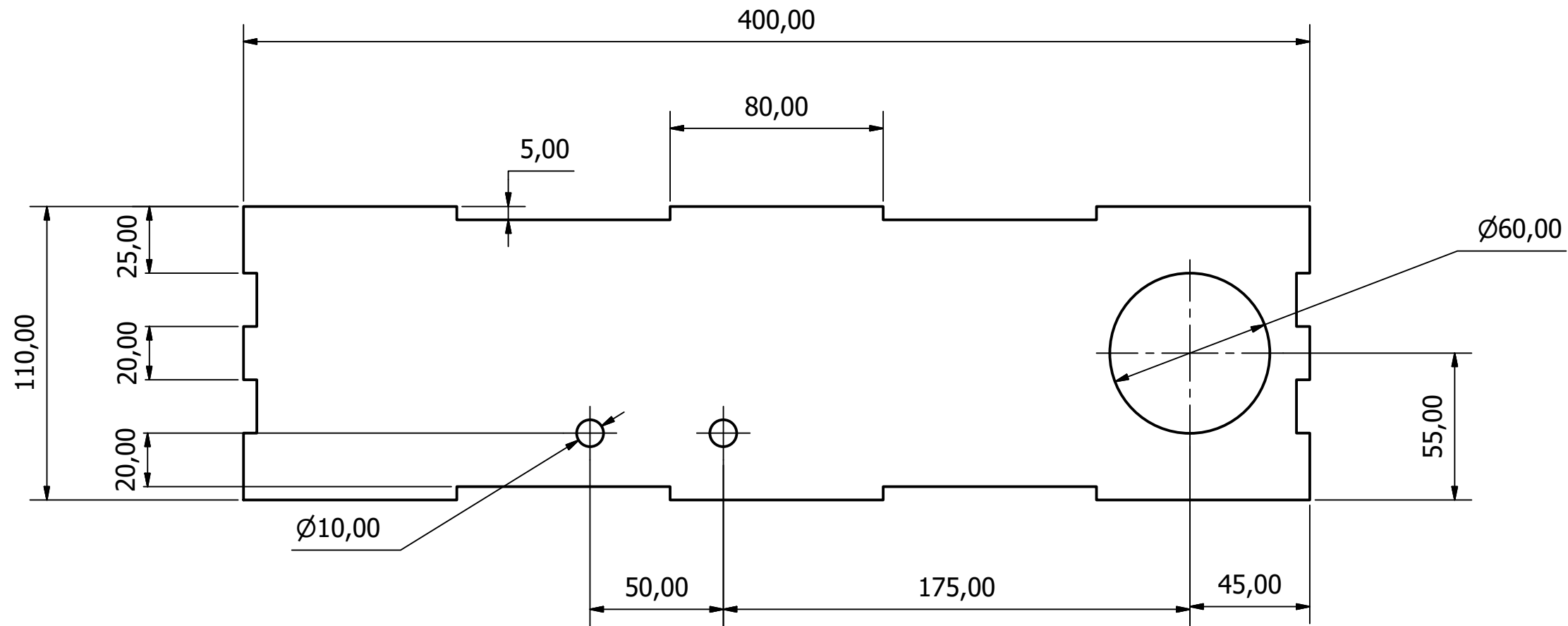
Detalle D



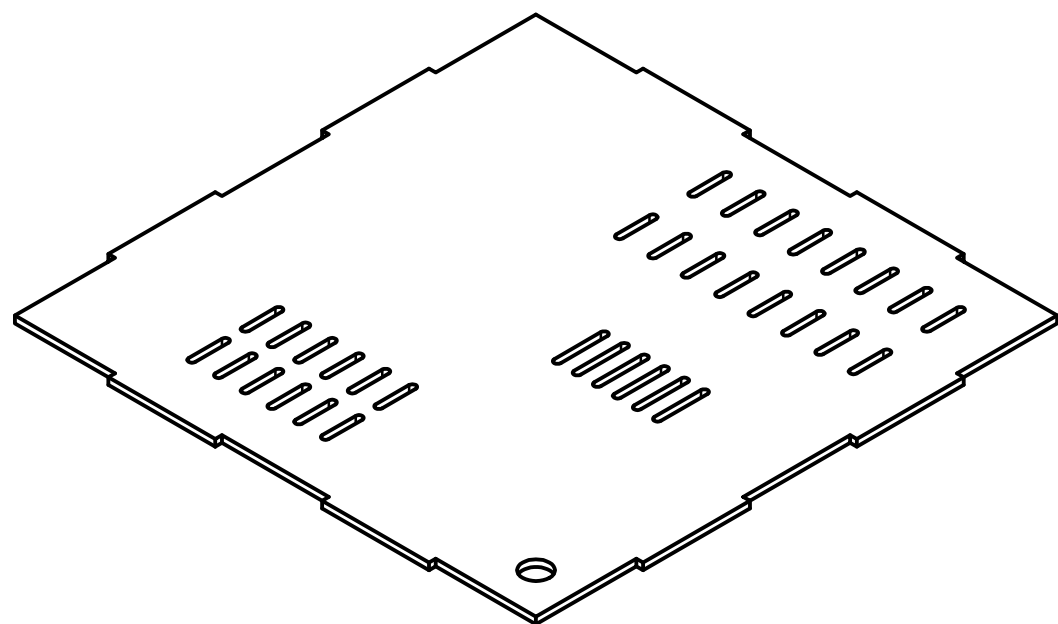
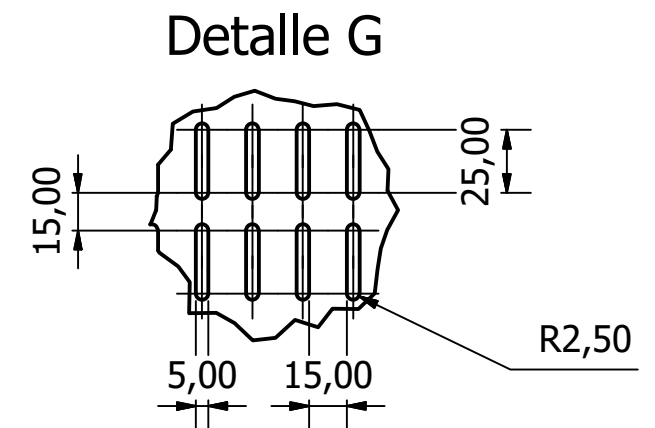
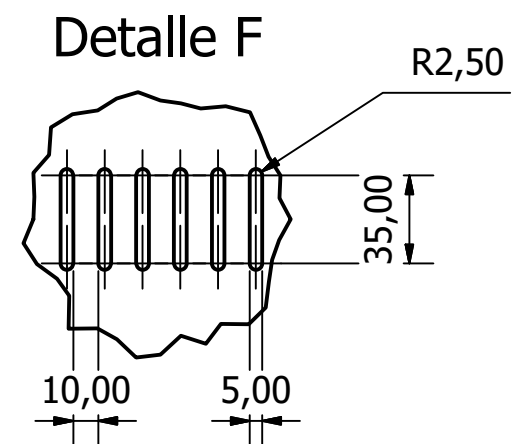
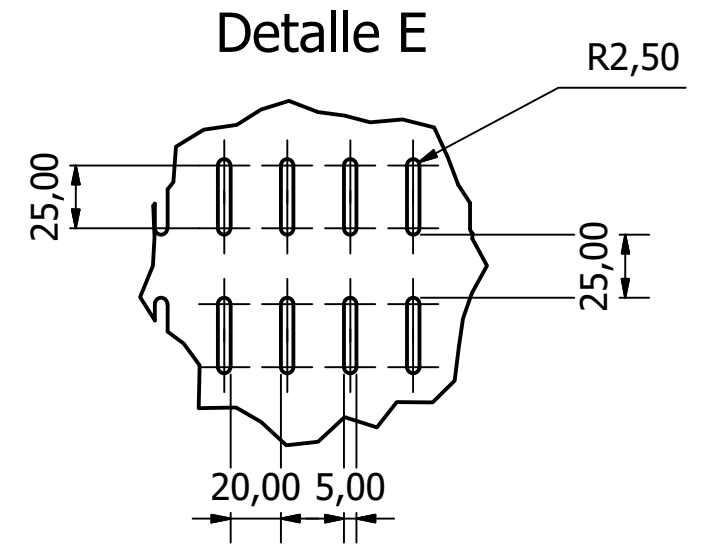
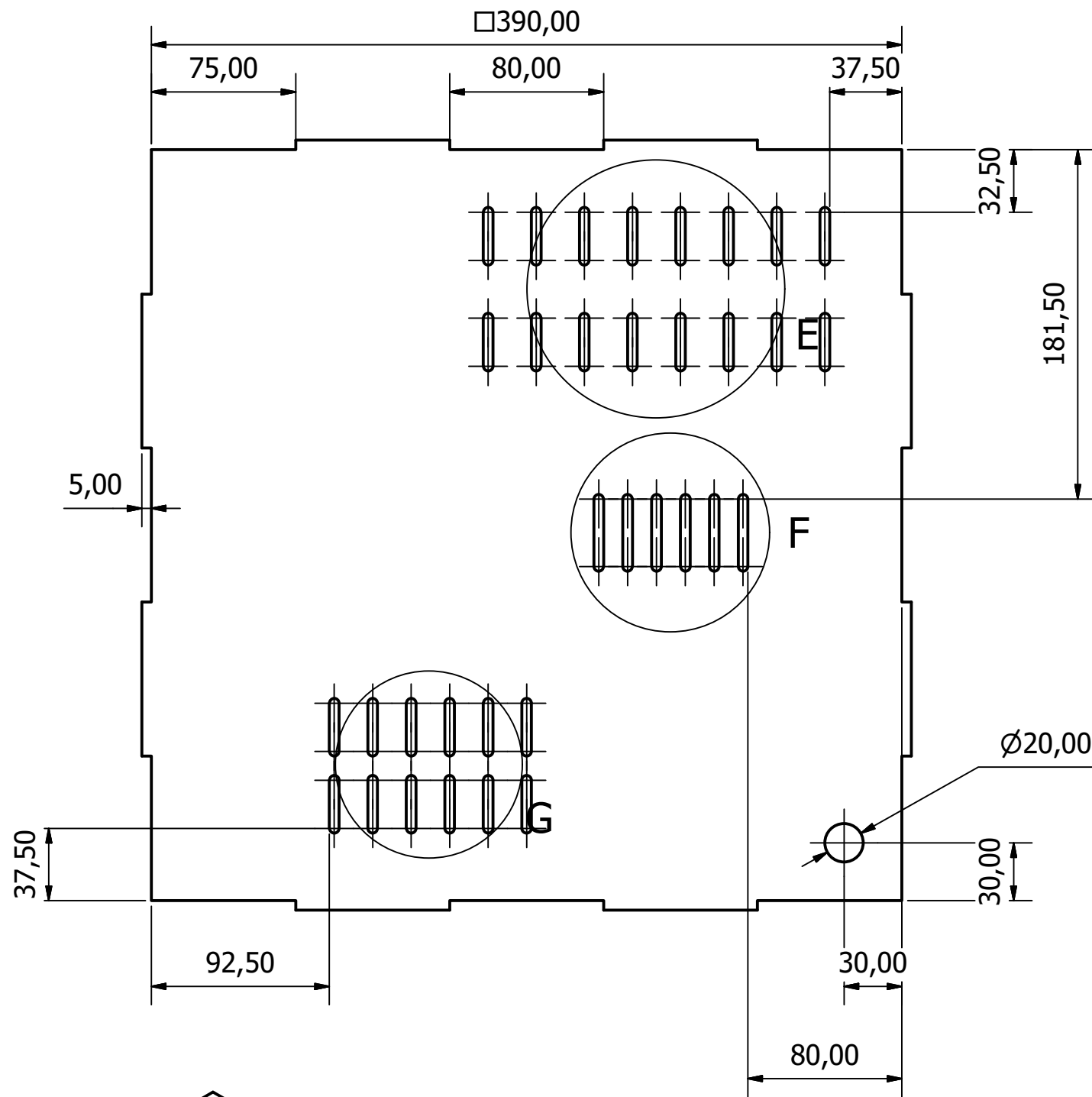
| | | | | | | |
|--|--|--|--|---------------------------------------|--|-----------------|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: | | 1 - 1 |
| | | | | Proyecto Final de Graduación | | |
| | | | | DENOMINACIÓN: | | |
| | | | | Trasera gabinete | | |
| | | | | MATERIAL: | | DESIGNACIÓN: |
| | | | | Acrílico 5mm | | PFG 13.01.07.03 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 2 |
| | | | | HOJA 35 DE 57 | | FORMATO: A3 |



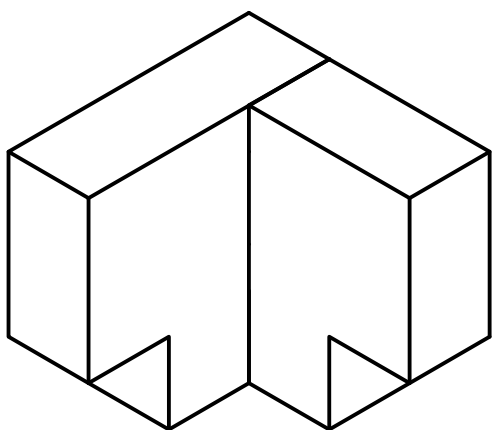
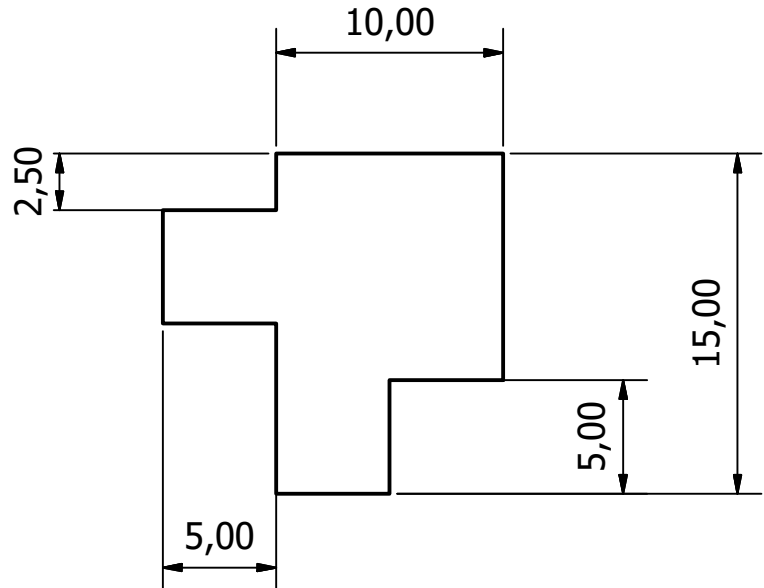
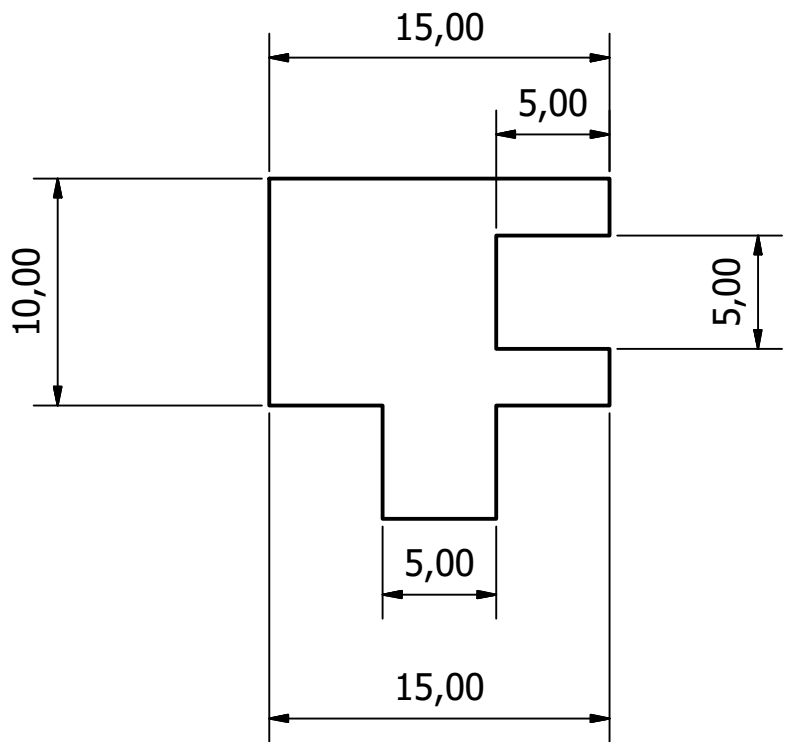
| | | | | | | |
|--|--|-------|--|---------------------------------------|--|-----------------|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: | | 1 - 1 |
| | | | | Proyecto Final de Graduación | | |
| | | | | DENOMINACIÓN: | | |
| | | | | Lateral derecha gabinete | | |
| | | | | MATERIAL: | | DESIGNACIÓN: |
| | | | | Acrílico 5mm | | PFG 13.01.07.04 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 2 |
| | | | | NOTAS: | | HOJA 36 DE 57 |
| DIBUJ. | | FIRMA | | FECHA | | FORMATO: |
| O. Gatica | | | | 2019-04-05 | | A3 |
| VERIF. | | | | | | |
| APROB. | | | | | | |
| FABR. | | | | | | |



| | | | | | | |
|--|--|--|--|---------------------------------------|--|--|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: | | 1 - 1 |
| | | | | Proyecto Final de Graduación | | |
| | | | | DENOMINACIÓN: | | |
| | | | | Lateral izquierda gabinete | | |
| | | | | MATERIAL: | | DESIGNACIÓN: |
| | | | | Acrílico 5mm | | PFG 13.01.07.05 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 2 |
| | | | | NOTAS: | |  FORMATO: A3 HOJA 37 DE 57 |



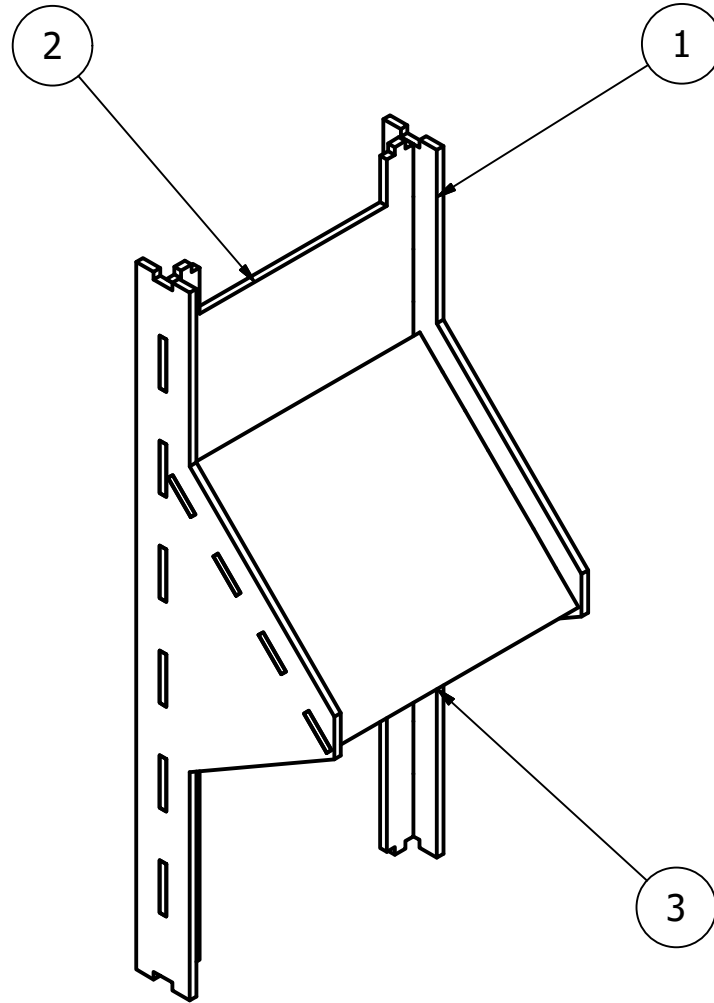
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------|------------------------------|----------|--------|-----------|------------|--|--------|--|--|-----------------------|--------|--|--|--|-------|--|--|--|---------------|--|--|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | CURSO: | | Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>NOMBRE</td> <td>FIRMA</td> <td>FECHA</td> <td>ACABADO:</td> </tr> <tr> <td>DIBUJ.</td> <td>O. Gatica</td> <td>2019-03-08</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> <td>NOTAS DE FABRICACIÓN:</td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | | | | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | DIBUJ. | O. Gatica | 2019-03-08 | | VERIF. | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | APROB. | | | | FABR. | | | | DENOMINACIÓN: | | |
| NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIBUJ. | O. Gatica | 2019-03-08 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VERIF. | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Superior gabinete | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOTAS: | | | | MATERIAL: | DESIGNACIÓN: | FORMATO: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Acrílico 5mm | PFG 13.01.07.06 | A3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 1 : 3 | HOJA 38 DE 57 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|---|-----------------------|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Retenedor gabinete | | | |
| NOTAS: | | | | MATERIAL: Acrílico 5mm | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.07.07 |  | FORMATO: A4 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 3 : 1 | HOJA 39 DE 57 | |

Lista de Partes

| Item | Form. | Pág. | Designación | Denominación | Qty |
|------|-------|------|-----------------|-------------------|-----|
| 1 | A4 | 41 | PFG 13.01.08.01 | Lateral rampa | 2 |
| 2 | A4 | 42 | PFG 13.01.08.02 | Soporte H rampa | 1 |
| 3 | A4 | 43 | PFG 13.01.08.03 | Placa caída rampa | 1 |



TEC | Tecnológico de Costa Rica

ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA

REVISIÓN:

CURSO:

Proyecto Final de Graduación

1 - 1

| | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--------|-----------|-------|------------|
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-29 |
| VERIF. | | | |
| APROB. | | | |
| FABR. | | | |

ACABADO:

DENOMINACIÓN:

Rampa

NOTAS DE FABRICACIÓN:

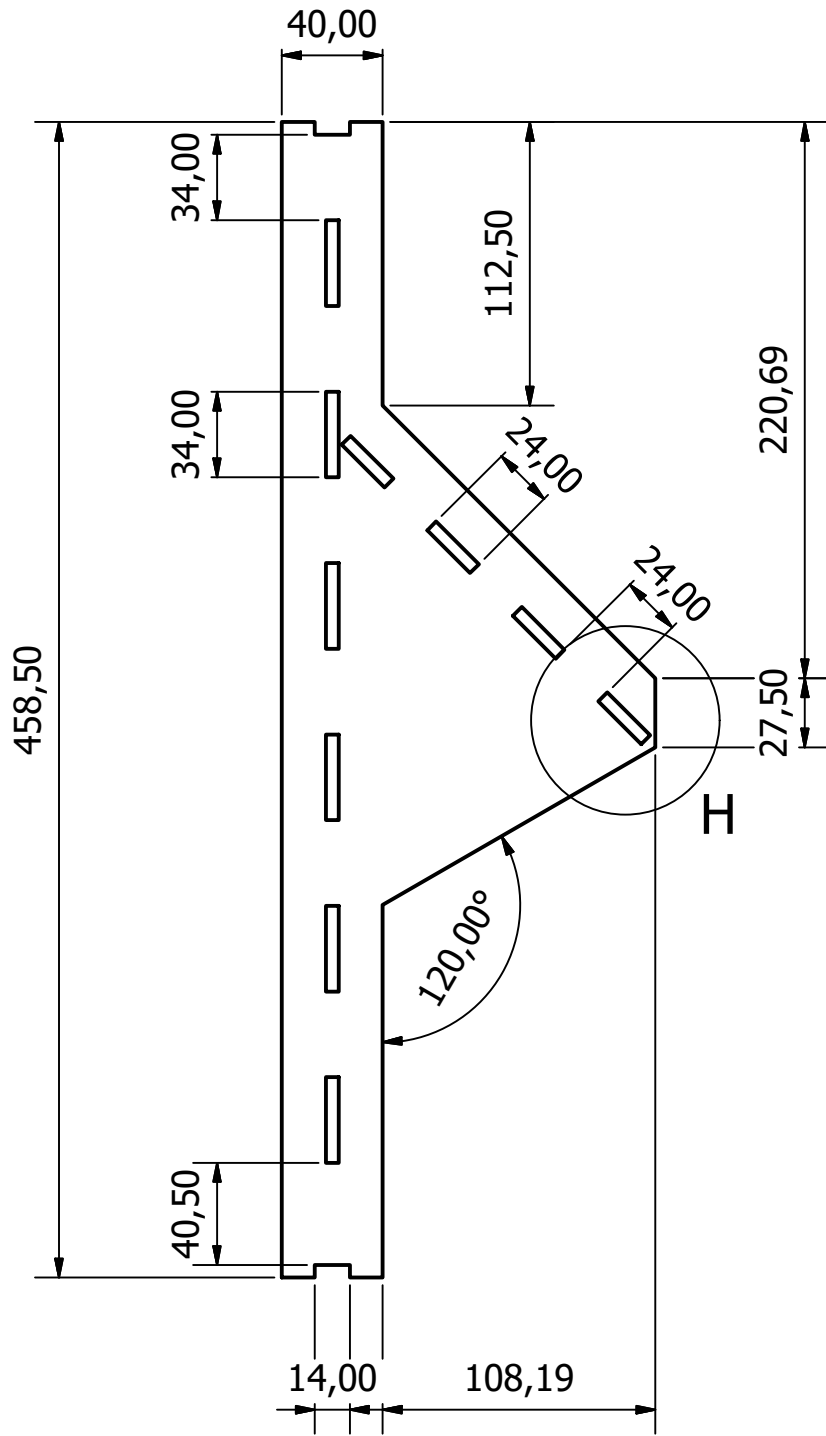
NOTAS:

MATERIAL:
Acrílico 5mm
ACOTACIÓN: mm

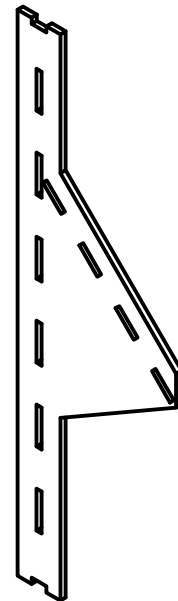
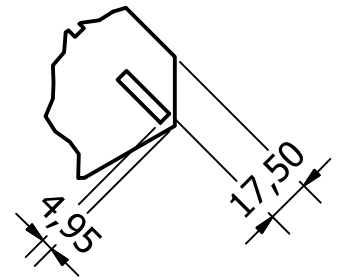
DESIGNACIÓN:
PFG 13.01.08.00
ESCALA: 1 : 4



FORMATO:
A4
HOJA 40 DE 57



Detalle H



TEC | Tecnológico de Costa Rica

ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA

REVISIÓN:

CURSO:

Proyecto Final de Graduación

1 - 1

DENOMINACIÓN:

Lateral rampa

| | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--------|-----------|-------|------------|
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-29 |
| VERIF. | | | |
| APROB. | | | |
| FABR. | | | |

ACABADO:

NOTAS DE FABRICACIÓN:

NOTAS:

MATERIAL:

Acrílico 5mm

DESIGNACIÓN:

PFG 13.01.08.01



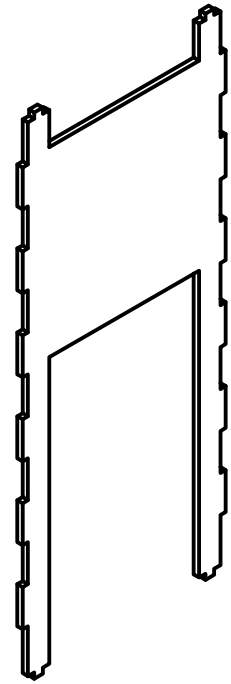
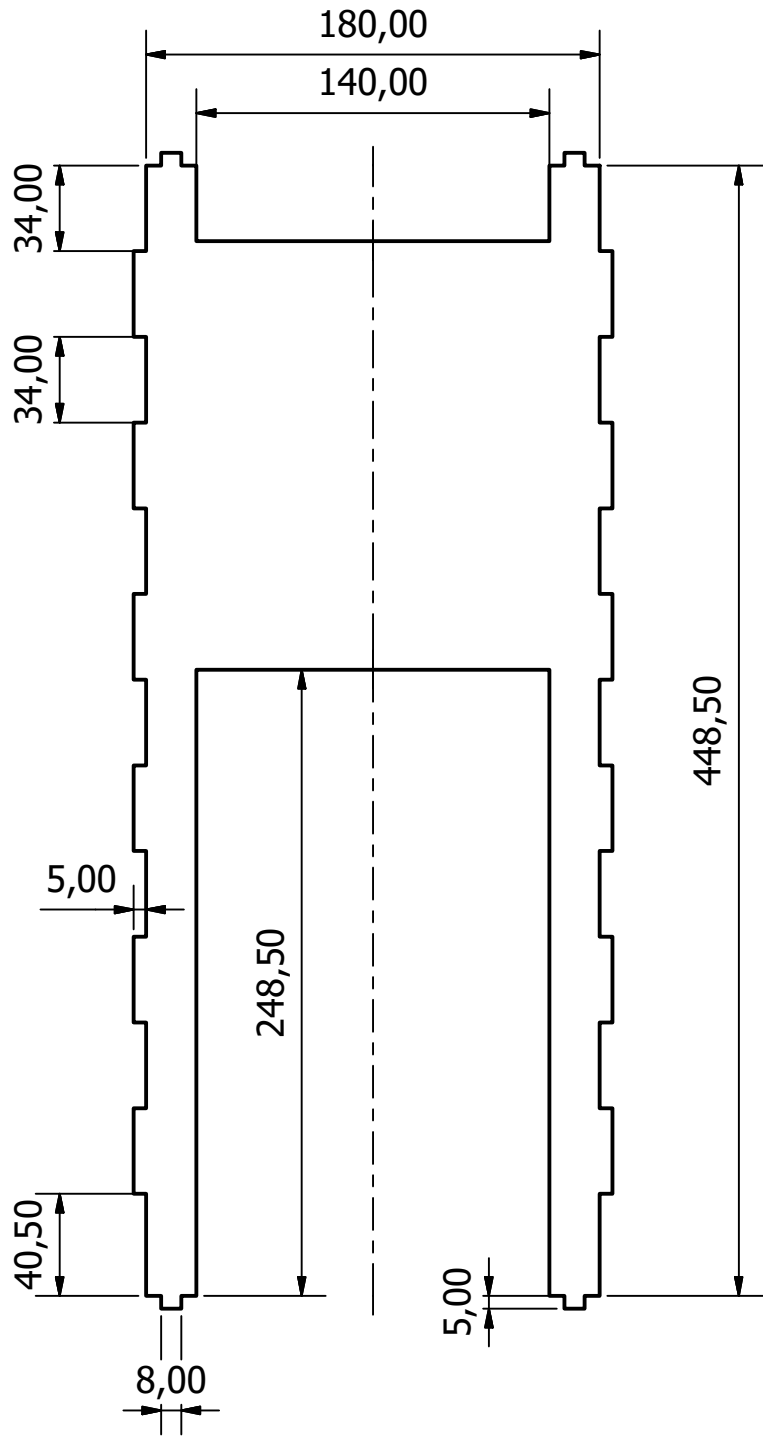
FORMATO:

A4

ACOTACIÓN: mm

ESCALA: 1 : 3

HOJA 41 DE 57



TEC | Tecnológico de Costa Rica

ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA

REVISIÓN:

CURSO:

Proyecto Final de Graduación

1 - 1

DENOMINACIÓN:

Soporte H rampa

| | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--------|-----------|-------|------------|
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-29 |
| VERIF. | | | |
| APROB. | | | |
| FABR. | | | |

ACABADO:

NOTAS DE FABRICACIÓN:

DESIGNACIÓN:

Acrílico 5mm

PFG 13.01.08.02



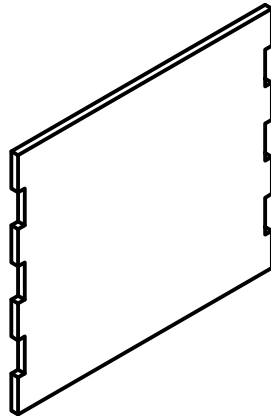
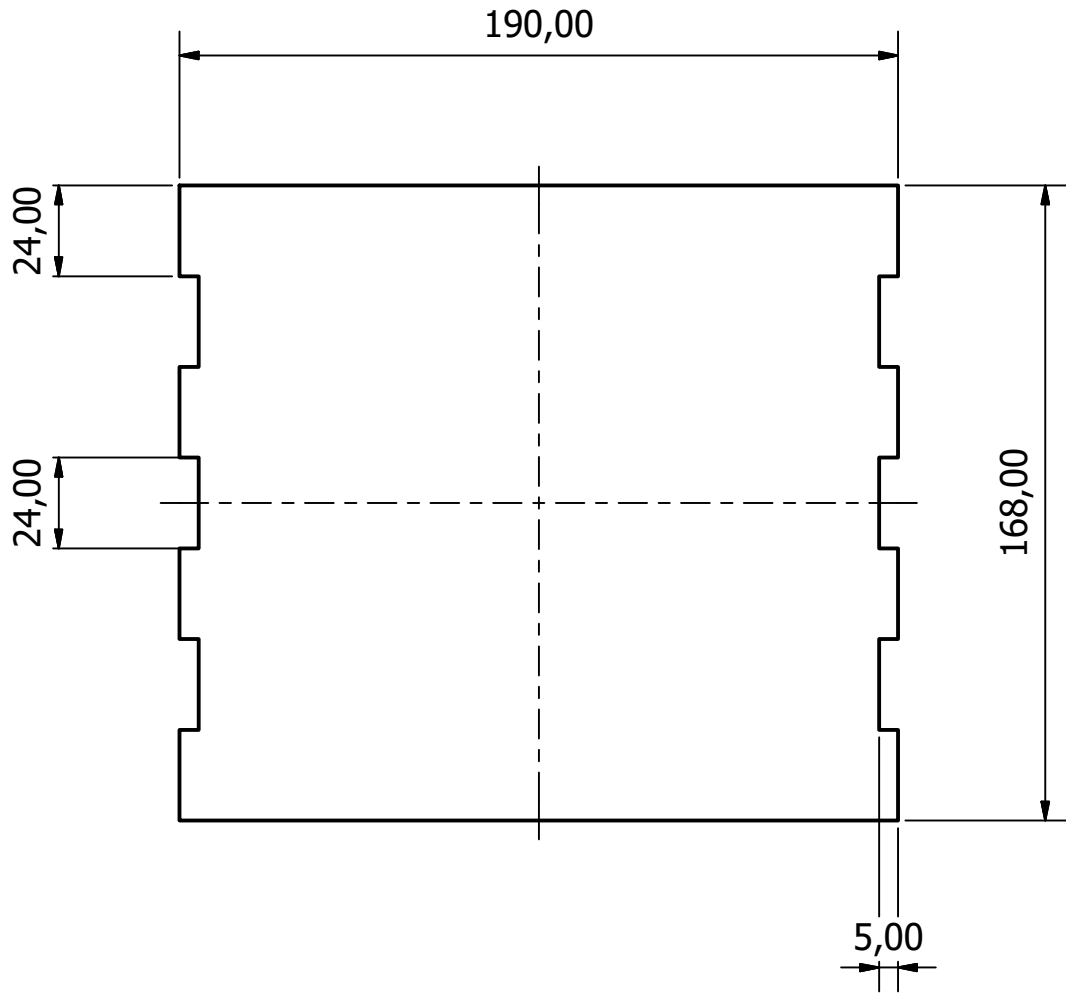
FORMATO:

A4

ACOTACIÓN: mm

ESCALA: 1 : 3

HOJA 42 DE 57



TEC | Tecnológico de Costa Rica

ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA

REVISIÓN:

CURSO:

Proyecto Final de Graduación

1 - 1

| | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--------|-----------|-------|------------|
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-29 |
| VERIF. | | | |
| APROB. | | | |
| FABR. | | | |

ACABADO:

DENOMINACIÓN:

Placa caída rampa

NOTAS DE FABRICACIÓN:

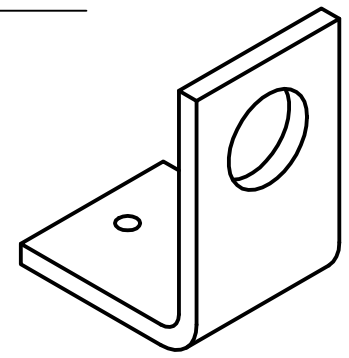
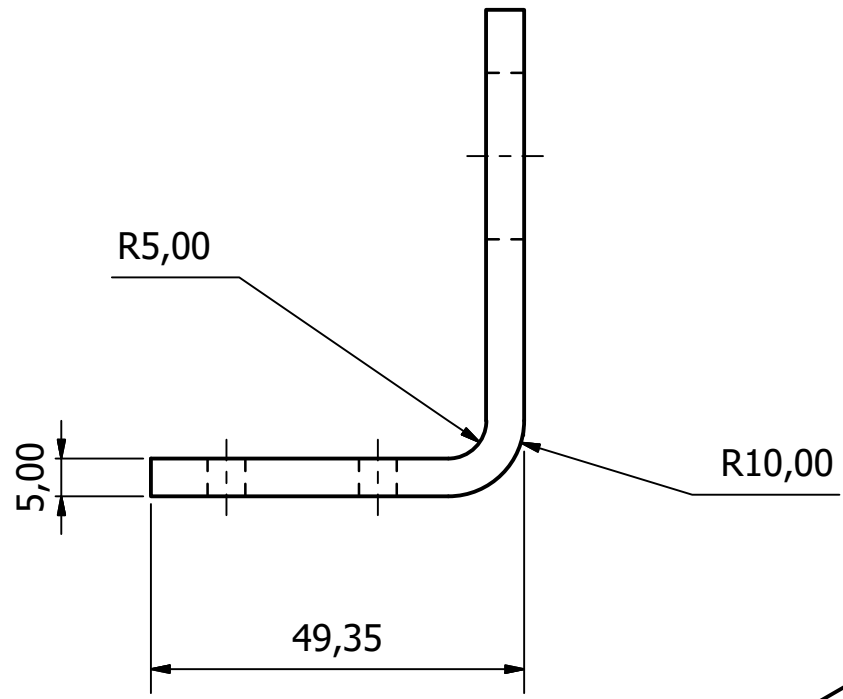
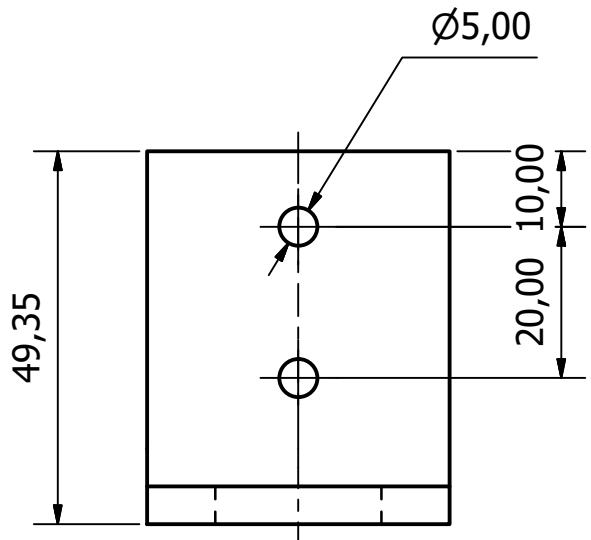
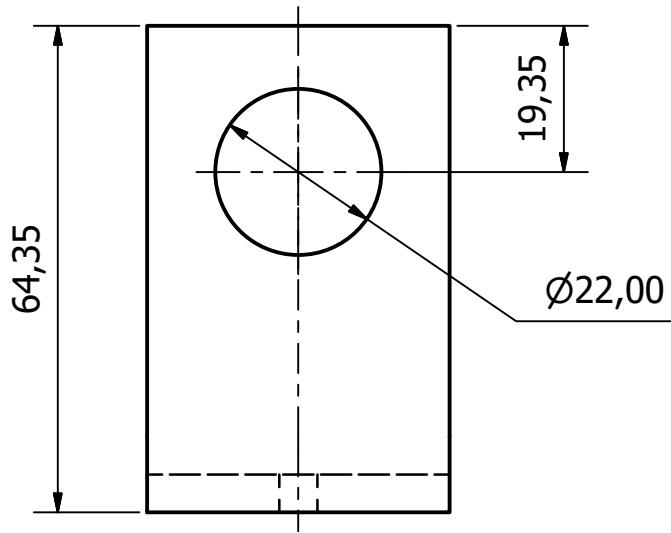
NOTAS:

MATERIAL:
Acrílico 5mm
ACOTACIÓN: mm

DESIGNACIÓN:
PFG 13.01.08.03
ESCALA: 1 : 2



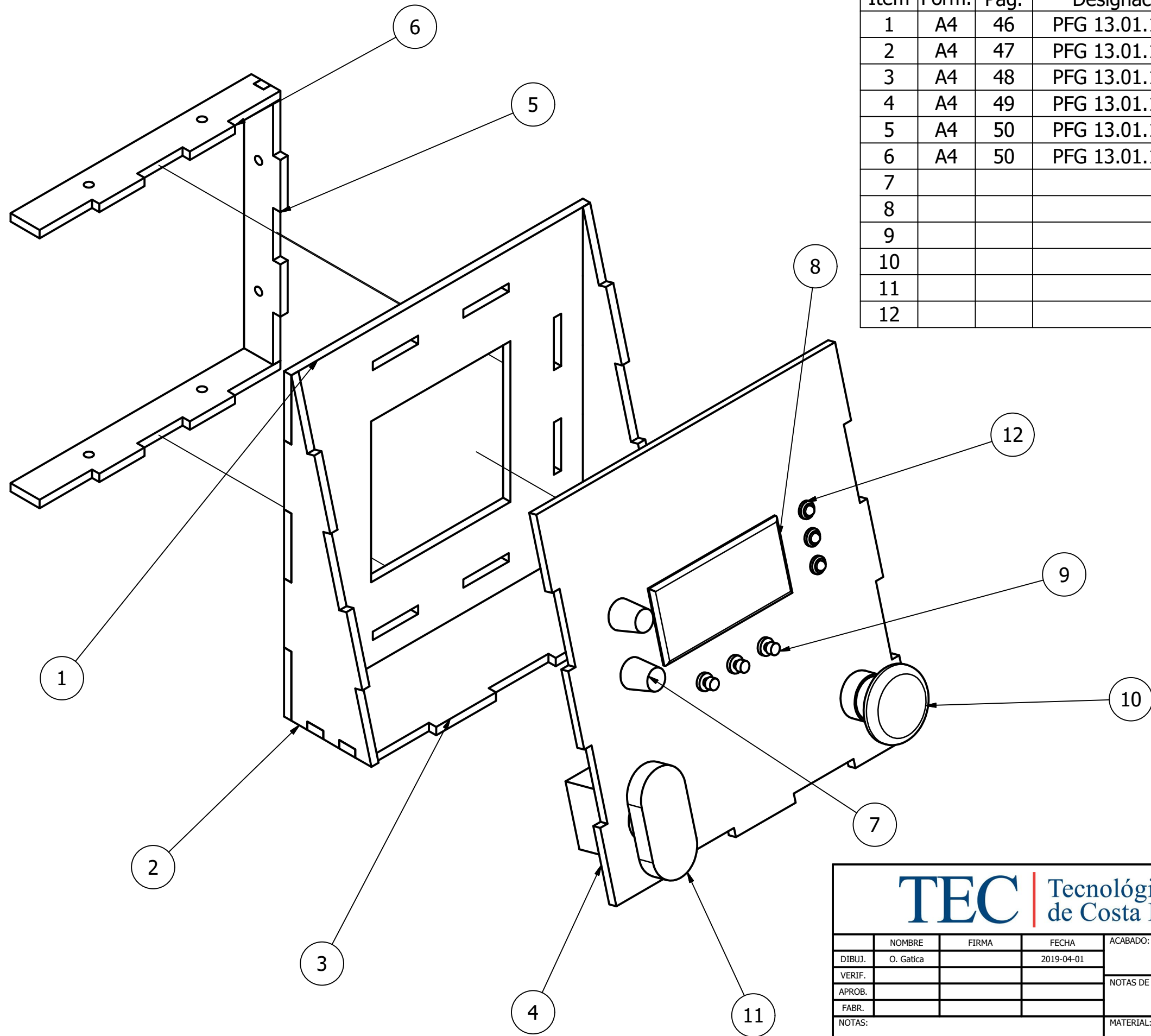
FORMATO:
A4
HOJA 43 DE 57



| | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|---|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 |
| | | | | DENOMINACIÓN: Soporte pistones | | |
| NOTAS: | | | | MATERIAL: Acero 304 5mm | DESIGNACIÓN: PGF 13.01.09.01 |  A4 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 1 : 1 | |

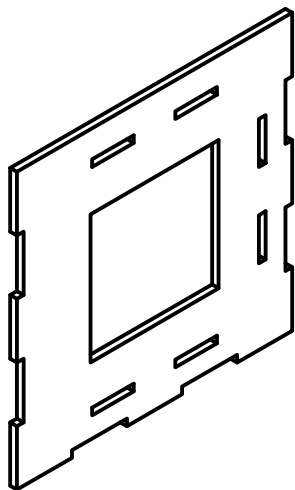
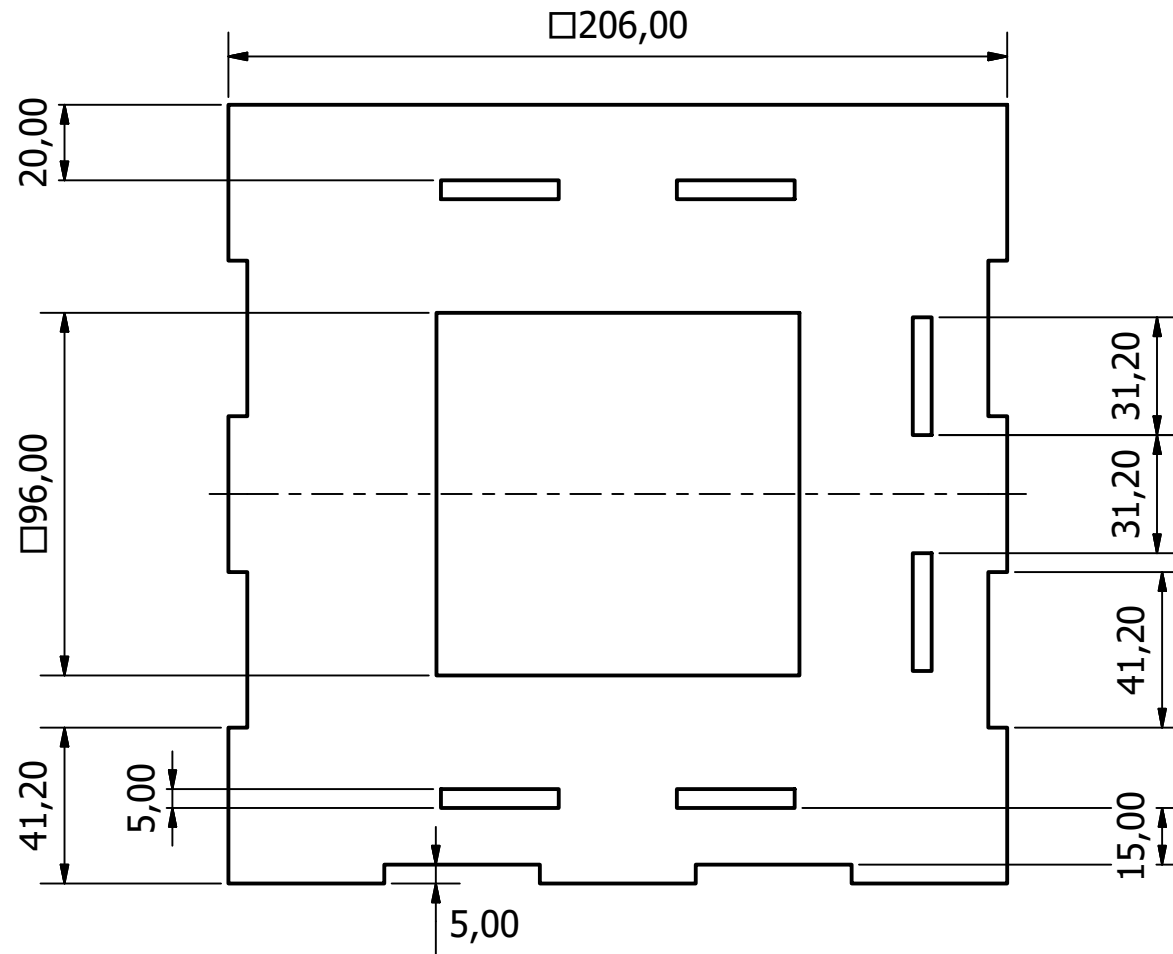
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--------|-----------|-------|------------|
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-04-05 |
| VERIF. | | | |
| APROB. | | | |
| FABR. | | | |

| |
|-----------------------|
| ACABADO: |
| NOTAS DE FABRICACIÓN: |

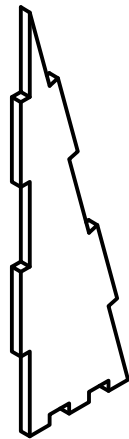
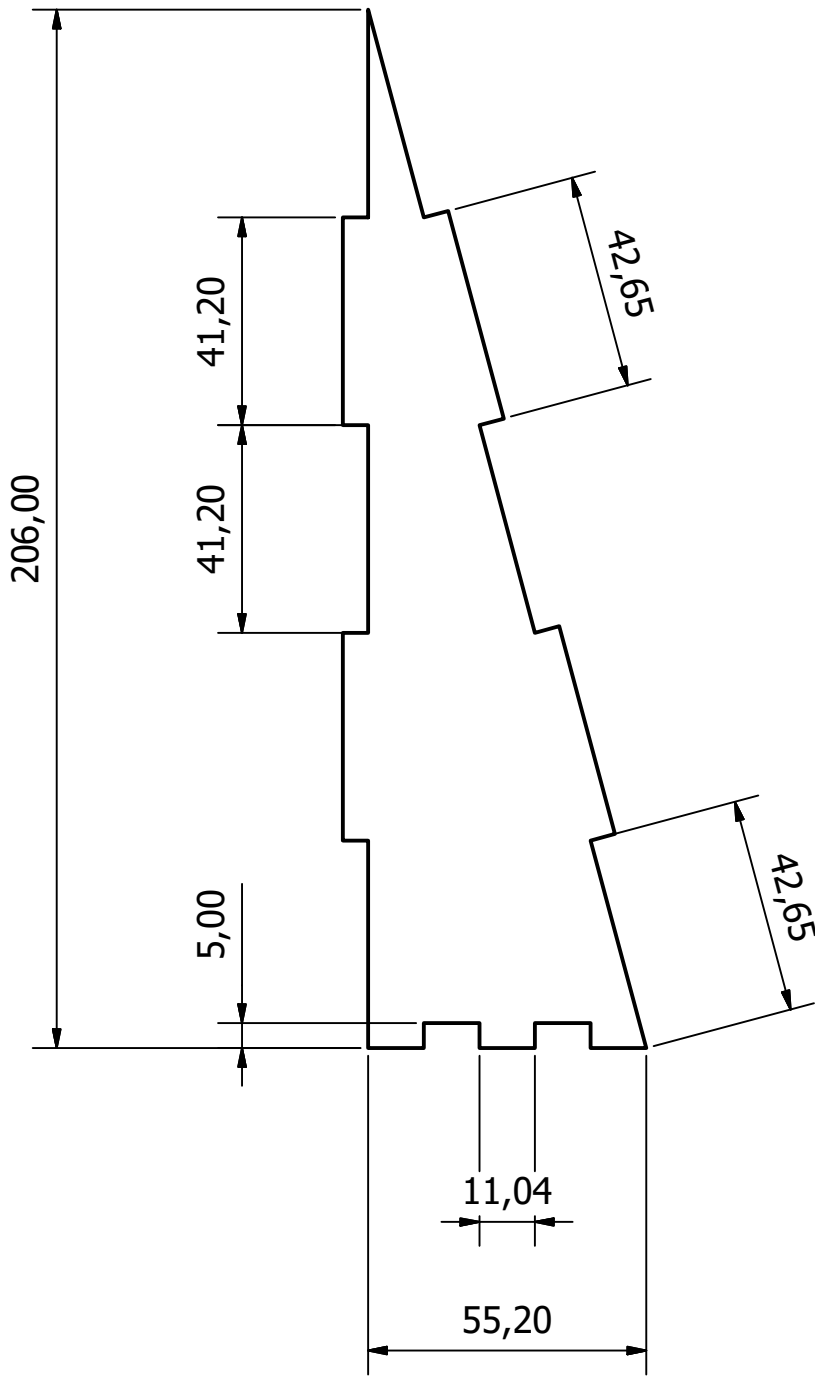


| Lista de Partes | | | | | |
|-----------------|-------|------|-----------------|-------------------------------------|-----|
| Item | Form. | Pág. | Designación | Denominación | Qty |
| 1 | A4 | 46 | PFG 13.01.10.01 | Trasera panel de control | 1 |
| 2 | A4 | 47 | PFG 13.01.10.02 | Lateral panel de control | 2 |
| 3 | A4 | 48 | PFG 13.01.10.03 | Inferior panel de control | 1 |
| 4 | A4 | 49 | PFG 13.01.10.04 | Frontal panel de control | 1 |
| 5 | A4 | 50 | PFG 13.01.10.05 | Soporte vertical panel de control | 1 |
| 6 | A4 | 50 | PFG 13.01.10.06 | Soporte horizontal panel de control | 2 |
| 7 | | | | Potenciómetro | 2 |
| 8 | | | | Pantalla LCD 20x4 | 1 |
| 9 | | | | Botón función | 3 |
| 10 | | | | Botón paro de emergencia | 1 |
| 11 | | | | Botón encendido | 1 |
| 12 | | | | Indicador LED | 3 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------------|-----------------------|--|---------------|-----------|----------|------------------|--|------------|--|--------|--|--|-----------------------|--------|--|--|--|-------|--|--|--|--------------------------------|--|-----------------|
| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>NOMBRE</td> <td>FIRMA</td> <td>FECHA</td> <td>ACABADO:</td> </tr> <tr> <td>DIBUJ. O. Gatica</td> <td></td> <td>2019-04-01</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> <td>NOTAS DE FABRICACIÓN:</td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | | | | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | DIBUJ. O. Gatica | | 2019-04-01 | | VERIF. | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | APROB. | | | | FABR. | | | | DENOMINACIÓN: Panel de control | | FORMATO: A3 |
| NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIBUJ. O. Gatica | | 2019-04-01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VERIF. | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOTAS: | | | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.10.00 MATERIAL: Varios ACOTACIÓN: mm ESCALA: 1 : 2 | HOJA 45 DE 57 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-------|------------|--|--------|--|-------|--------|-----------|--|------------|--------|--|--|--|--------|--|--|--|-------|--|--|--|-----------------------|--|-----------------------|
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Trasera panel de control | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | MATERIAL: Acrílico 5mm | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.10.01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIBUJ.</td> <td>O. Gatica</td> <td></td> <td>2019-04-01</td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | | | | NOMBRE | FIRMA | FECHA | DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-04-01 | VERIF. | | | | APROB. | | | | FABR. | | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | FORMATO: A4 |
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-04-01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VERIF. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOTAS: | | | | | | HOJA 46 DE 57 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



TEC | Tecnológico de Costa Rica

ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA

REVISIÓN:

CURSO:

Proyecto Final de Graduación

1 - 1

DENOMINACIÓN:

Lateral panel de control

DESIGNACIÓN:

PFG 13.01.10.02

FORMATO:

A4



| | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--------|-----------|-------|------------|
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-04-01 |
| VERIF. | | | |
| APROB. | | | |
| FABR. | | | |

NOTAS:

ACABADO:

NOTAS DE FABRICACIÓN:

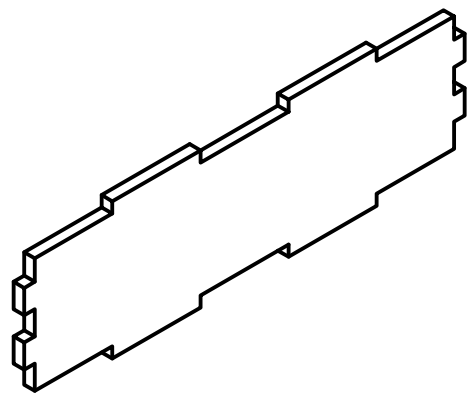
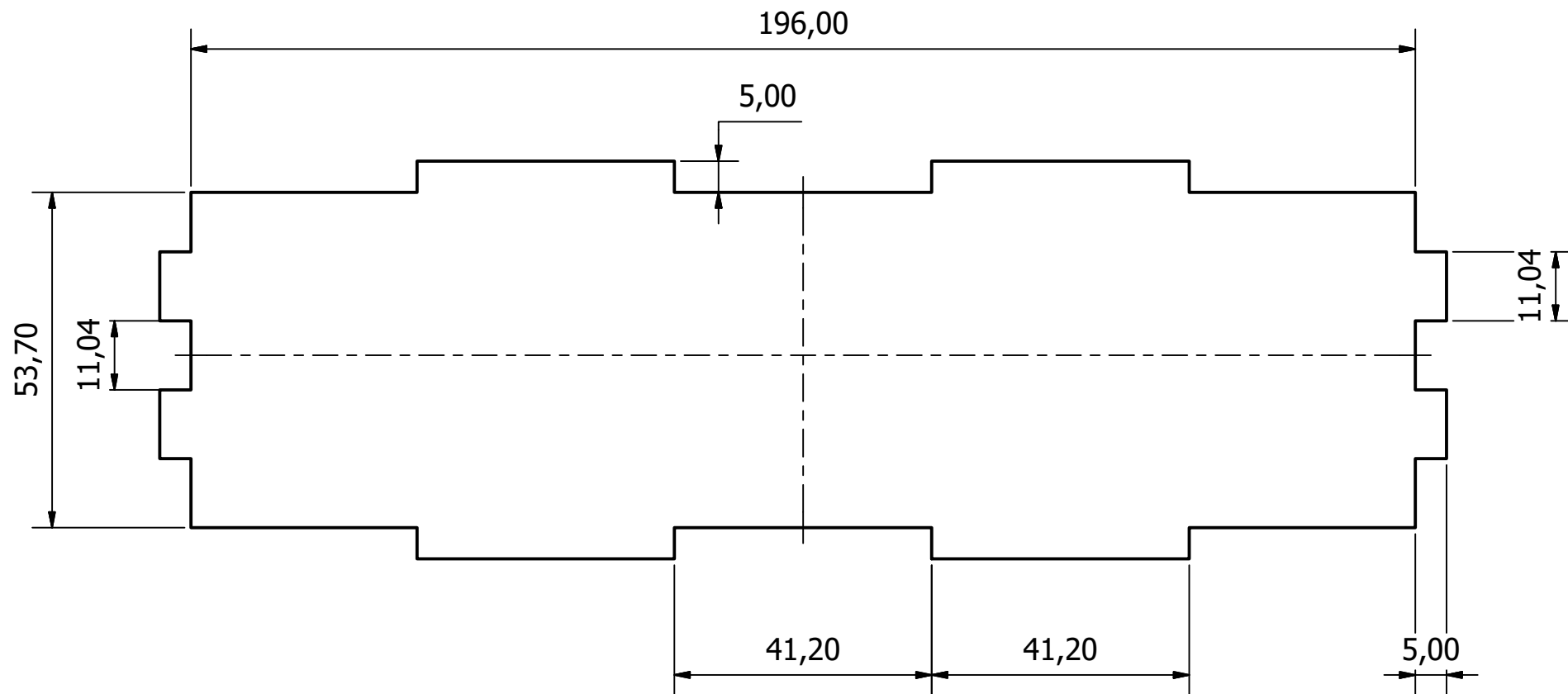
MATERIAL:

Acrílico 5mm

ACOTACIÓN: mm

ESCALA: 1 : 1.5

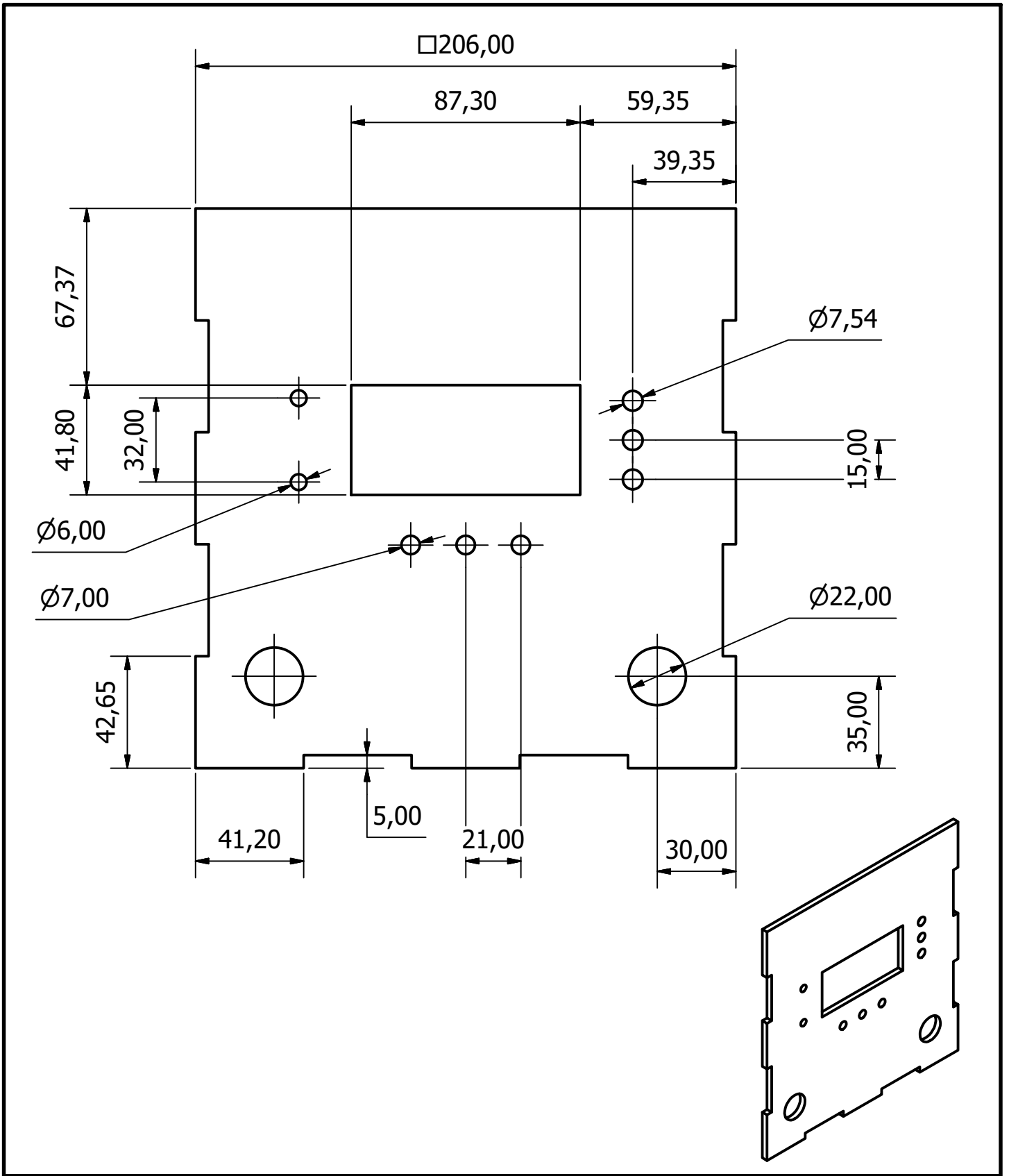
HOJA 47 DE 57



| | | | | | | | |
|---|--|--|--|---|--|--|-----------------------|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Inferior panel de control | | | |
| | | | | MATERIAL: Acrílico 5mm | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.10.03 | FORMATO: A4 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 1 | HOJA 48 DE 57 |

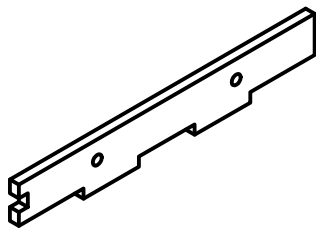
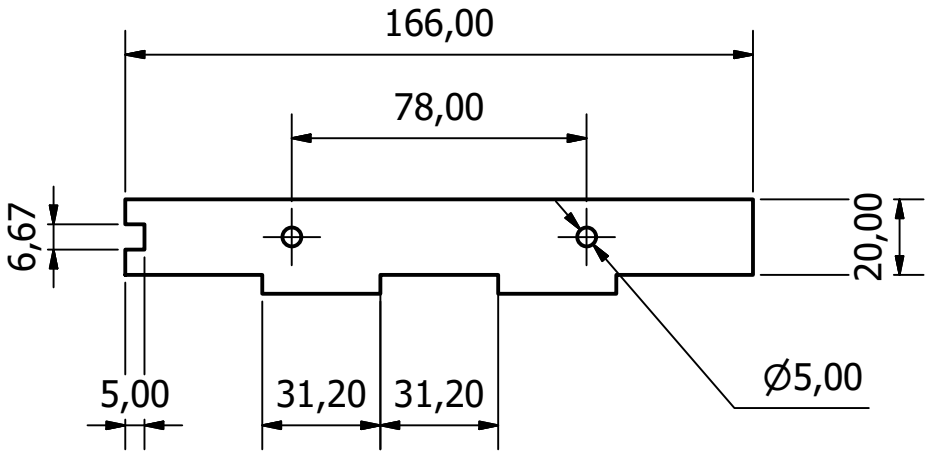
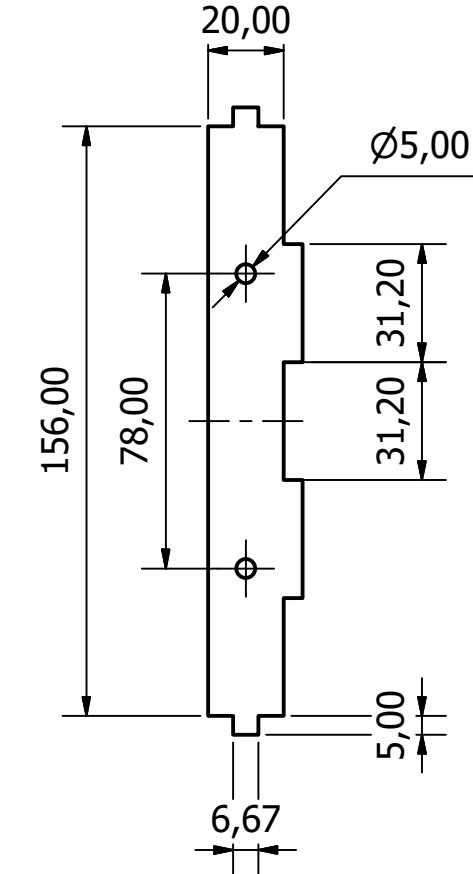
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--------|-----------|-------|------------|
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-04-01 |
| VERIF. | | | |
| APROB. | | | |
| FABR. | | | |

NOTAS:



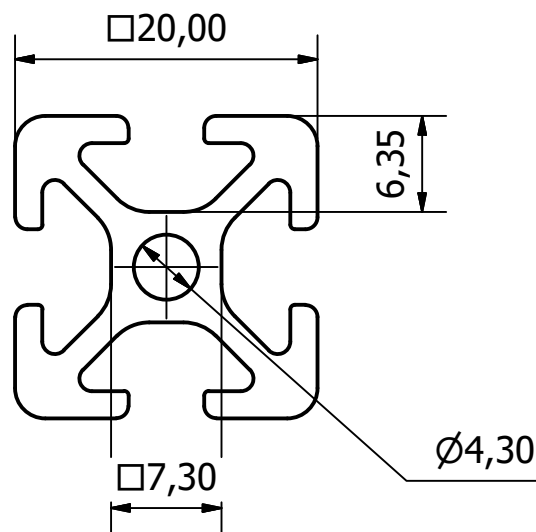
| | | | | | | |
|---------------------|--------|---------------------|-----------------------|--|---------------|--|
| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA CURSO: Proyecto Final de Graduación | | REVISIÓN: 1 - 1 |
| | | | | DENOMINACIÓN: Frontal panel de control | | |
| NOMBRE O. Gatica | FIRMA | FECHA 2019-04-01 | ACABADO: | MATERIAL: Acrílico 5mm | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.10.04 |
| DIBUJ. | VERIF. | APROB. | NOTAS DE FABRICACIÓN: | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 1 : 2 | HOJA 49 DE 57 |
| NOTAS: | | | | | | |

Soporte vertical panel de control
PFG 13.01.10.06



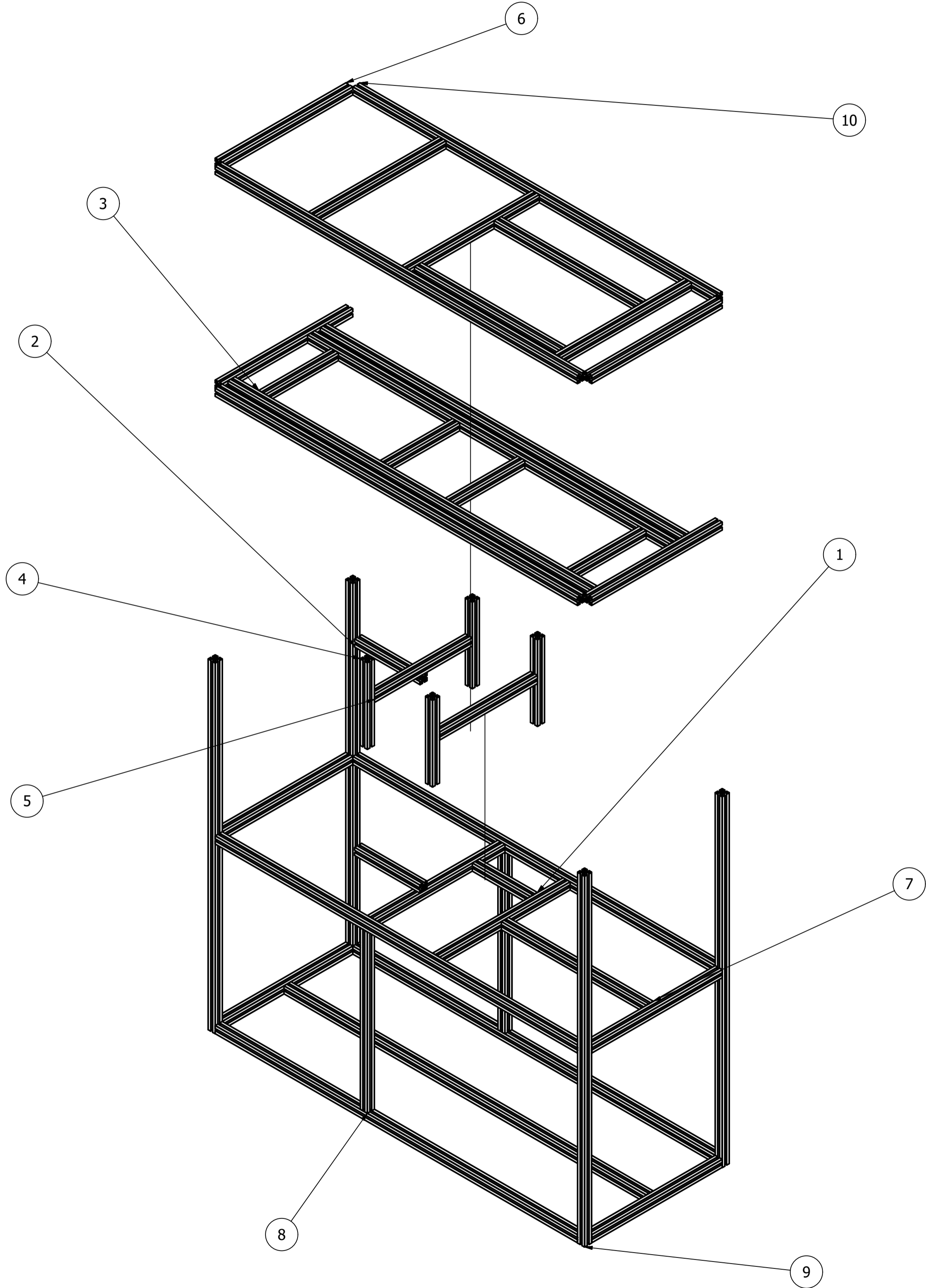
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-------|------------|---|--------|---|---------------|--------|-----------|--|------------|--------|--|--|--|--------|--|--|--|-------|--|--|--|----------|--|-----------------------|
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Soporte vertical panel de control | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIBUJ.</td> <td>O. Gatica</td> <td></td> <td>2019-04-01</td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | | | | NOMBRE | FIRMA | FECHA | DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-04-01 | VERIF. | | | | APROB. | | | | FABR. | | | | ACABADO: | | FORMATO: A4 |
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-04-01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VERIF. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOTAS DE FABRICACIÓN: | | | | MATERIAL: Acrílico 5mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOTAS: Incluye plano de PFG 13.01.10.06 | | | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.10.05 | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | | ESCALA: 1 : 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | HOJA 50 DE 57 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |


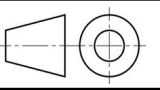
| Lista de perfiles | | |
|-------------------|----------|-----------------|
| Longitud | Cantidad | Designación |
| 98.0 | 4 | PFG 13.01.11.01 |
| 160.0 | 1 | PFG 13.01.11.02 |
| 180.0 | 2 | PFG 13.01.11.03 |
| 200.0 | 8 | PFG 13.01.11.04 |
| 207.0 | 4 | PFG 13.01.11.05 |
| 270.0 | 2 | PFG 13.01.11.06 |
| 360.0 | 13 | PFG 13.01.11.07 |
| 400.0 | 7 | PFG 13.01.11.08 |
| 433.5 | 2 | PFG 13.01.11.09 |
| 886.5 | 4 | PFG 13.01.11.10 |
| 1000.0 | 11 | PFG 13.01.11.11 |

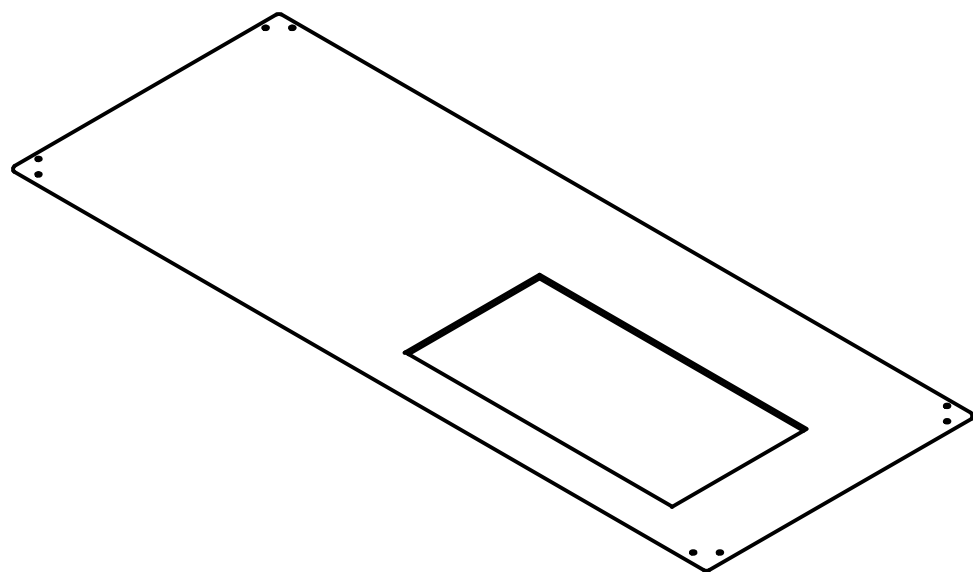
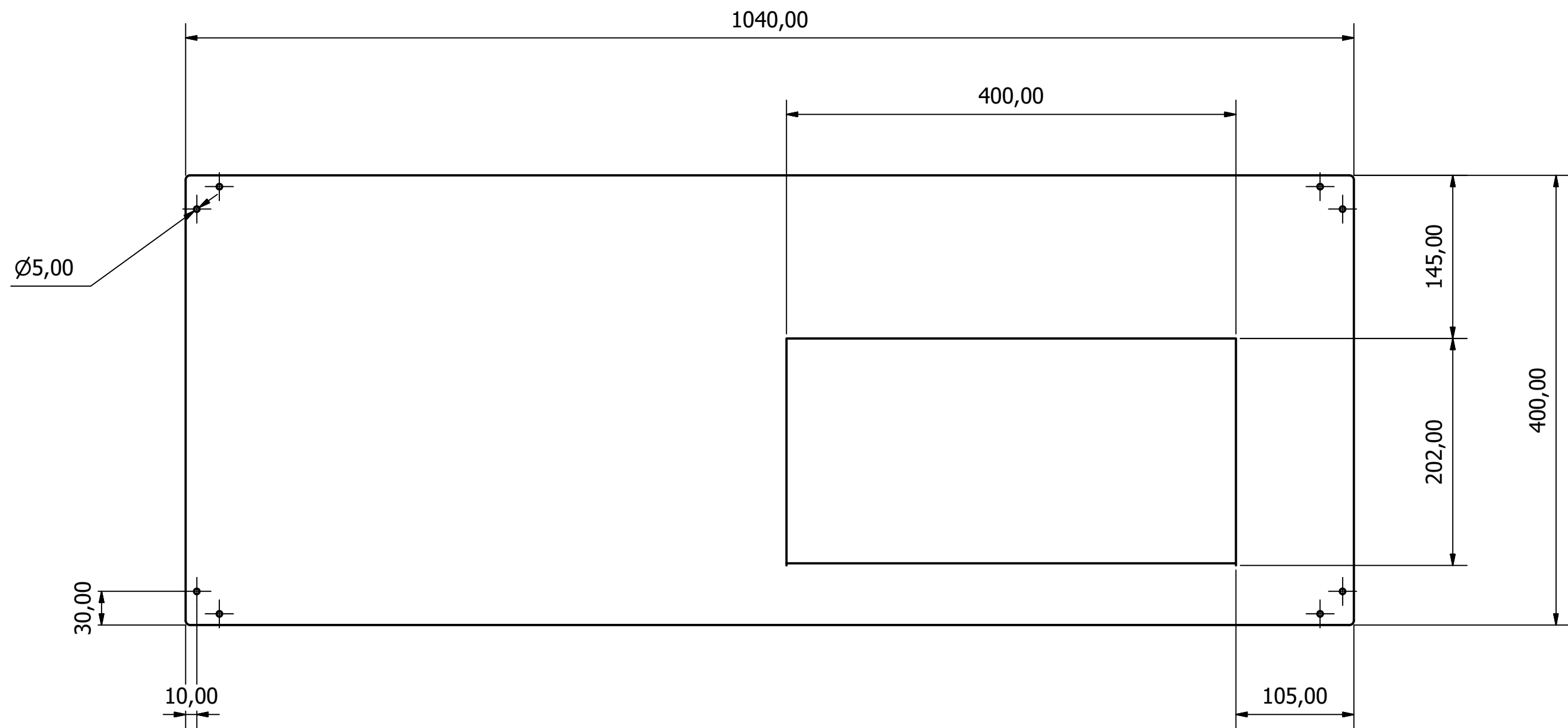


| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|------------|--|--|---------------|-----------------------|--|------------|--------|--|--|--------|--|--|-------|--|--|----------|--|---------------------------------------|
| | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>NOMBRE</td> <td>FIRMA</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>DIBUJ. ogati</td> <td></td> <td>2019-03-13</td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | | | NOMBRE | FIRMA | FECHA | DIBUJ. ogati | | 2019-03-13 | VERIF. | | | APROB. | | | FABR. | | | ACABADO: | | DENOMINACIÓN: Perfil ITEM 2020 |
| NOMBRE | FIRMA | FECHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIBUJ. ogati | | 2019-03-13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VERIF. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOTAS DE FABRICACIÓN: | | | MATERIAL: Aluminio | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOTAS: Se adjunta la lista de longitudes de los cortes para los perfiles, las cantidades por corte y la sección transversal del perfil. | | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.11.XX | | | FORMATO: A4 | | | | | | | | | | | | | | |
| ACOTACIÓN: mm | | | ESCALA: 2 : 1 | | HOJA 51 DE 57 | | | | | | | | | | | | | | | |

| Lista de Partes | | | | | |
|-----------------|-------|------|-----------------|-----------------------|-----|
| Item | Form. | Pág. | Designación | Denominación | Qty |
| 1 | A4 | 51 | PFG 13.01.11.02 | Perfil ITEM 2020x160 | 1 |
| 2 | A4 | 51 | PFG 13.01.11.03 | Perfil ITEM 2020x180 | 2 |
| 3 | A4 | 51 | PFG 13.01.11.04 | Perfil ITEM 2020x200 | 4 |
| 4 | A4 | 51 | PFG 13.01.11.05 | Perfil ITEM 2020x207 | 4 |
| 5 | A4 | 51 | PFG 13.01.11.06 | Perfil ITEM 2020x270 | 2 |
| 6 | A4 | 51 | PFG 13.01.11.07 | Perfil ITEM 2020x360 | 13 |
| 7 | A4 | 51 | PFG 13.01.11.08 | Perfil ITEM 2020x400 | 3 |
| 8 | A4 | 51 | PFG 13.01.11.09 | Perfil ITEM 2020x433 | 2 |
| 9 | A4 | 51 | PFG 13.01.11.10 | Perfil ITEM 2020x886 | 4 |
| 10 | A4 | 51 | PFG 13.01.11.11 | Perfil ITEM 2020x1000 | 11 |



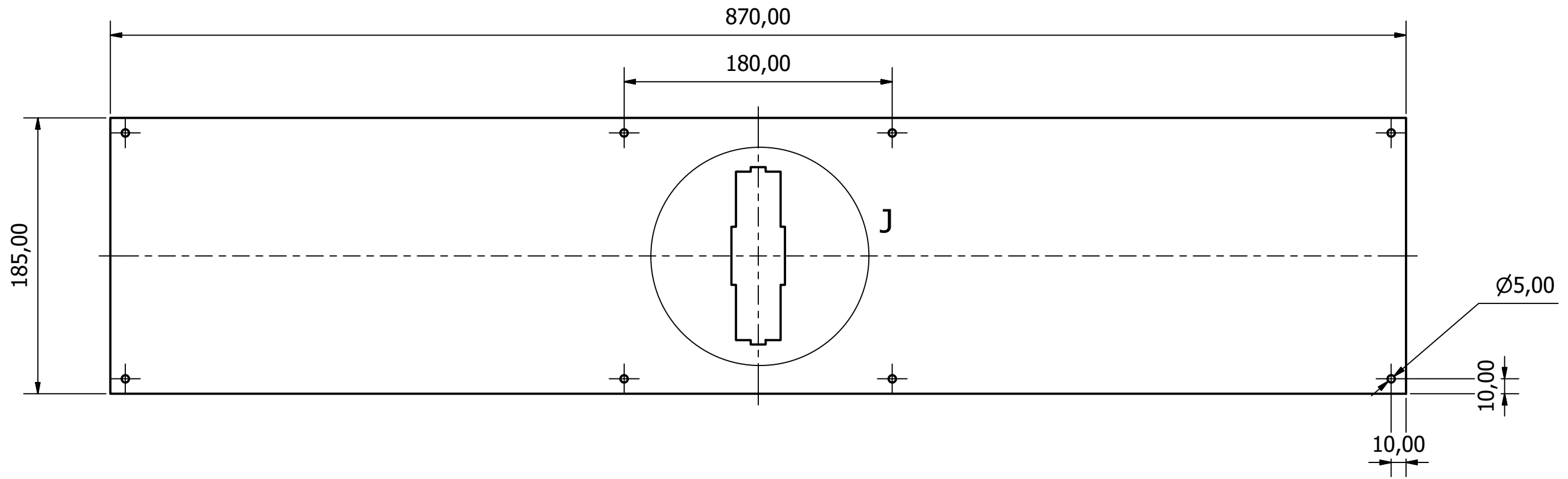
| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|---------------------------------------|--|------------------------------|--|---|--|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | | | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | | | |
| DIBUJ. O. Gatica | | | | FECHA: 2019-03-13 | | ACABADO: | | DENOMINACIÓN: Estructura | |
| VERIF. | | | | APROB. | | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | | |
| FABR. | | | | NOTAS: | | MATERIAL: Aluminio | | | |
| | | | | | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.12.00 | | | |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 6 | |  FORMATO: A2 | |
| | | | | | | HOJA 52 DE 57 | | | |



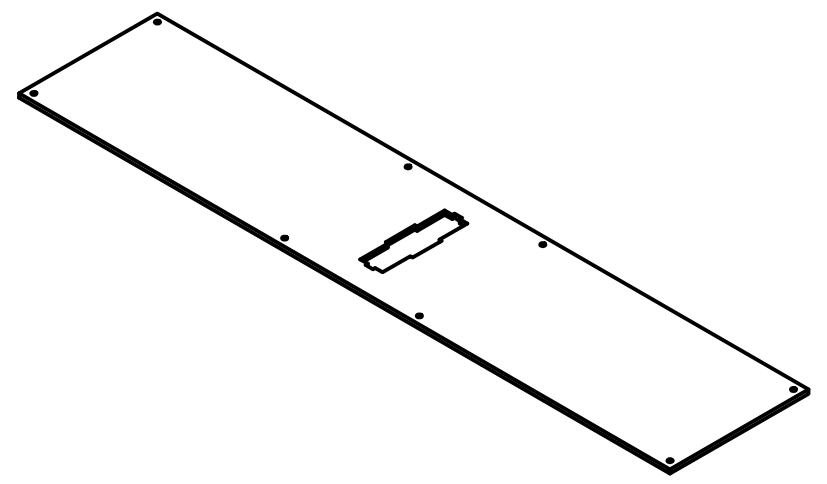
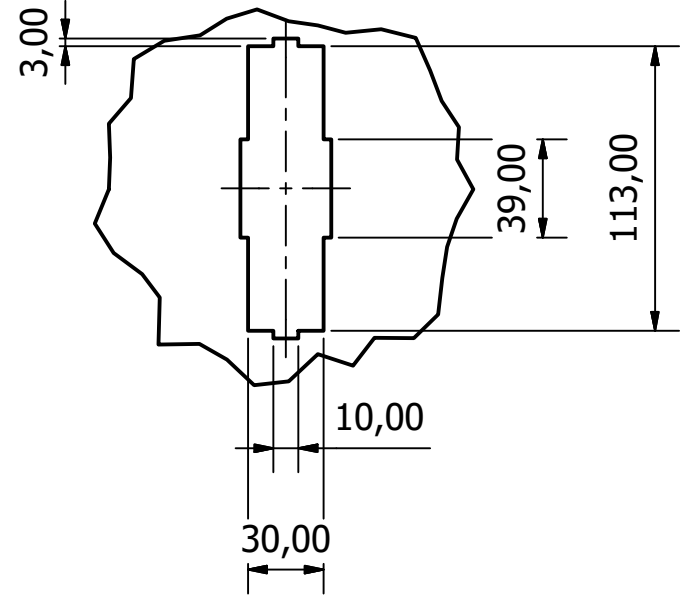
| | | | | | | |
|--|--|--|--|---------------------------------------|--|---------------|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: | | 1 - 1 |
| | | | | Proyecto Final de Graduación | | |
| | | | | DENOMINACIÓN: | | |
| | | | | Superficie superior | | |
| | | | | DESIGNACIÓN: | | FORMATO: |
| | | | | Acrílico 5mm | | A3 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 4 |
| | | | | HOJA 53 DE 57 | | |

| | | | | |
|--------|-----------|-------|------------|-----------------------|
| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: |
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-11 | |
| VERIF. | | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: |
| APROB. | | | | |
| FABR. | | | | |

NOTAS:



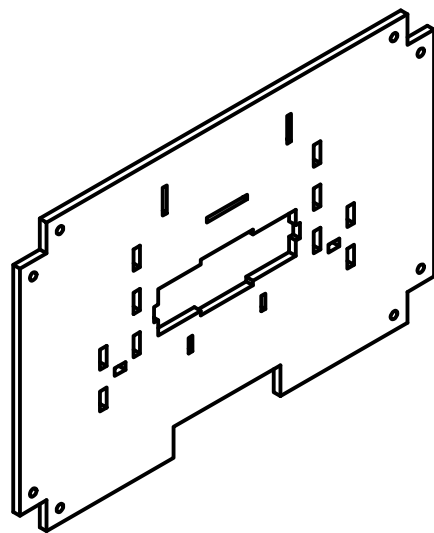
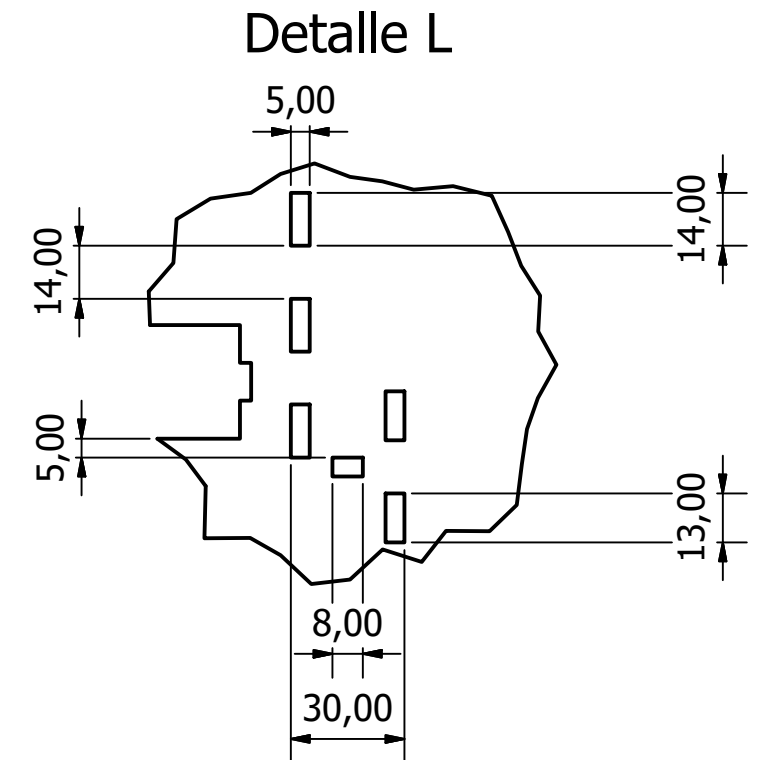
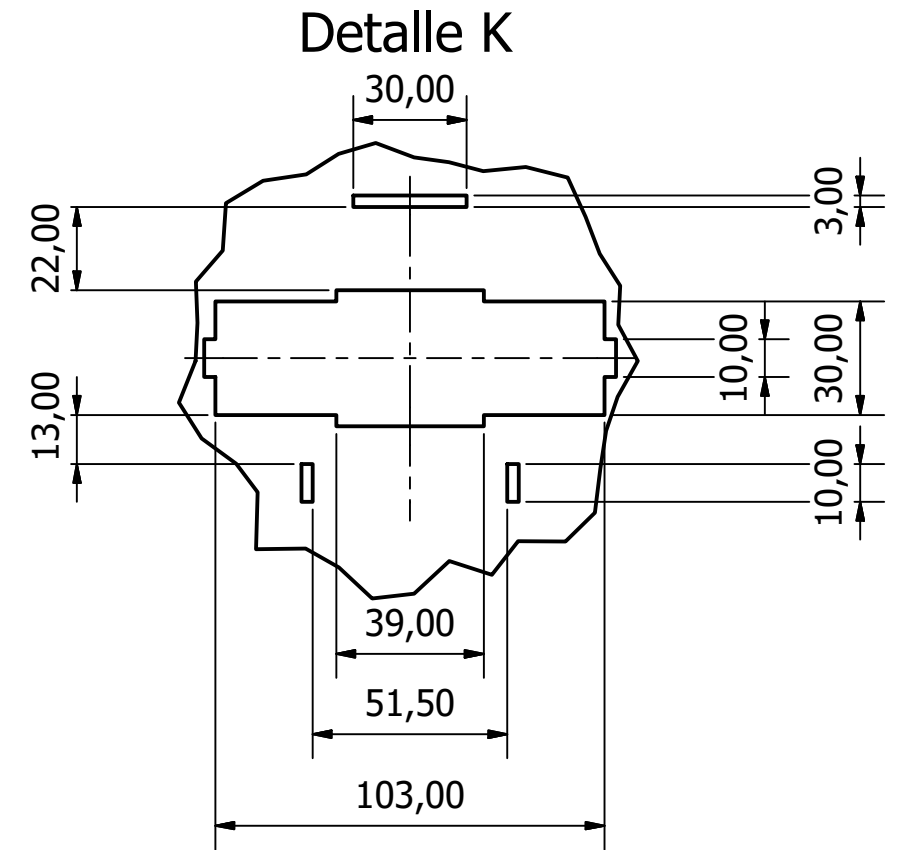
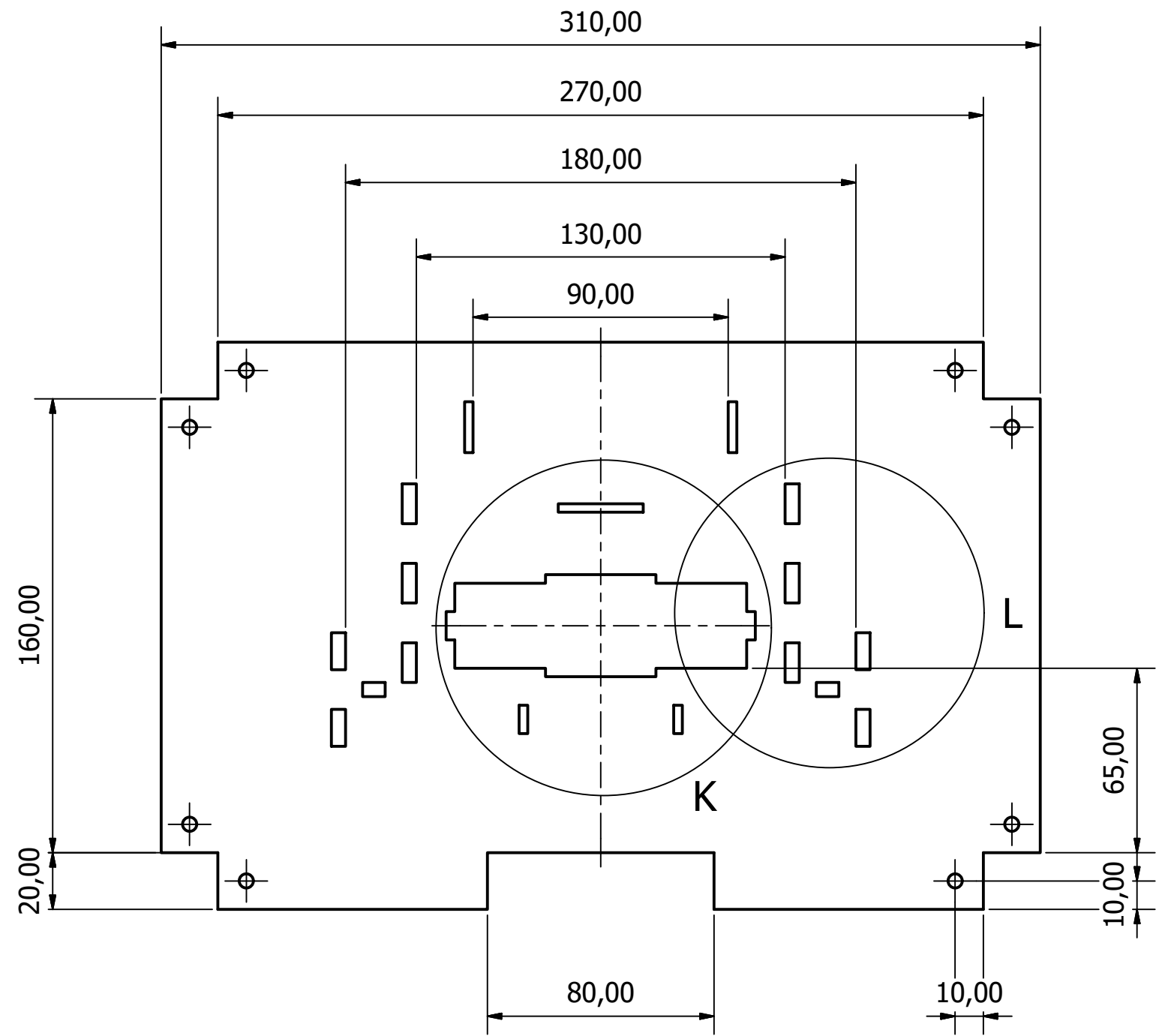
Detalle J



| | | | | | | |
|--|--|--|--|---------------------------------------|-----------------|---|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: |
| | | | | CURSO: | | 1 - 1 |
| | | | | Proyecto Final de Graduación | | |
| | | | | DENOMINACIÓN: | | |
| | | | | Superficie caída | | |
| | | | | MATERIAL: | DESIGNACIÓN: |  A3 |
| | | | | Acrílico 5mm | PFG 13.01.13.02 | |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | ESCALA: 1 : 3 | HOJA 54 DE 57 |

| NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: |
|------------------|-------|------------|-----------------------|
| DIBUJ. O. Gatica | | 2019-03-08 | |
| VERIF. | | | NOTAS DE FABRICACIÓN: |
| APROB. | | | |
| FABR. | | | |

NOTAS:



TEC | Tecnológico de Costa Rica

ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA

REVISIÓN:

CURSO:
Proyecto Final de Graduación

1 - 1

| | NOMBRE | FIRMA | FECHA | ACABADO: |
|--------|-----------|-------|------------|----------|
| DIBUJ. | O. Gatica | | 2019-03-08 | |
| VERIF. | | | | |
| APROB. | | | | |
| FABR. | | | | |

NOTAS DE FABRICACIÓN:

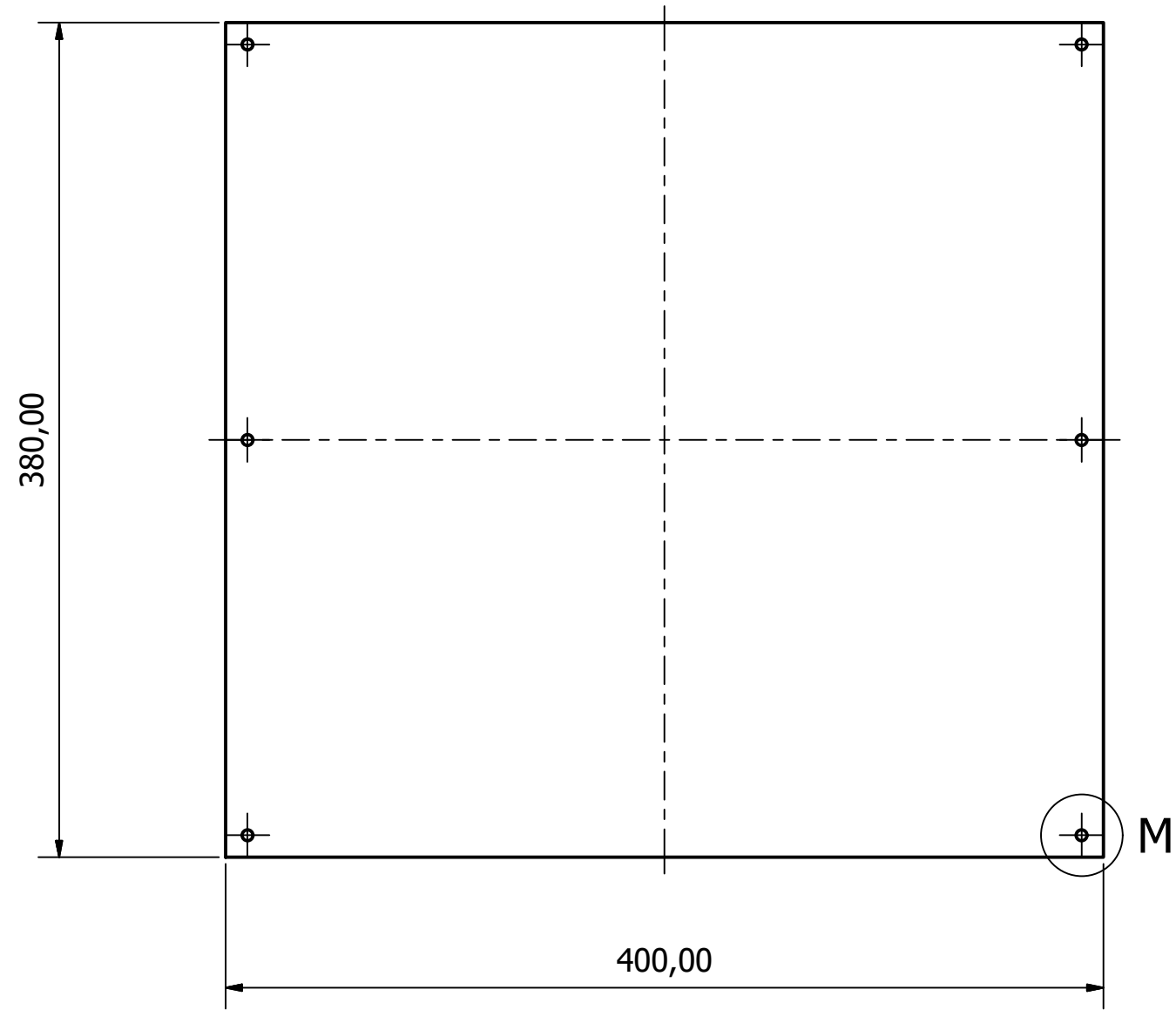
DENOMINACIÓN:
Superficie sellado

NOTAS:

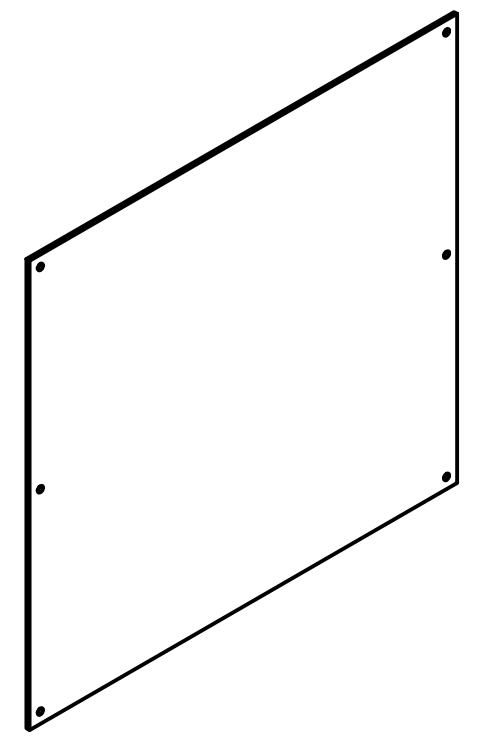
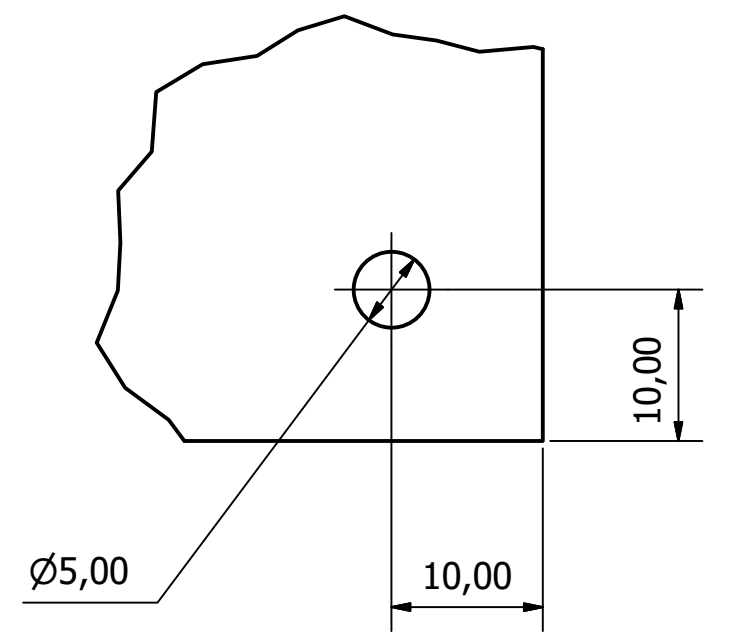
MATERIAL:
Acrílico 5mm
ACOTACIÓN: mm

DESIGNACIÓN:
PFG 13.01.13.03
ESCALA: 1 : 2

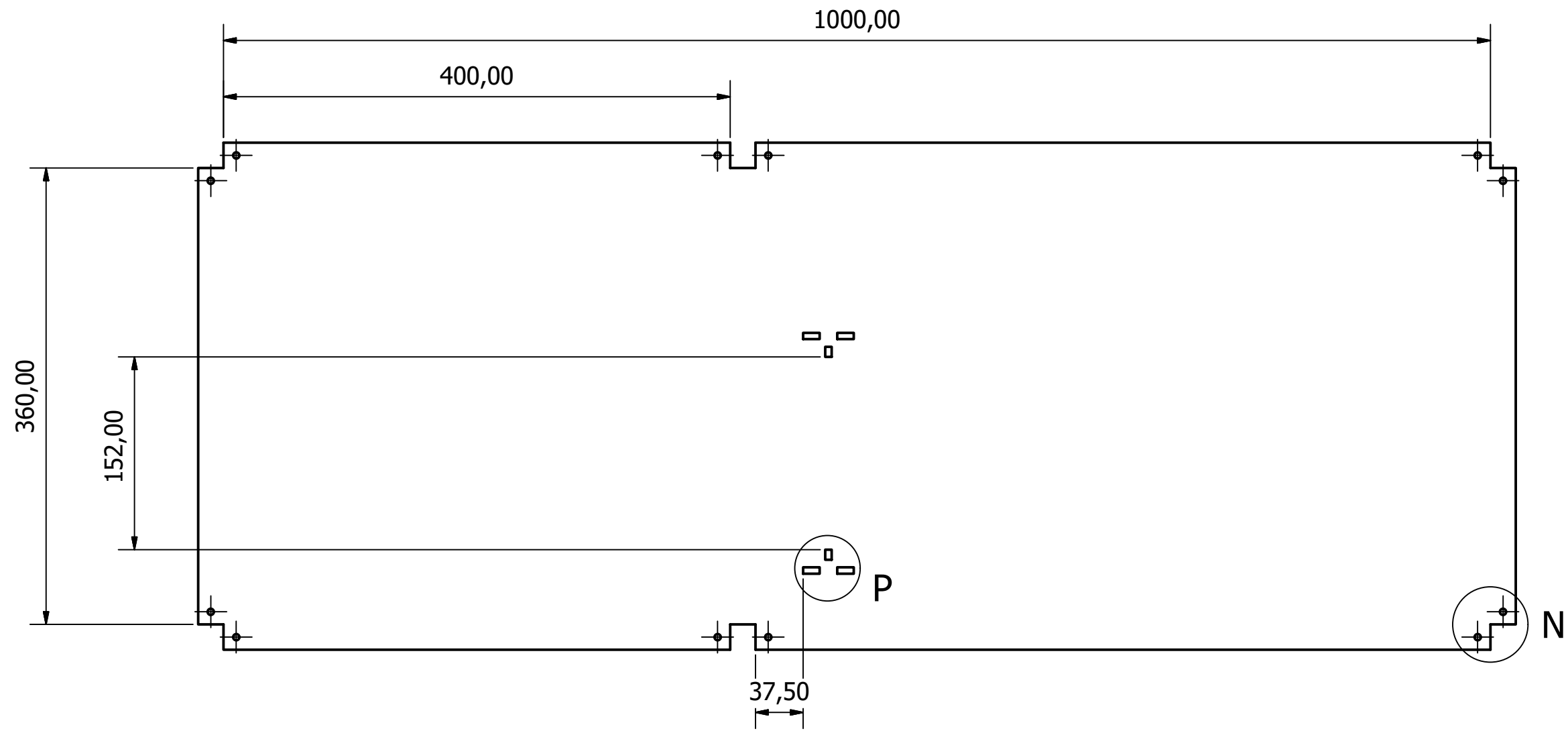
FORMATO:
A3
HOJA 55 DE 57



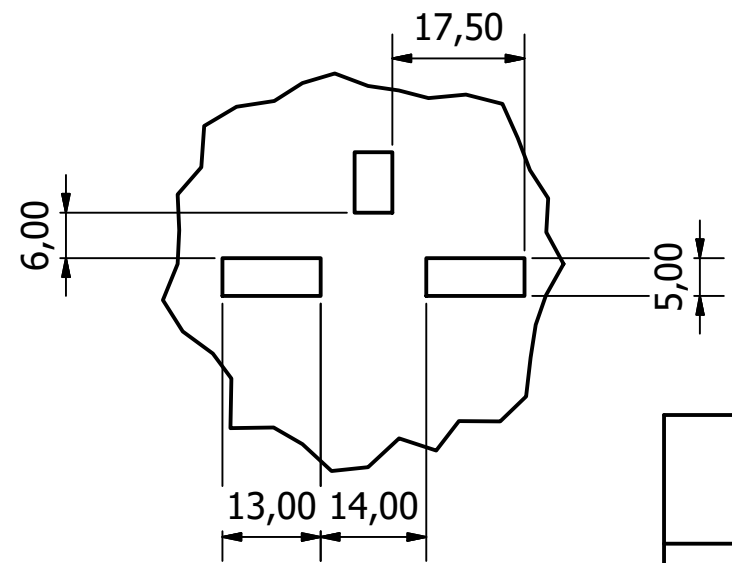
Detalle M (2 : 1)



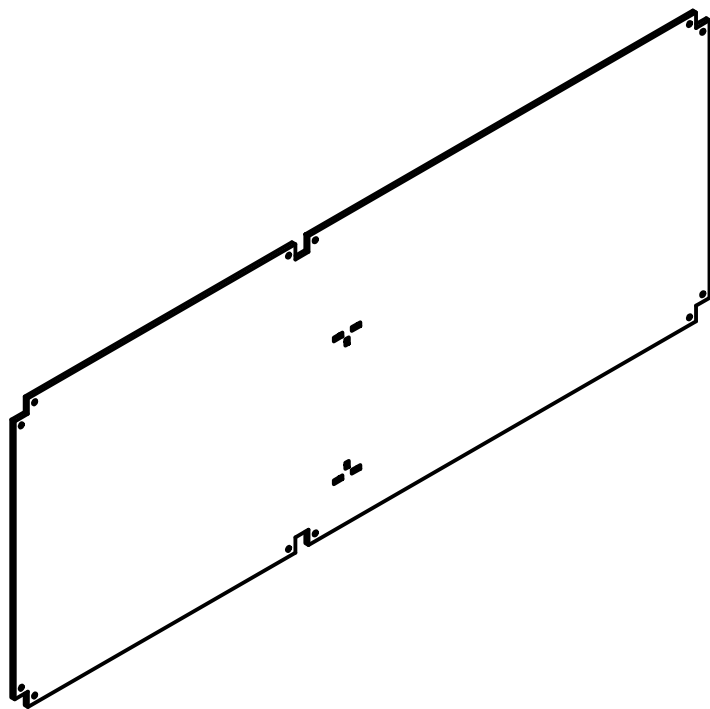
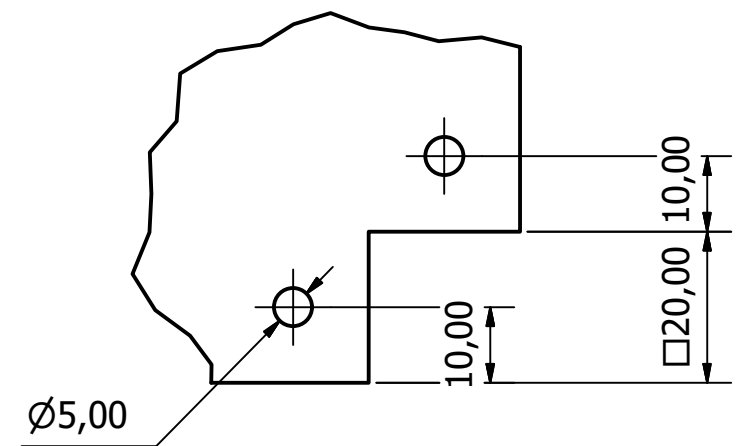
| | | | | | | | |
|--|--|--|--|---|--|---------------------------------|--|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA | | REVISIÓN: | |
| | | | | CURSO: Proyecto Final de Graduación | | 1 - 1 | |
| | | | | DENOMINACIÓN: Superficie inferior vertical | | | |
| | | | | MATERIAL: Acrílico 5mm | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.13.04 |  FORMATO: A3 |
| | | | | ACOTACIÓN: mm | | ESCALA: 1 : 3 | |
| | | | | | | HOJA 56 DE 57 | |



Detalle P (1 : 1)



Detalle N (1 : 1)



| | | | | | | |
|--|--------|---------------------|-----------------------|--|--|---|
|  Tecnológico de Costa Rica | | | | ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA MECATRÓNICA CURSO: Proyecto Final de Graduación | | REVISIÓN: 1 - 1 |
| | | | | DENOMINACIÓN: Superficie inferior horizontal | | |
| NOMBRE O. Gatica | FIRMA | FECHA 2019-03-08 | ACABADO: | MATERIAL: Acrílico 5mm | | DESIGNACIÓN: PFG 13.01.13.05 |
| VERIF. | APROB. | FABR. | NOTAS DE FABRICACIÓN: | | | ESCALA: 1 : 4 |
| NOTAS: | | | ACOTACIÓN: mm | HOJA 57 DE 57 | |  |

10.4. Apéndice D: Planos eléctricos.

Diagrama de alimentación

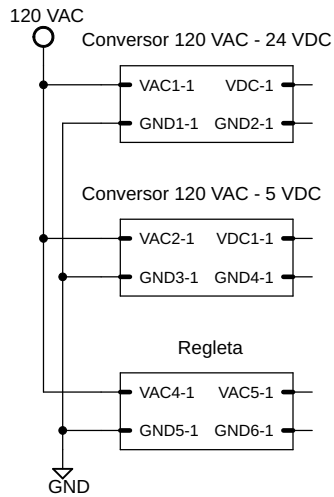


Diagrama de conexión del MCU principal

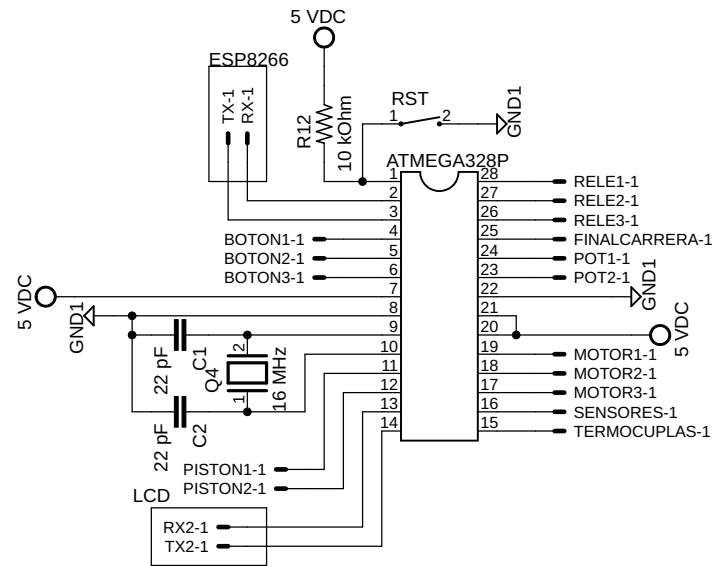
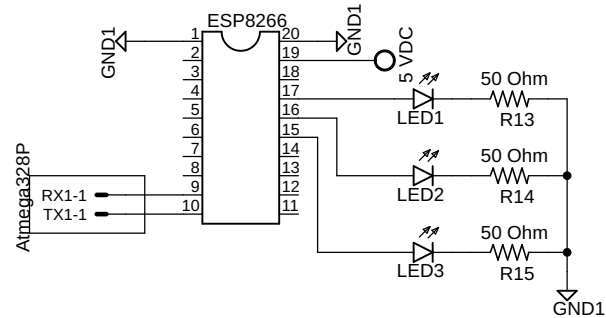


Diagrama de conexión del MCU secundario



NOTAS:

Los pines 9 y 10 del MCU secundario se conectan a los pines 2 y 3 del MCU principal, respectivamente.

Para cada uno de los pines de salida y entrada se incluye un diagrama de conexión en la siguiente hoja.

Las alimentaciones son las mismas para todos los circuitos que las mencionen de acuerdo a su valor.

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica
Proyecto de Graduación

| | |
|--------------------------|--|
| Plano microcontroladores | |
| Orlando A. Gatica Valle | |
| I Semestre 2019 | |
| Sheet: 1/2 | |

Diagrama de conexión de las termocupas

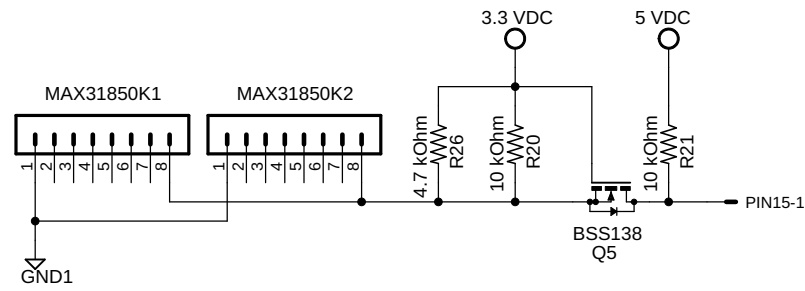


Diagrama de conexión de sensores capacitivos

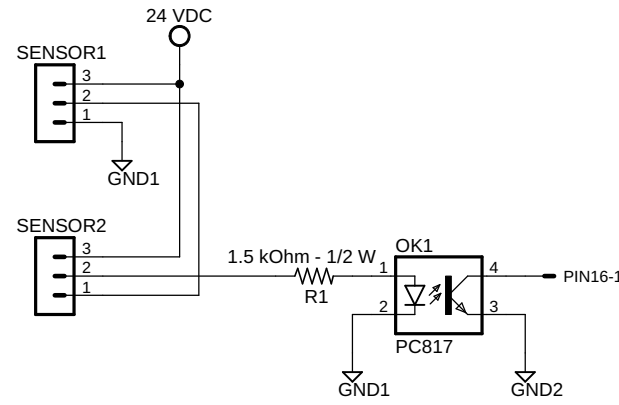


Diagrama de conexión de pistones

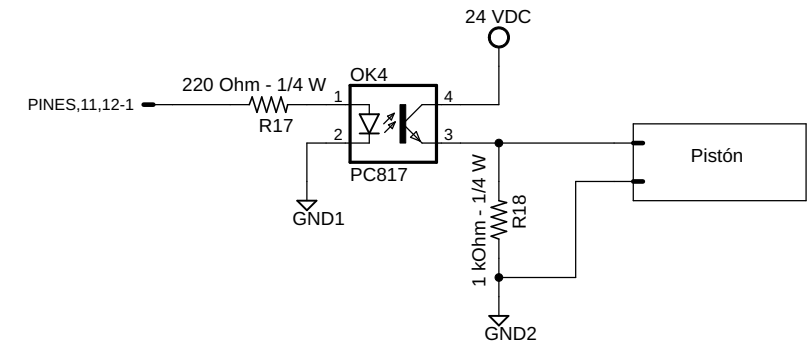


Diagrama de conexión de botones y final de carrera

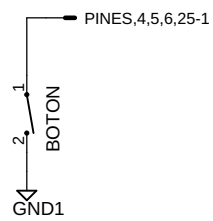


Diagrama de conexión de pantalla LCD

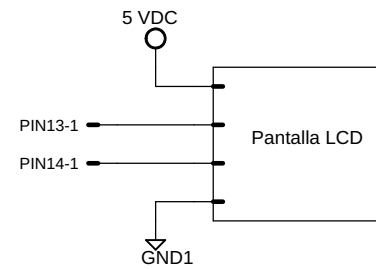


Diagrama de conexión de compresor

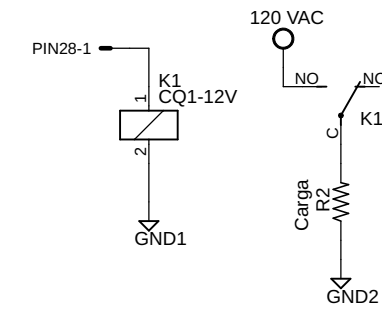


Diagrama de conexión de mordazas

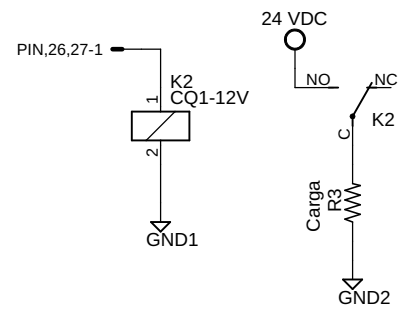


Diagrama de conexión de potenciómetros

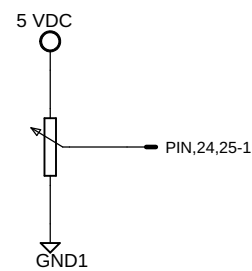
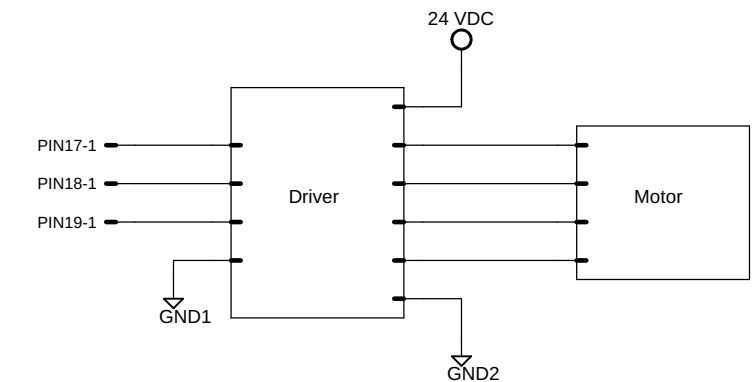


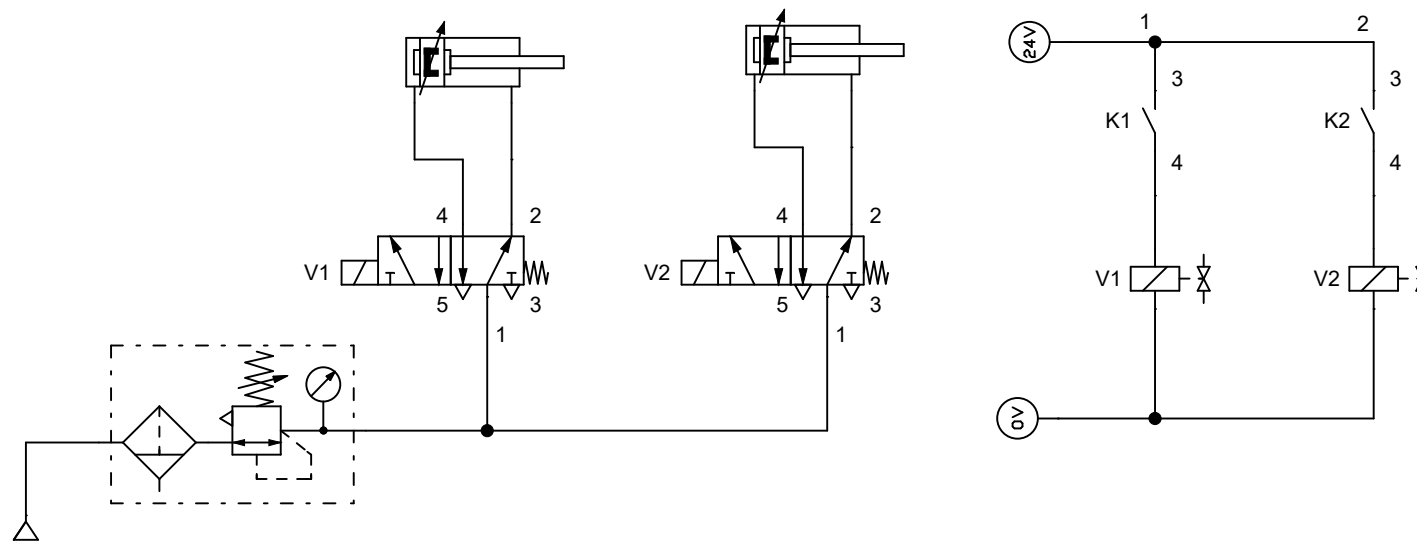
Diagrama de conexión de motor a pasos



NOTAS:
Los pines mencionados se refieren a los del MCU principal.

Cuando se menciona múltiples pines, significa que el circuito en cuestión se repite para cada uno de ellos.

10.5. Apéndice E: Plano neumático.



NOTAS:

Las válvulas electroneumáticas son accionadas por principal.

La entrada K1 corresponde al pin 11 y K2 al pin 12.

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica
Proyecto de Graduación

Plano neumático


Orlando A. Gatica Valle

I Semestre 2019

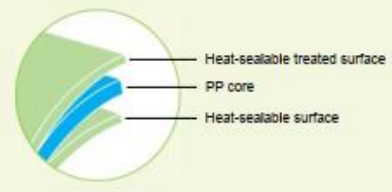
Hoja 1 de 1

Capítulo 11: Anexos

11.1. Anexo A: Ficha técnica del polipropileno biorientado.



Bioriented Polypropylene Film, transparent, heat-sealable on both sides, with sealing temperature starting at 105°C on the untreated side and treatment on the external side for printing and/or lamination.



Main Characteristics

- Heat-sealable on both sides and from 105°C on the untreated side.
- Great hermetic seals.
- Great optical properties.
- Good machinability.
- Surface treatment on outside for printing and/or lamination.

Applications

- Heat-sealable packages for snacks, cookies, candies, pastas, ice cream, chocolates, cereals, cleaning products and pet food.

Typical Values

| Properties | Procedure | Unit | TSE_ | | | | | | | | | |
|---|------------------------------------|-----------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | | TSE15 | TSE17 | TSE20 | TSE22 | TSE25 | TSE30 | TSE35 | TSE40 | TSE50 | |
| Main Properties | | | | | | | | | | | | |
| THICKNESS | DIN 53370 | µm | 15 | 17 | 20 | 22 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | |
| UNIT WEIGHT | Vitopel | g/m ² | 13,7 | 15,5 | 18,2 | 20,0 | 22,8 | 27,3 | 31,9 | 36,4 | 45,5 | |
| YIELD | | m ² /kg | 73,3 | 64,6 | 54,9 | 50,0 | 44,0 | 36,6 | 31,4 | 27,5 | 22,0 | |
| HAZE | ASTM D 1003 | % | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,2 | 2,2 | 2,5 | 3 | 3 | |
| GLOSS 45° T | ASTM D 2457 | g.u. | 88 | | | | | | | | | |
| HEAT-SEAL STRENGTH | Vitopel | N/15mm | 2,7 | 2,9 | 3,0 | 3,4 | 3,6 | 3,7 | 4,0 | 4,9 | 5,0 | |
| SURFACE TENSION | ASTM D 2578 | Dynes/cm | ≥ 38 | | | | | | | | | |
| COEFFICIENT OF FRICTION DYNAMIC - Film/Film - NT/NT | ASTM D 1894 | - | 0,25 | | | | | | | | | |
| Descriptive Properties | | | | | | | | | | | | |
| HEAT-SEAL RANGE | Vitopel | °C | 105 - 145 | | | | | | | | | |
| TENSILE STRENGTH | ASTM D 882 | N/mm ² MD | 145 | | | | | | | | | |
| | | TD | 270 | | | | | | | | | |
| ELONGATION AT BREAK | ASTM D 882 | % MD | 195 | | | | | | | | | |
| | | TD | 55 | | | | | | | | | |
| DIMENSIONAL STABILITY | Vitopel 120°C (248°F), 5min | % MD | 5,0 | | | | | | | | | |
| | | TD | 3,0 | | | | | | | | | |
| WATER VAPOR TRANSMISSION RATE | ASTM F 1249 38°C (100°F), 90%RH | g/m ² /24h | 8,7 | 7,6 | 6,5 | 5,9 | 5,2 | 4,3 | 3,7 | 3,3 | 2,6 | |

Fuente: (Vitopel, 2016).

11.2. Anexo B: Propiedades mecánicas de materiales.

| Number | Material | Condition | Strength (Tensile) | | | | | Strain Strength, Exponent m | Fracture Strain ϵ_f |
|--------|-----------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------|------------------------------|
| | | | Yield S_y , MPa (kpsi) | Ultimate S_u , MPa (kpsi) | Fracture, σ_f , MPa (kpsi) | Coefficient σ_0 , MPa (kpsi) | | | |
| 1018 | Steel | Annealed | 220 (32.0) | 341 (49.5) | 628 (91.1) [†] | 620 (90.0) | 0.25 | 1.05 | |
| 1144 | Steel | Annealed | 358 (52.0) | 646 (93.7) | 898 (130) [†] | 992 (144) | 0.14 | 0.49 | |
| 1212 | Steel | HR | 193 (28.0) | 424 (61.5) | 729 (106) [†] | 758 (110) | 0.24 | 0.85 | |
| 1045 | Steel | Q&T 600°F | 1520 (220) | 1580 (230) | 2380 (345) | 1880 (273) [†] | 0.041 | 0.81 | |
| 4142 | Steel | Q&T 600°F | 1720 (250) | 1930 (210) | 2340 (340) | 1760 (255) [†] | 0.048 | 0.43 | |
| 303 | Stainless steel | Annealed | 241 (35.0) | 601 (87.3) | 1520 (221) [†] | 1410 (205) | 0.51 | 1.16 | |
| 304 | Stainless steel | Annealed | 276 (40.0) | 568 (82.4) | 1600 (233) [†] | 1270 (185) | 0.45 | 1.67 | |
| 2011 | Aluminum alloy | T6 | 169 (24.5) | 324 (47.0) | 325 (47.2) [†] | 620 (90) | 0.28 | 0.10 | |
| 2024 | Aluminum alloy | T4 | 296 (43.0) | 446 (64.8) | 533 (77.3) [†] | 689 (100) | 0.15 | 0.18 | |
| 7075 | Aluminum alloy | T6 | 542 (78.6) | 593 (86.0) | 706 (102) [†] | 882 (128) | 0.13 | 0.18 | |

| Aluminum Association Number | Temper | Yield, S_y , MPa (kpsi) | Strength Tensile, S_u , MPa (kpsi) | Fatigue, S_f , MPa (kpsi) | Elongation in 2 in, % | Brinell Hardness H_B |
|-----------------------------|--------|---------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Wrought: | | | | | | |
| 2017 | O | 70 (10) | 179 (26) | 90 (13) | 22 | 45 |
| 2024 | O | 76 (11) | 186 (27) | 90 (13) | 22 | 47 |
| | T3 | 345 (50) | 482 (70) | 138 (20) | 16 | 120 |
| 3003 | H12 | 117 (17) | 131 (19) | 55 (8) | 20 | 35 |
| | H16 | 165 (24) | 179 (26) | 65 (9.5) | 14 | 47 |
| 3004 | H34 | 186 (27) | 234 (34) | 103 (15) | 12 | 63 |
| | H38 | 234 (34) | 276 (40) | 110 (16) | 6 | 77 |
| 5052 | H32 | 186 (27) | 234 (34) | 117 (17) | 18 | 62 |
| | H36 | 234 (34) | 269 (39) | 124 (18) | 10 | 74 |
| Cast: | | | | | | |
| 319.0* | T6 | 165 (24) | 248 (36) | 69 (10) | 2.0 | 80 |
| 333.0 [†] | T5 | 172 (25) | 234 (34) | 83 (12) | 1.0 | 100 |
| | T6 | 207 (30) | 289 (42) | 103 (15) | 1.5 | 105 |
| 335.0* | T6 | 172 (25) | 241 (35) | 62 (9) | 3.0 | 80 |
| | T7 | 248 (36) | 262 (38) | 62 (9) | 0.5 | 85 |

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2011).

11.3. Anexo C: Propiedades térmicas de materiales.

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos

| Composición | Punto de fusión, K | Propiedades a 300 K | | | | Propiedades a varias temperaturas (K), $k(\text{W/m} \cdot \text{K})/c_p(\text{J/kg} \cdot \text{K})$ | | | | | |
|--|--------------------|-----------------------------|-------------------|----------------|---|--|------|------|-------|-------|-------|
| | | ρ kg/m ³ | c_p J/kg · K | k W/m · K | $\alpha \times 10^6$ m ² /s | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1 000 |
| Aluminio: | | | | | | | | | | | |
| Puro | 933 | 2 702 | 903 | 237 | 97.1 | 302 | 237 | 240 | 231 | 218 | |
| Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn) | 775 | 2 770 | 875 | 177 | 73.0 | 482 | 798 | 949 | 1 033 | 1 146 | |
| Aleación 195, fundido (4.5% Cu) | | 2 790 | 883 | 168 | 68.2 | 473 | 787 | 925 | 1 042 | | |
| Cobre: | | | | | | | | | | | |
| Puro | 1 358 | 8 933 | 385 | 401 | 117 | 482 | 413 | 393 | 379 | 366 | 352 |
| Bronce comercial (90% Cu, 10% Al) | 1 293 | 8 800 | 420 | 52 | 14 | 252 | 356 | 397 | 417 | 433 | 451 |
| Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn) | 1 104 | 8 780 | 355 | 54 | 17 | | 42 | 52 | 59 | | |
| Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn) | 1 188 | 8 530 | 380 | 110 | 33.9 | 75 | 95 | 137 | 149 | | |
| Constantán (55% Cu, 45% Ni) | 1 493 | 8 920 | 384 | 23 | 6.71 | 17 | 19 | 360 | 395 | 425 | |
| Aceros inoxidables: | | | | | | | | | | | |
| AISI 302 | | 8 055 | 480 | 15.1 | 3.91 | | | 17.3 | 20.0 | 22.8 | 25.4 |
| AISI 304 | 1 670 | 7 900 | 477 | 14.9 | 3.95 | 9.2 | 12.6 | 512 | 559 | 585 | 606 |
| AISI 316 | | 8 238 | 468 | 13.4 | 3.48 | 272 | 402 | 16.6 | 19.8 | 22.6 | 25.4 |
| AISI 347 | | 7 978 | 480 | 14.2 | 3.71 | | | 515 | 557 | 582 | 611 |
| | | | | | | | | 15.2 | 18.3 | 21.3 | 24.2 |
| | | | | | | | | 504 | 550 | 576 | 602 |
| | | | | | | | | 15.8 | 18.9 | 21.9 | 24.7 |
| | | | | | | | | 513 | 559 | 585 | 606 |

TABLA 1-5

Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

| Tipo de convección | $h, \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^*$ |
|--------------------------------|--|
| Convección libre de gases | 2–25 |
| Convección libre de líquidos | 10–1 000 |
| Convección forzada de gases | 25–250 |
| Convección forzada de líquidos | 50–20 000 |
| Ebullición y condensación | 2 500–100 000 |

Fuente: (Cengel, 2007).