



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA  
INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN**

**MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DE PROCESOS**

**TEMA:**

---

**CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA A ESCALA PARA LA  
FABRICACIÓN DE PRODUCTOS CON PLÁSTICO RECICLADO**

---

Trabajo previo a la obtención del título de Magister en Diseño Industrial y de  
Procesos

**Autor**

Ing. Frías Paredes Diego Miguel

**Tutor**

Ing. Ayala Chauvin Manuel Ignacio, PhD.

AMBATO – ECUADOR  
2023

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,  
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

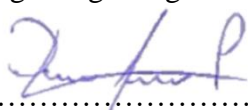
Yo, Diego Miguel Frías Paredes, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA A ESCALA PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS CON PLÁSTICO RECICLADO”, como requisito para optar al grado de Magister en Diseño Industrial y de Procesos y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato, a los 12 días del mes de diciembre de 2023, firmo conforme:

Autor: Ing. Diego Miguel Frías Paredes

Firma: 

Número de Cédula: 1804106803

Dirección: Tungurahua, Ambato, La Merced, Ingahurco.

Correo Electrónico: diegofriasp@gmail.com

Teléfono:0984080230

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA A ESCALA PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS CON PLÁSTICO RECICLADO” presentado por Diego Miguel Frías Paredes, para optar por el Título de Magister en Diseño Industrial y de Procesos,

### **CERTIFICO**

Que dicho Trabajo de Titulación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal revisor que se designe.

Ambato, 9 de diciembre de 2023

.....

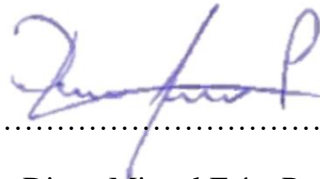
Ing. Manuel Ignacio Ayala Chauvin, PhD.

**DIRECTOR**

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Magister en Diseño Industrial y de Procesos, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Ambato, 12 de diciembre de 2023



.....  
Ing. Diego Miguel Frías Paredes  
1804106803

## **APROBACIÓN DE TRIBUNAL REVISOR**

El Trabajo de Titulación ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: **CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA A ESCALA PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS CON PLÁSTICO RECICLADO**, previo a la obtención del Título de Magister en Diseño Industrial y de Procesos, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo de Titulación.

Ambato, 12 de diciembre de 2023

.....

Ing. Fernando David Saá Tapia, Mg.  
PRESIDENTE

.....

Ing. Jorge Armando Almeida Domínguez, Mg.  
EXAMINADOR

**DEDICATORIA**

A mi mamá y a mi hermana.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia y amigos por el apoyo, a la comunidad universitaria por sus enseñanzas.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA .....	i
AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN DE TRIBUNAL REVISOR .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xii
ÍNDICE DE IMÁGENES .....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
CAPÍTULO I.....	1
Introducción.....	1
Antecedentes.....	3
Justificación.....	6
Objetivo general .....	7
Objetivos Específicos .....	7
CAPÍTULO II .....	8
INGENIERÍA DEL PROYECTO .....	8
Diagnóstico de la situación actual: .....	8
Casa de la calidad QFD .....	12
Área de estudio: .....	15
Modelo operativo:.....	15



Desarrollo del modelo operativo: .....	17
CAPÍTULO III.....	19
PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS .....	19
Presentación de la propuesta:.....	19
Resultados esperados:.....	34
Cronograma de actividades.....	35
Análisis de costos.....	35
Componente Ambiental:.....	36
CAPÍTULO IV.....	38
EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA Y RESULTADOS OBTENIDOS .....	38
Proceso de ejecución.....	38
Resultados obtenidos .....	45
Evaluación de la ejecución .....	54
CAPÍTULO V .....	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	56
Conclusiones:.....	56
Recomendaciones: .....	57
LITERATURA CITADA: .....	59
ANEXOS.....	62
Anexo 1: Casa de la calidad(QFD) de la máquina recicladora .....	62
Anexo 2: Configuración del controlador de temperatura .....	63
Anexo 3: Temperatura de fundición.....	64
Anexo 4: Clasificación de los plásticos.....	65
Anexo 5: Especificaciones de relé de estado sólido SSR-40DA.....	66
Anexo 6: Especificaciones de los cables AWG .....	67
Anexo 7: Especificaciones del controlador de temperatura .....	68

Anexo 8: Vistas de la máquina en su diseño final.....	69
Anexo 9: Manual de uso.....	70
Anexo 10: Planos.....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos de la empresa RECIPLAS .....	9
Tabla 2 Requerimientos del QFD .....	13
Tabla 3 Resultados del QFD .....	13
Tabla 4 Área de estudio del proyecto.....	15
Tabla 5 Especificaciones del tornillo sinfín .....	22
Tabla 6 Criterios ponderados del material para el cañón.....	24
Tabla 7 Propiedades del acero SAE 1018.....	25
Tabla 8 Propiedades del acero galvanizado .....	27
Tabla 9 Criterios ponderados de elemento calefactor .....	30
Tabla 10 Criterios ponderados de equipo para control de temperatura .....	32
Tabla 11 Comparación de precios.....	46
Tabla 12 Origen de los elementos.....	49
Tabla 13 Características del proyecto .....	51

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Ejemplo de costal.....	9
Gráfico 2 Proceso de reciclado del PP.....	11
Gráfico 3 Casa de la calidad.....	12
Gráfico 4 Comparación con otros productos .....	14
Gráfico 5 Modelo operativo.....	16
Gráfico 6 Propuesta de diseño 1.0.....	21
Gráfico 7 Propuesta de diseño 2.0.....	21
Gráfico 8 Tornillo sinfín .....	22
Gráfico 9 Cañón de la extrusora.....	24
Gráfico 10 Estructura de la máquina.....	26
Gráfico 11 Diseño electrónico .....	33
Gráfico 12 Control PID.....	33
Gráfico 13 Cronograma de actividades.....	35
Gráfico 14 Gastos del proyecto.....	36
Gráfico 15 Productos posibles de obtener.....	37
Gráfico 16 Manivela .....	41
Gráfico 17 Fuerza necesaria para funcionamiento.....	45
Gráfico 18 Análisis estático de la estructura.....	48
Gráfico 19 Interior de la máquina sin tapas y electrónica.....	50
Gráfico 20 Operación del proyecto .....	55

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Transformación del PP .....	10
Imagen 2 Bushing de 1 a 1/2 plg.....	26
Imagen 3 Tubo cuadrado para la estructura .....	27
Imagen 4 Chumacera.....	29
Imagen 5 Fuente de calor .....	30
Imagen 6 Ejemplos de productos con plástico reciclado con su molde.....	35
Imagen 7 Elaboración del cañón .....	39
Imagen 8 Boquilla de la extrusora .....	39
Imagen 9 Estructura del proyecto .....	40
Imagen 10 Corte de plasma para tol galvanizado .....	40
Imagen 11 Molde para madera plástica .....	41
Imagen 12 Moldes para piezas.....	42
Imagen 13 Molde 1 .....	42
Imagen 14 Molde 2 .....	43
Imagen 15 Resistencias eléctricas.....	43
Imagen 16 Sistema de control de temperatura .....	44
Imagen 17 Transporte de la máquina .....	47
Imagen 18 Prototipo 1.0.....	50
Imagen 19 Prototipo 2.0 y final.....	51
Imagen 20 Filamento obtenido.....	52
Imagen 21 Pruebas con molde para madera plástica .....	53
Imagen 22 Pruebas con Molde 1 .....	53
Imagen 23 Pruebas con Molde 2.....	54

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN**  
**MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DE PROCESOS**

**TEMA: CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA A ESCALA PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS CON PLÁSTICO RECICLADO**

**AUTOR:** Ing. Diego Miguel Frías Paredes

**TUTOR:** Ing. Manuel Ignacio Ayala Chauvin, PhD.

**RESUMEN EJECUTIVO**

En la actualidad el problema causado por la contaminación generada por los desechos poliméricos se ha convertido en un desafío ambiental a nivel mundial. Esto se debe a la producción de plásticos de un solo uso y a la mala gestión de desechos que provoca la contaminación de ríos, océanos, bosques y ciudades lo cual causa un impacto negativo en el medio ambiente. El objetivo fue construir una máquina a escala para la fabricación de productos con plástico reciclado. Para lograrlo, se diseñó una máquina que derrite, extruye y luego inyecta el plástico en un molde para convertirlo en un nuevo producto. Las etapas que se aplicaron para lograr la construcción de la máquina fueron: (1) diseño, (2) simulación, (3) elaboración, (4) pruebas y (5) la evaluación del funcionamiento. Se utilizaron materiales y tecnología del contexto de Ecuador para la materialización del equipo, con lo cual se logró una elevada disponibilidad de los elementos para su fácil mantenimiento. El resultado fue un prototipo de máquina a escala de fácil uso y bajo precio para elaborar productos de plástico reciclado. Además, se pueden intercambiar sus moldes según el producto deseado, por ejemplo, para elaborar perfiles de madera plástica, objetos decorativos o funcionales según el diseño del molde y el tipo de plástico. En conclusión, la construcción de la máquina a escala demuestra que la fabricación de productos con plástico reciclado es una solución factible para poder reducir la contaminación generada por desperdicios plásticos.

**DESCRIPTORES:** Desechos poliméricos, contaminación, diseño, inyectora de plástico, máquina.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN**  
**MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DE PROCESOS**

**TEMA: CONSTRUCTION OF A SCALE MACHINE FOR THE  
MANUFACTURE OF PRODUCTS FROM RECYCLED PLASTIC**

**AUTOR:** Ing. Diego Miguel Frías Paredes

**TUTOR:** Ing. Manuel Ignacio Ayala  
Chauvin, PhD.

**ABSTRACT**

Nowadays, the problem caused by pollution generated by polymeric waste has become a global environmental challenge. This is due to the production of single-use plastics and poor waste management that causes the pollution of rivers, oceans, forests, and cities which causes a negative impact on the environment. The objective was to build a scale machine for the manufacture of products with recycled plastic. To achieve this, a machine was designed to melt, extrude, and then inject the plastic into a mold to turn it into a new product. The stages applied for the construction of the machine were: (1) design, (2) simulation, (3) elaboration, (4) testing, and (5) evaluation of the operation. Materials and technology from the Ecuadorian context were used for the materialization of the equipment, thus achieving a high availability of the elements for easy maintenance. The result was an easy-to-use, low-cost, scaled prototype machine for the production of recycled plastic products. In addition, its molds can be interchanged according to the desired product, for example, to produce plastic wood profiles, and decorative or functional objects depending on the mold design and the type of plastic. In conclusion, the construction of the scale machine demonstrates that the manufacture of products with recycled plastic is a feasible solution to reduce the pollution generated by plastic waste.

**KEYWORDS:** Design, machine, plastic injection molding, pollution, polymeric waste.

## **CAPÍTULO I**

### **Introducción**

En la vida cotidiana de las personas así como en todos los tipos de industrias, el plástico ha llegado a convertirse en uno de los materiales más utilizados debido a su versatilidad, durabilidad y costo, ese uso incluso ha llegado a ser excesivo provocando un impacto negativo en el medio ambiente y creando una crisis global que cada día se agrava y de mayor forma en países subdesarrollados en los cuales el consumo a nivel mundial es menor pero el impacto ambiental es mayor (Mena 2021).

El plástico dependiendo su composición tarda desde varias décadas hasta mil años en descomponerse totalmente y debido al mal manejo de los desechos que ha provocado la acumulación de grandes cantidades en los rellenos sanitarios, ríos, vertederos, océanos, montañas y en todos los lugares, causando daños irreversibles a la fauna y flora (Kale et al. 2015).

Todos los problemas ambientales que provocan los desechos plásticos han llevado a unificar esfuerzos entre la academia, gobiernos, organismos internacionales y la empresa privada; por lo que el reciclaje de plástico se está convirtiendo en una solución importante para reducir lo más que se pueda la cantidad de estos desechos y minimizar el impacto ambiental. Uno de los esfuerzos a nivel mundial es por ejemplo incluir dentro de los ODS de la ONU algunos objetivos que tienen como fin contrarrestar los efectos negativos de la contaminación (CEPAL 2017).

El reciclaje del plástico tiene varias etapas como son recolectar, clasificar, limpiar y procesar los materiales para que puedan ser reutilizados y convertidos en nuevos



productos (Hopewell, Dvorak, y Kosior 2009). La falta de educación sobre el reciclaje junto con una casi inexistente infraestructura desde algo básico como tener en las ciudades contenedores exclusivamente para plásticos hace que el proceso de reciclaje vaya de manera lenta; esos son los principales desafíos que existen para implementar una solución efectiva (Conke 2018).

Frente a los desafíos existentes para contrarrestar la problemática producida por la contaminación plástica es importante la educación de reciclaje que se está impartiendo en la sociedad y eso ha provocado que el reciclaje de plástico continúe creciendo en todo el mundo, impulsando a los estados, empresas privadas y comunidades en general a tomar medidas en este tema.

Los esfuerzos para fomentar la reducción de plásticos de un solo uso y promover el reciclaje responsable son cruciales para proteger nuestro planeta y garantizar un futuro digno para las siguientes generaciones.

Aparte de la acumulación de desechos plásticos en rellenos sanitarios, ríos, vertederos, océanos y montañas; la contaminación plástica también provoca un efecto negativo en la calidad de vida de los seres vivos, afectando al agua, el aire y el suelo. Existen estudios que indican que esta contaminación está perjudicando a la salud humana; esto debido a los microplásticos, que son partículas diminutas de plástico imperceptibles para el ser humano que se encuentran en los océanos y ríos, estos elementos pueden terminar en los productos comestibles como todos aquellos alimentos del mar, lo que puede tener efectos nocivos para la salud (De-la-Torre 2020).

En los países a los que se les denomina subdesarrollados los cuales carecen de infraestructura adecuada para poder cumplir con un programa de reciclaje efectivo, debido a la falta de tecnología, recursos humanos especializados y sobre todo la poca capacidad de financiamiento para implementar los sistemas de reciclaje; esto provoca que todos los desechos plásticos terminen como basura en cualquier espacio de las ciudades (Nkwachukwu et al. 2013). Otra limitación para un programa de reciclaje es la falta de educación sobre cómo reciclar correctamente y la ausencia de condiciones dignas de trabajo para los recicladores los cuales tienen

ganancias muy por debajo del suelo básico en sus países y corren el riesgo de contraer enfermedades por buscar en la basura; a pesar de esos problemas en América Latina se calcula que existen 2 millones de recicladores (Ortega 2020).

Para hacer frente a estos desafíos, es importante fomentar la investigación e innovación con el fin de desarrollar tecnologías de reciclaje más accesibles, eficientes y sostenibles, también es importante la implementación de políticas gubernamentales y acuerdos internacionales que apoyen la reducción y el reciclaje de plásticos (Parveen, Singh, y Azam 2020). Además, educar a la población desde la temprana edad sobre la importancia del reciclaje y cómo hacerlo de manera correcta, esto es de gran importancia para que en el menor tiempo posible se pueda lograr maximizar el reciclaje de plástico y poder reducir considerablemente el impacto ambiental negativo.

El problema del exceso de producción y consumo plástico que provoca la contaminación es un desafío ambiental a nivel mundial que requiere soluciones integrales y colaborativas. La difusión del reciclaje de plástico y la concientización para adoptar buenas prácticas medioambientales en todos los aspectos diarios de la vida desde la producción, consumo y la eliminación es fundamental para proteger el planeta y garantizar un futuro sostenible para todos los seres vivos (Espino Penilla y Koot 2020).

### **Antecedentes**

Anualmente se calcula que el uso de plásticos a nivel mundial es de 260 millones de toneladas (Thompson et al. 2009). Cada año esta cifra aumenta de forma significativa convirtiéndose en un problema global, de esa producción anual se calcula que solamente se logra reciclar alrededor del 9% (OECD 2022). El resto de desechos plásticos son incinerados, los botan a rellenos sanitarios o en el peor de los casos terminan en ríos, océanos y bosques afectando drásticamente al normal funcionamiento de la vida animal y vegetal.

Las cifras expuestas son muy alarmantes por lo que en los últimos años han nacido varias iniciativas como, por ejemplo; darles una nueva utilidad, contrarrestar el uso de plásticos mediante alternativas ecológicas que lo reemplacen, campañas para

disminuir el consumo de productos que son diseñados para un solo uso, diseñar productos que usen menos cantidad de material plástico, pero con la misma funcionalidad de la que ya tenían. Si bien existen algunas alternativas todavía no se logra identificar una solución que pueda contrarrestar esta problemática de manera definitiva.

En el país se ha evidenciado que durante los últimos años ha existido un impulso a una cultura de reciclaje por medio campañas para separar la basura orgánica de la que puede ser reciclada y en especial en recicladores que recolectan y buscan en basureros todos los desechos plásticos, principalmente botellas vacías para poder vender al peso a centros de reciclaje; es necesario realizar una investigación de las cantidades de material plástico que se recolecta en esos lugares a nivel nacional para así poder tener un mejor panorama del volumen que se puede llegar a procesar en la solución que se está planteando.

Es importante conocer las propiedades físicas, químicas y mecánicas que tienen los diferentes tipos de plásticos antes y después de sus usos para los que fueron diseñados debido a que para cada aplicación existe un tipo de plástico que es el indicado, también porque cada tipo de plástico tiene una temperatura establecida a la cual se debe calentar para fundir y no se deben mezclar los diferentes tipos de plásticos (McKeen 2014).

Para proponer una solución que sea de gran impacto en esta problemática es necesario que la misma tenga características como que sea de gran utilidad y el costo de producción en el nuevo producto sea bajo, para así poder incentivar y masificar el uso, también que no requiera procesos de operación complejos y sobre todo que el nuevo producto no contamine más de lo que ya lo hace al fabricarlo con plástico virgen. Tomando en cuenta esos criterios se va a diseñar una máquina la cual tiene como objetivo transformar el plástico reciclado y triturado en productos del mismo material los cuales podrán tener diferentes formas y colores para que su uso aparte de ser funcional también pueda ser decorativo.

Estos nuevos productos fabricados a partir de plástico reciclado deberán tener similares o mejores propiedades físicas y mecánicas a los productos ya existentes

en el mercado. Para desarrollar la máquina es necesario realizar una investigación de prototipos existentes en el mercado que realicen un proceso similar, seleccionar materiales y equipos de fácil acceso, diseñar y ensamblar todos los componentes en un programa CAD.

En los últimos años debido al problema ambiental que se han convertido los desechos plásticos de un solo uso, se han ideado varias maneras de hacer que estos tengan otra utilidad debido a que el plástico dependiendo sus componentes en condiciones normales en degradarse tarda entre 100 a 1000 años (Téllez Maldonado 2012). Entre las principales soluciones es la de diseñar artículos biodegradables pero estos artículos solo servirían para una mínima cantidad de usos y de igual manera generan contaminación, otra solución es la de reutilizar el plástico que ya cumplió su función principal, esto se lo hace mediante la recolección, clasificación, trituración, lavado y fundición del plástico (OPEMED 2020).

La solución que se quiere dar a este problema, el enfoque principal es el de diseñar una maquinaria que pueda realizar productos plásticos sin ningún otro material el cual mediante el cambio de moldes se pueda obtener varios modelos de productos. En el mercado existen varias maquinarias que sirven para este proceso las cuales son adaptaciones de prensadoras sean hidráulicas o manuales a las cuales en el molde establecido se coloca el producto de plástico derretido y con la fuerza aplicada el plástico toma la forma del molde, luego se enfría y se obtiene la forma deseada.

Existen algunos proyectos en este campo y uno de los más emblemáticos en cuanto a la elaboración de adoquines plásticos o ecológicos como se los ha catalogado es el caso de Gjenge una empresa que recolecta residuos plásticos, los procesa con tecnología de vanguardia para realizar una mezcla con arena, fundir esa mezcla y verterla en un molde y así formar diferentes productos (Gjenge Makers 2023). De manera similar existe un proyecto en Ghana que fabrica bloques con el mismo método pero los utilizan para la construcción de casas, teniendo un gran impacto social, económico y ambiental para su región (Nelplast Eco 2023).

Otra iniciativa realizó una máquina la cual extruye el plástico reciclado directamente a un molde para así obtener una gran variedad de productos según el molde es Precious Plastic en Australia (Zephyr Bros. 2023).

En los ejemplos descritos anteriormente la información obtenida es prácticamente nula, solo existe fotos del producto final que fabrican y que son varios diseños dependiendo el molde, pero el proceso que realizan para obtener el producto es desconocido excepto por varias fotos o videos cortos de sus fábricas en donde se puede observar que el principio de funcionamiento es la extrusión del plástico triturado el cual pasa a una adaptación de prensa en la cual se deposita el material derretido en unos moldes y se acciona la misma para que se obtenga la forma deseada, en el otro ejemplo utiliza solo el sistema de extrusión y calentamiento del plástico para llenar un molde y fabricar el objeto deseado.

### **Justificación**

El consumo y la producción excesiva de plásticos de todos los tipos ha hecho que los desechos de los mismo se conviertan en un problema para todas las ciudades, en nuestro entorno no solo que cada vez se requiere nuevos rellenos sanitarios para deshacerse de la basura en general y en el caso de los plásticos su descomposición tarda varias décadas; sino que se convierte en otro problema cuando se bota los desperdicios plásticos en las calles tapando las alcantarillas que causan inundaciones e igual de grave es cuando se bota la basura en las fuentes de agua; sea ríos, embalses, canales de riego, etc. causando contaminación y tampones en el flujo de agua y afectando a la vida animal y vegetal especialmente de zonas rurales.

Este proyecto tiene como fin ofrecer una alternativa funcional para que se pueda promover el reciclaje en la mayor cantidad posible de plásticos en sus distintos tipos para así poder solventar los problemas descritos y dar un uso secundario que a la vez puede ser de gran utilidad a la población en general.

El proyecto está pensado para uso de personas de todas las edades, en donde al realizar objetos con plástico reciclado aumentará el interés en este tema logrando así crear una buena cultura de reciclaje al ver que es posible crear nuevos objetos a

partir de lo que antes era basura, beneficiando a toda la sociedad por el hecho de que no se contamina el medio ambiente y se reduce los desperdicios.

La factibilidad del proyecto está dada por el hecho de que existe una gran cantidad de desechos plásticos que se consumen y no se recicla, siendo estos la materia prima del proyecto.

Este proyecto se acopla a las líneas de investigación de la facultad como son:

- Sistemas industriales
- Gestión sostenible de productos

De la misma forma el presente proyecto cumple con uno de los ODS el cuál es:

- Objetivo 12: Producción y consumo responsable

Que tiene como meta: Para 2030, disminuir de manera sustancial la generación de desechos mediante políticas de prevención, reducción, reciclaje y reutilización.

### **Objetivo general**

- Construir una máquina a escala para la fabricación de productos con plástico reciclado.

### **Objetivos Específicos**

- Estudiar el proceso de recolección, clasificación y tratamiento que se le da al plástico reciclado en los centros de acopio de reciclaje y con recicladores informales para conocer si existe disponibilidad de esa materia prima.
- Elaborar el diseño mecánico y electrónico de la máquina por medio de la selección de equipos y materiales, uso de software CAM, CAD, CAE y cálculos para el dimensionamiento de los elementos que se va a usar para optimizar procesos
- Construir un prototipo a escala de la maquinaria para elaborar los productos plásticos empleando maquinaria y tecnología disponible en el país para reducir tiempo y costos de manufactura.
- Evaluar las características de la máquina y los productos que realizará mediante pruebas de funcionamiento con material reciclado y moldes diseñados para conocer si el prototipo cumple con su fin que se diseñó.

## **CAPÍTULO II**

### **INGENIERÍA DEL PROYECTO**

#### **Diagnóstico de la situación actual:**

Existe una gran cantidad de desechos plásticos los cuales no se están reciclando; en el país se estima que cada día se usa aproximadamente 1400 toneladas de plástico sin contar con la cantidad de basura plástica que se importa; de ese valor es muy complejo conocer la cantidad de plástico que se recicla debido a que una gran cantidad lo hacen personas informales.

Por información obtenida de varios recicladores informales se calcula que una persona a pie puede llegar a recolectar hasta unos 10 kilogramos de desechos de todos los tipos de plásticos por día; existe asociaciones de recicladores que han logrado adquirir herramientas como motocicletas con remolque que les permite recolectar una mayor cantidad de desechos plásticos al día.

Con las cifras descritas se tiene un panorama más claro de la cantidad de plástico que se puede llegar a reciclar tomando en cuenta que cada año crece el consumo del mismo; en este proyecto para las pruebas de funcionamiento se obtendrá la materia prima de la empresa RECICLADORA DE PLÁSTICO RECIPLAS la cual está ubicada en el sector de Los Sauces en la provincia de Cotopaxi y que es una de las empresas recicladoras de polipropileno.

Tabla 1 Datos de la empresa RECIPLAS

ítem	Valor
<b>Producción mensual</b>	30 toneladas
<b>Días laborables(semana)</b>	5 días
<b>Horas laborables(día)</b>	8 horas
<b>Trabajadores</b>	8
<b>Producción anual</b>	360 toneladas

Esta empresa obtiene la mayor cantidad de su materia prima de la costa ecuatoriana, exclusivamente de los costales usados en la industria camaronera en donde se almacena el alimento balanceado para el camarón; el único tipo de plástico que reciclan es polipropileno (PP).



Gráfico 1 Ejemplo de costal



Por cada kilogramo que esta empresa produce de plástico reciclado significa que se recicla alrededor de 13 costales que probablemente hubieran terminado en un botadero, incinerados o el océano.

La materia prima de Reciplas llega en grandes camiones procedentes de las camaroneras de la costa ecuatoriana, viene apilados en grandes bultos los cuales ya están clasificados con el fin de solamente tener sacos de polipropileno y el producto final son pellets de polipropileno como se observa en la Imagen 1.



Imagen 1 Transformación del PP

El proceso para transformar los costales en pellets de polipropileno se indica en el Gráfico 2, la empresa RECIPLAS ya recibe su materia prima clasificada ya que solamente producen polipropileno reciclado, la trituración es más fácil debido a que los costales son de contextura fina y no se requiere una máquina especial para ese proceso.

El lavado se lo realiza dos veces en diferentes tinas para eliminar de mejor manera las impurezas; la fundición lo realizan utilizando GLP como fuente de energía

debido a que la temperatura que se necesita para este proceso es de alrededor de 600 °C ya que sale el plástico mojado de su anterior etapa.

En cuanto a la extrusión se puede variar la velocidad a la que este filamento sale afectando al diámetro del mismo, esto se hace según el requerimiento del cliente. Por último, en el peletizado se puede modificar los parámetros de la maquinaria para que las medidas se acoplen a las necesidades del cliente; si se desea pellets de un color en específico se puede poner colorante especial en la etapa entre fundición y extrusión.

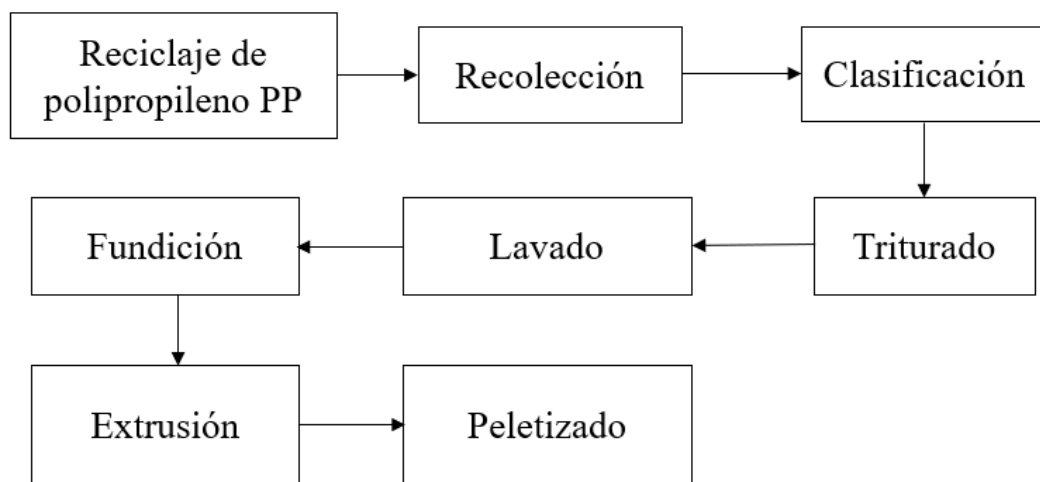


Gráfico 2 Proceso de reciclado del PP

Al verificar que existe suficiente cantidad de desechos plásticos los cuales son posibles reciclar y se lo está haciendo en pequeñas cantidades, es importante educar y demostrar a la población que se puede reutilizar estos desechos en la creación de otros productos con una verdadera utilidad y de manera sencilla para evitar que estos terminen incinerados, en rellenos sanitarios, bosques y océanos.

La propuesta es diseñar una máquina a escala que sea económica, de fácil uso y transporte, que por medio de sencillos modos de operación se puedan obtener objetos novedosos y servibles, al usar esta máquina se quiere lograr concientizar y aumentar la cultura de reciclaje.

## Casa de la calidad QFD

Una herramienta práctica que se utiliza cuando se está desarrollando un prototipo es la casa de la calidad (QFD) en la cual se tiene como objetivo obtener todas las características y propiedades que debe tener el prototipo para que cumpla con los objetivos planteados.

En esta herramienta se debe establecer la siguiente información:

- Los requerimientos de los posibles clientes y su importancia de cada requerimiento, para esto es necesario realizar una encuesta a los mismos.
- Los requerimientos técnicos que debe tener el prototipo.
- La relación que existe entre los requerimientos de los clientes y los requerimientos técnicos.
- Una correlación entre cada requerimiento técnico, si afecta el uno a otro de manera positiva o negativa.
- Teniendo los datos anteriores se obtiene la importancia que se debe tener a cada requerimiento con el fin de mejorar el diseño.
- También se puede obtener una evaluación comparativa entre el prototipo que se plantea elaborar con la competencia.

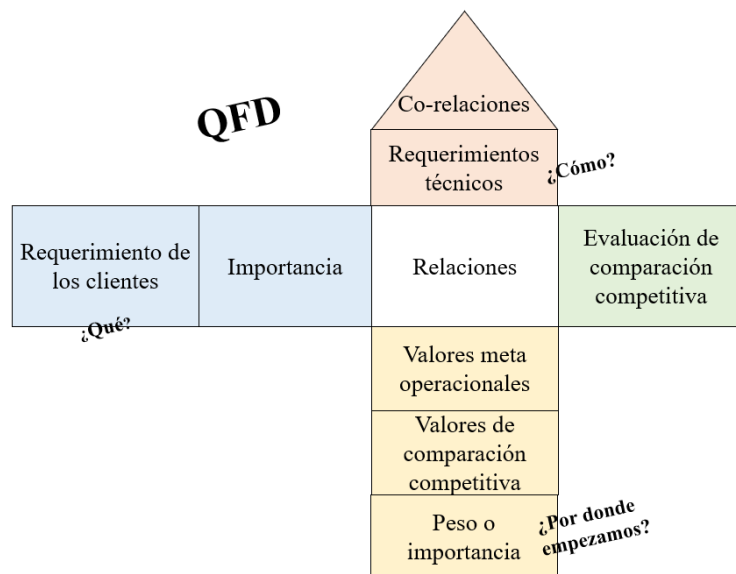


Gráfico 3 Casa de la calidad

Para utilizar esta herramienta se consultó a posibles usuarios de este proyecto que junto a la información del diseñador del producto se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 2 Requerimientos del QFD

<b>¿QUÉ?</b>	<b>¿COMO?</b>
Fácil de usar	Mecanismos sencillos
Barato	Materiales disponibles en el mercado
Ligero	No se debe sobredimensionar los materiales
Tamaño razonable	Diseño óptimo
Silencioso	Fácil operación y mecanismo sencillos
Seguro	Criterios de diseño
Manufactura	Fácil de elaborar

En cuanto a los resultados obtenidos por medio de la plantilla de la casa de la calidad QFD en donde se asignó el valor de la importancia en cada requerimiento del cliente se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 3 Resultados del QFD

<b>Requerimiento técnico</b>	<b>Valor %</b>
Mecanismos sencillos	18.5
Materiales disponibles en el mercado	12.2
No se debe sobredimensionar los materiales	26
Diseño óptimo	30.1
Fácil operación y mecanismos sencillos	1

Criterios de diseño	4.1
Fácil de elaborar	8

Según los resultados el requerimiento técnico al que más importancia se debe tomar en cuenta para que cumpla la mayor cantidad de los requerimientos del cliente es que debe tener un diseño óptimo, esto quiere decir que tanto los materiales, mecanismos, funcionamiento y fabricación deben ser diseñados lo mejor posible.

La herramienta QFD también nos permite realizar una comparación en base a los requerimientos del cliente con otros productos de la competencia. En el Gráfico 4 se observa una comparación con un producto similar que se produce en Australia. La mayor ventaja de la máquina a escala que se va a desarrollar es el bajo costo que tendrá.

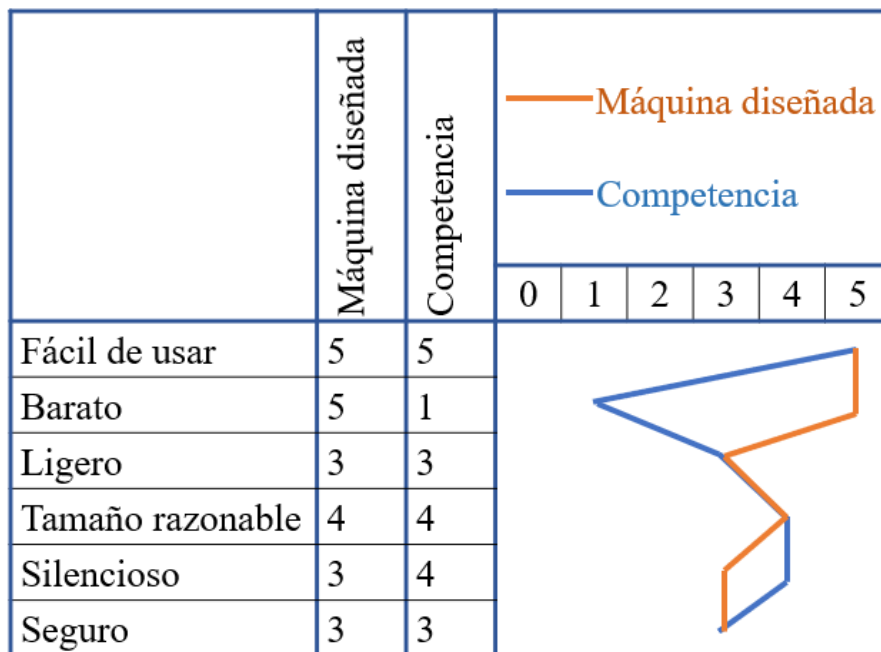


Gráfico 4 Comparación con otros productos

**Área de estudio:**

Este proyecto cubre algunas áreas de interés que la universidad está enfocada en desarrollar las cuales son:

Tabla 4 Área de estudio del proyecto

<b>Área de estudio</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tecnologías de la instrumentación</li><li>- Tecnologías mecánicas e industriales.</li></ul>
<b>Línea de investigación</b>	Gestión sostenible de productos
<b>Carrera</b>	Maestría en diseño industrial y de procesos.
<b>Modalidad de titulación</b>	Propuesta metodológica

**Modelo operativo:**

Esta investigación de tipo comparativa y experimental en donde se ha podido encontrar algunos casos con propuestas similares a la que se plantea en este trabajo, las cuales servirán como punto de partida para todo el desarrollo que se plantea realizar.

Para dar inicio es necesario conocer todos los datos posibles acerca de los centros de recolección de residuos plásticos como por ejemplo valores del total de recolección diaria y por zonas, el tipo de plástico que más comúnmente se logra obtener, el estado en que vienen estos desechos, los precios que manejan en la compra-venta de los desechos y que tipo de procesos emplean posterior a la recolección para darle una nueva utilidad. Posterior a obtener esos datos para saber la cantidad que posiblemente se podrá procesar, se diseñará la máquina en base a

los datos conocidos y también a la bibliografía encontrada de diferentes empresas e iniciativas que están produciendo productos similares.

Para el diseño de la máquina también es necesario realizar ciertas pruebas con el plástico reciclado de manera artesanal para poder fabricar un producto simple y con eso tener datos de temperatura y velocidad que se necesita aplicar para que el plástico tome la forma del molde, en la revisión bibliográfica existe un mecanismo que se repiten en todas las iniciativas de producir productos plásticos la cual es que el material que sale de la extrusora cae en los moldes y una máquina compactadora hace que se forme el producto en el molde. Si bien ese mecanismo es válido aquí se intenta dar un nuevo enfoque a ese sistema de producción el cual inmediatamente al salir el plástico derretido de la extrusora, pase al molde.

Una vez con el diseño se procede a verificar su ensamble y funcionamiento de los mecanismos por medio de programas CAD los cuales permiten ver en computadora como quedará la máquina final. También se realizará un análisis estático con la estructura diseñada y materiales elegidos para saber las capacidades y esfuerzos que podrá soportar la máquina.

Finalmente se realizará una máquina a escala en la cual de forma física se comprobará sus materiales, mecanismos, diseño, resistencia y funcionalidad.

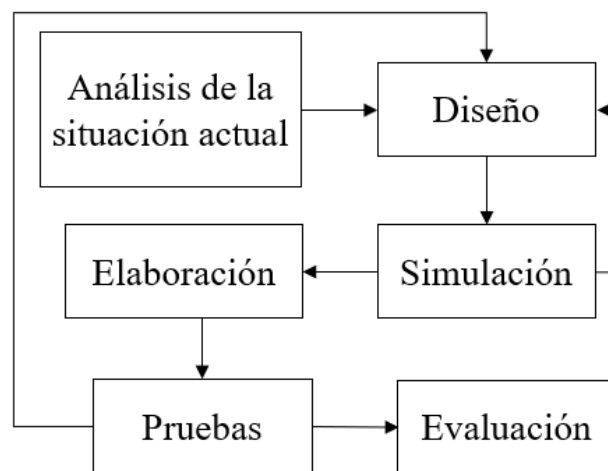


Gráfico 5 Modelo operativo

## **Desarrollo del modelo operativo:**

### Diseño

La primera etapa del proyecto es la de diseño en la cual se planifica, conceptualiza la máquina tomando en cuenta las ideas y recomendaciones del diseñador, tutor y posibles usuarios, esto se lo realiza antes de la simulación.

En esta etapa se analiza las diferentes especificaciones y características que debe tener la máquina, aquí también se toma en cuenta los equipos y materiales disponibles en el mercado para la fabricación y en caso de no existir se puede realizar cambios y mejorar en el diseño hasta poder cumplir con todas las necesidades de la misma. Aquí se realizan todo tipo de cálculos para cumplir con las normas de seguridad de cada elemento.

### Simulación

Es importante la etapa de simulación para tener una idea más clara de lo que se espera obtener como producto final antes de construir el prototipo, por medio de software especializado se puede cambiar o mejorar el diseño en caso de que exista alguna inconsistencia. Esta etapa puede ayudar a reducir el costo y el tiempo de desarrollo, identificar y resolver problemas de diseño antes de la elaboración, y mejorar la calidad y la eficiencia del producto final.

### Elaboración

En esta fase del desarrollo de un producto y una vez aprobado el diseño y corroborado en la simulación que cumple con los requerimientos definidos. En la elaboración se realiza la producción de la máquina que puede ser inclusive en varias unidades. Aquí entra la parte de adquisición de materiales y equipos seleccionados en la fase de diseño, la configuración de equipos, la capacitación de personal y la creación de procedimientos y protocolos de fabricación.

Es importante tener en cuenta que la etapa de elaboración no es una tarea única y se puede repetir varias veces para ajustar y mejorar el producto. Esta etapa puede ser compleja y requiere una coordinación cuidadosa y una atención constante a la calidad para garantizar que se cumplan los objetivos de producción y se logre un producto final que cumpla con las expectativas.



### Pruebas

Una vez finalizada la elaboración, viene la etapa de pruebas de funcionamiento en donde se va a configurar los equipos electrónicos a diferentes valores de funcionamiento, la cantidad de materia prima depositada, velocidades y tiempos de funcionamiento.

En esta etapa es importante calibrar el prototipo a diferentes temperaturas para saber cuál es la indicada para el polipropileno, material el cual se va a utilizar.

### Evaluación

Finalizada la etapa de pruebas es necesario hacer una evaluación integral del producto final que realiza y del prototipo para analizar posibles fallos que tenga o conocer la manera óptima de funcionamiento del prototipo.

### **CAPÍTULO III**

#### **PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS**

##### **Presentación de la propuesta:**

La máquina propuesta en este trabajo de titulación es un prototipo de una extrusora/inyectora de plástico de pequeña escala con accionamiento manual que cuenta con los sistemas eléctricos, mecánicos y de control. La interacción de estos sistemas permitirá la fabricación de productos con plástico reciclado el cual podrá tener diferentes formas, composición y colores dependiendo del molde y la materia prima que se utilice. Se espera que el diseño del prototipo sea de funcionamiento sencillo, fácil de trasladar, económico, robusto y de buena apariencia.

El material que expulsará el prototipo a desarrollar saldrá del cañón en donde un sistema de extrusión manual mezclará el plástico y a medida que avanza será derretido por un sistema de calentamiento que permite que el plástico tome la forma del molde el cual estará acoplado al final del cañón por un sistema de boquillas roscadas.

Los elementos electrónicos que se usará son resistencias tipo abrazadera las cuales irán en el cañón de la extrusora, estas tendrán la función de calentar la materia prima hasta la temperatura deseada dependiendo de la composición de la misma.

Para el sistema mecánico que es todo lo relacionado con los materiales a usarse, mecanismos. Ese diseño se debe realizar tomando en cuenta parámetros como las temperaturas que soporta ciertas partes de la máquina en donde pasa el material

caliente y debe aguantar el contacto con las resistencias eléctricas; la resistencia que deben tener los materiales a los diferentes esfuerzos para que no se comprometa la estructura; y los diferentes tipos de mecanismos que se deberán usar para la correcta sincronización de todo el sistema. Para ellos es necesario realizar el diseño CAD para poder observar las dimensiones y ensamble del mismo.

El único sistema de control que tendrá este prototipo es el de temperatura, el cual controlará que tanto debe calentarse el sistema para que pueda derretir el plástico reciclado, que dependiendo de su tipo es de suma importancia tener la temperatura adecuada para que este pueda ser extruido de manera fluida y sin atascarse en la extrusora, como también que pueda tomar la forma del molde sin necesidad de aplicar mucha fuerza de compactación, para esto se utilizará un controlador de temperatura comercial el cual tendrá como salida las resistencias tipo abrazaderas que van conectadas en paralelo, su función es calentar el sistema a un valor de temperatura constante.

Este sistema de control de temperatura también contiene un sensor el cual medirá la temperatura a la salida de la extrusora y el controlador que está en configuración de lazo cerrado el cual realizará su trabajo que es subir o bajar los valores de temperatura según el requisito.

En el diseño CAD se utilizará el software SOLIDWORKS el cual permite realizar el dibujo en el computador para saber cómo será el prototipo. En el programa se dibujarán cada elemento que conforma el prototipo y una vez teniendo todos los elementos se procede a realizar el ensamble. Este software también nos permite obtener los planos de cada pieza y una simulación del movimiento de cada mecanismo.

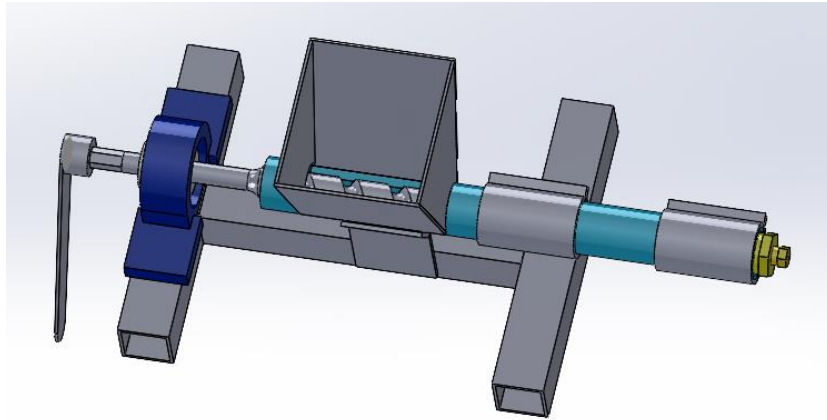


Gráfico 6 Propuesta de diseño 1.0

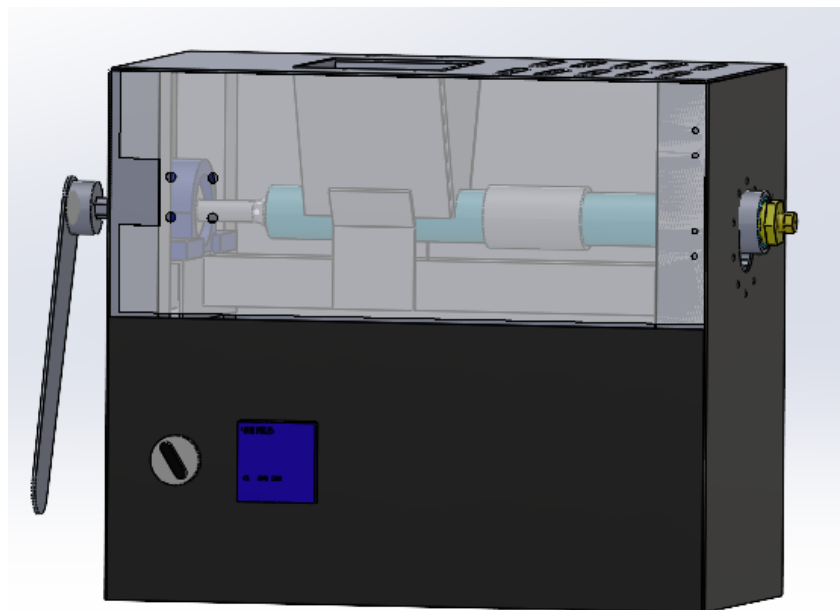


Gráfico 7 Propuesta de diseño 2.0

Para empezar el diseño de un prototipo es importante encontrar una convergencia entre lo que se diseña, lo que se puede fabricar y lo que existe en el mercado con el fin de que no se desperdicie tiempo diseñando algo que no se puede fabricar o comprar ya sea por su complejidad o porque no existen los materiales y herramientas en el mercado local.

Para el diseño de la maquinaria se debe tomar en cuenta que uno de los elementos más importantes es el tornillo sinfín de que debe cumplir varias características:

- Ser de un material resistente al calor con el fin de que no se deforme.
- Tener una longitud y grosor lo más grande posible.
- Tener un solo hilo para que pueda transportar de mejor manera el material
- Pueda soportar los esfuerzos involucrados en el proceso.

El diseño y la construcción de un tornillo sinfín es un tema demasiado complejo y costoso. Al no encontrar un taller mecánico en donde se lo pueda fabricar y con búsqueda de bibliografía en donde se usan brocas de gran tamaño para usarlas como tornillo sinfín, se decidió partir todo el diseño en base a una broca comercial.

Al seleccionar la broca que hace la función de tornillo sinfín se tomó en cuenta todos los aspectos antes mencionados, por ende, entre las varias opciones disponibles en el mercado la cumple todos los requerimientos es la siguiente:



Gráfico 8 Tornillo sinfín

Tabla 5 Especificaciones del tornillo sinfín

Diámetro	$\frac{3}{4}$ pulgadas
Largo total	17 pulgadas
Largo de útil(sinfín)	12 pulgadas
Material	Acero de aleación endurecido
Vástago	$\frac{7}{16}$ pulgadas

En cuanto al diseño del cañón se lo hizo en base a las medidas de tornillo sinfín para que este pueda entrar al cañón con un juego lo más pequeño posible.

La norma ASME Y14.5 recomienda el juego que debe existir entre el cañón y el tornillo sinfín mediante la siguiente ecuación:

Diámetro de tornillo sinfín.

$$D = \frac{3}{4}plg = 19.05 \text{ mm}$$

Para el cálculo del diámetro interior del cilindro que se tiene que perforar se obtiene el factor  $\delta$ .

$$\delta = 0.005 * D$$

$$\delta = 0.005 * 19.05 \text{ mm}$$

$$\delta = 0.09 * D$$

Diámetro interior

$$D_i = D + 2 * \delta$$

$$D_i = 19.05 + 2 * 0.09$$

$$D_i = 19.23 \text{ mm}$$

El diámetro interior ideal según la norma ASME Y14.5 es 19.23 mm para que pueda entrar el sinfín y realizar el proceso de extrusión, al ser una medida específica y ya que no existe una broca de la misma medida, se realizará la perforación con la medida más cercana que es de 20 mm.

En un extremo del cañón se diseñó para fabricar una rosca interna para la boquilla; también se realizaron cortes para colocar la tolva.

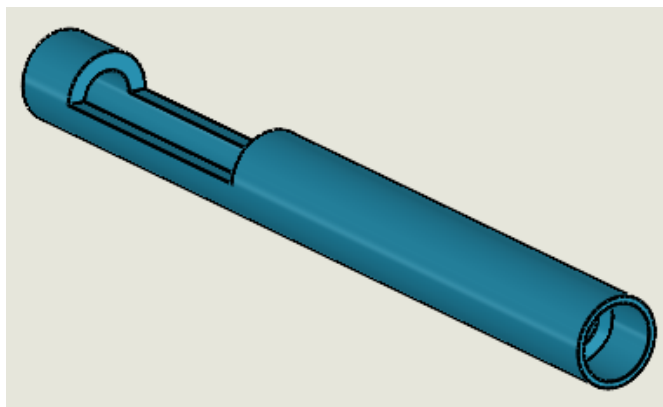


Gráfico 9 Cañón de la extrusora

Para la selección del material que se utilizará en el cañón se toman varios criterios en cuanto a sus propiedades mecánicas, térmicas, facilidad de adquisición, maquinabilidad.

Se tiene dos opciones las cuales son las más adecuadas para esta aplicación en la que debe ser maquinada, que resista altas temperaturas y ser un material robusto.

	<b>Acero</b>	<b>Aluminio</b>
<b>Conductividad térmica</b>	47 -58	237
<b>Resistencia térmica(punto de fisión)</b>	1400 °C	660 °C

Tabla 6 Criterios ponderados del material para el cañón

Factor	Ponderación (P)	Acero		Aluminio	
		Calificación (a)	(P)*(a)	Calificación (b)	(P)*(b)
Precio	20	9	180	5	100
Conductividad térmica	20	6	120	8	160
Maquinado	20	7	140	9	180
Repuesto	25	9	225	6	150
Resistencia térmica	15	8	120	6	90
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>		<b>785</b>		<b>680</b>

El material seleccionado con el análisis de criterios ponderados para manufacturar el cañón será acero SAE 1018, es un material que se encuentra de manera abundante en el mercado.

Tabla 7 Propiedades del acero SAE 1018

<b>Propiedades</b>	<b>Valor</b>
Límite Elástico	285 MPa
Resistencia a tracción	340 MPa
Reducción de área (min. %)	0,45.
Dureza Brinell	95
Módulo de Elasticidad	190-210 GPa.
Diámetro utilizado	1 ¼ pulgada

En cuanto a la boquilla y con el fin de abaratar costos y tiempo se realizó una búsqueda en elementos que puedan tener esa funcionalidad, se optó por usar un bushing de 1 a ½ plg el cual sirve perfectamente como boquilla la cual irá roscada al cañón de manera que se la pueda sacar fácilmente. Existe estos bushing en material de cobre y de acero.





Imagen 2 Bushing de 1 a 1/2 plg

La estructura del prototipo la cual soportará todo el peso de la misma y le dará estabilidad, los elementos que tendrá que soportar de manera directa son: el cañón y la chumacera; la misma también servirá como soporte para colocar las tapas de la máquina. El diseño de la estructura se usará tubo cuadrado el cual se lo cortará en las medidas necesarias para la construcción y se realizará la unión de las piezas por medio de soldadura.

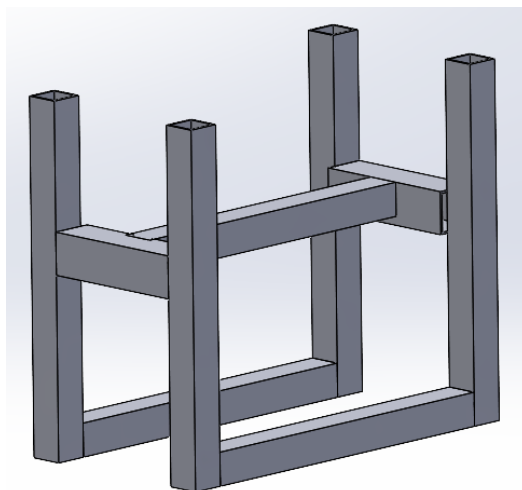


Gráfico 10 Estructura de la máquina

El material que se usó para realizar la estructura es de perfil estructural de acero galvanizado que de igual manera existe en gran cantidad en el mercado y en diferentes presentaciones.

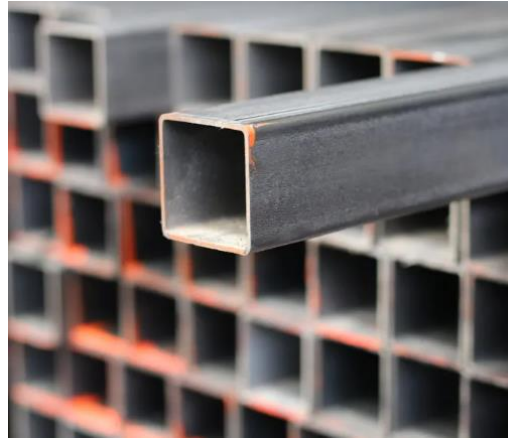


Imagen 3 Tubo cuadrado para la estructura

Tabla 8 Propiedades del acero galvanizado

<b>Propiedades</b>	<b>Valor</b>
Límite Elástico	203.9432426 N/mm <sup>2</sup>
Límite a la tracción	356.9006745 N/mm <sup>2</sup>
Módulo elástico	200000 N/mm <sup>2</sup>
Medida utilizada	Tubo cuadrado de 1 plg y 1 ½ plg.
Espesor	1.2 mm

El elemento más crítico de la estructura es en donde va a colocar la chumacera, este elemento tendrá que soportar las fuerzas de la chumacera, tornillo sinfín, manivela y fuerza ejercida para girar la manivela.

$$W_T = W_{chumacera} + W_{manivela} + W_{sinfín} + W_{movimiento}$$

$$W_T = 6 \text{ Kg.}$$

Al área de la sección transversal del elemento más crítico de la estructura es el área del perfil de lado 38.10 mm que tiene un espesor de 1.2 mm.

$$A = A_{\text{exterior}} - A_{\text{exterior}}$$

$$A = 38.10 * 38.10 - 35.7 * 35.7$$

$$A = 177.12 \text{ mm}^2$$

La presión que se aplica sobre el elemento estructural se calcula a continuación:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{6 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2}{177.12 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = \frac{58.86 \text{ N}}{177.12 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 0.3232 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 332.32 \text{ Pa}$$

El valor obtenido está muy por debajo del límite elástico del material por lo que no presentaría ningún problema estructural.

El elemento que va a soportar el tornillo sinfín y permite que exista movimiento rotacional del mismo es la chumacera, al tener el tornillo sinfín un vástago de ½ plg. Se optó por usar una chumacera P201 la cual tiene un rodamiento con esa misma medida.



Imagen 4 Chumacera

Para el diseño del sistema electrónico se consideró elementos disponibles en el mercado local.

Elemento de calefacción

Una de las partes principales para el funcionamiento de la máquina es poder calentar el sistema y mantenerlo a una temperatura constante para que se pueda derretir el plástico y ser extruido.

Existen dos opciones que se utiliza para ese propósito que son:

- Resistencias eléctricas o niquelinas
- Calentadores a gas



Imagen 5 Fuente de calor

De esas dos opciones se realizó un análisis de criterios ponderados para elegir de manera técnica la mejor opción, los factores a tener en cuenta son los siguientes:

- Precio: se quiere diseñar una máquina lo más económica posible.
- Seguridad: indispensable minimizar los riesgos de un accidente.
- Repuestos: disponibles en el mercado de manera inmediata en el caso de que exista una falla.
- Facilidad de uso: no requiere procesos de difícil operación.
- Tamaño: para hacer la máquina lo más compacta posible.

Realizando el análisis de criterios ponderados en donde se dio valores a la mejor opción y priorizando factor se obtuvo lo siguiente:

Tabla 9 Criterios ponderados de elemento calefactor

Factor	Ponderación (P)	Resistencia eléctrica		Calentador a gas	
		Calificación (a)	(P)*(a)	Calificación (b)	(P)*(b)
Precio	20	9	180	5	100
Seguridad	25	9	225	2	50
Repuestos	20	8	160	8	160
Facilidad de uso	15	8	120	7	105
Tamaño	20	10	200	2	40
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>		<b>885</b>		<b>455</b>

La mejor opción de fuente de calefacción es la niquelina la cual cumple de mejor forma con los factores. Este elemento al no hacer uso de tanque de gas disminuye el precio y tamaño ya que se requiere menos piezas, de igual forma se evita cualquier accidente producto de una fuga de gas. Al ser un elemento de fabricación local es fácil conseguir un repuesto y en cuanto a su uso solamente se lo conecta a la fuente de energía.

En los diferentes materiales polímeros existentes que se reciclan el de mayor punto de fusión es el PET a una temperatura de 260 °C por lo que se pidió a la empresa que realiza estos elementos fabricar para que llegue a esa temperatura y con una alimentación de 120 VAC. El material para la fabricación que usaron fue de acero inoxidable.

Considerando el largo del cañón y para que se distribuya de mejor manera el calor, se optó por utilizar dos niquelinas tipo abrazadera que se acopla de manera idónea en el cañón.

Cada resistencia eléctrica tiene un consumo de 200 Watts, que es el dato que nos proporcionó el fabricante.

$$\begin{aligned}W &= I * V \\I &= \frac{W}{V} \\I &= \frac{2 * 200 W}{120 V} \\I &= 3.33 A\end{aligned}$$

La corriente que se consume por el uso de las 2 resistencias es de 3.33 amperios, en el anexo 6 se especifica que calibre de cable se debe usar para un amperaje específico, en este caso para conectar las niquelinas y que no exista ningún accidente eléctrico es necesario usar un cable superior al AWG 16.

Al usar como fuente de calor una resistencia eléctrica, es necesario un diseño electrónico para poder controlar la temperatura y que se mantenga estable, es decir se requiere un sistema de control de temperatura, existen dos opciones en el

mercado que se puede usar y para elegir se realizó un análisis de criterios ponderados.

Tabla 10 Criterios ponderados de equipo para control de temperatura

Factor	Ponderación (P)	Control de temperatura industrial		PLC	
		Calificación (a)	(P)*(a)	Calificación (b)	(P)*(b)
Precio	20	9	180	3	60
Seguridad	25	10	250	10	250
Repuestos	20	8	160	8	160
Facilidad de uso	15	8	120	5	75
Tamaño	20	9	180	7	140
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>		<b>890</b>		<b>685</b>

El equipo para que realice el control de temperatura que mejores beneficios ofrece en esta aplicación es un control de temperatura industrial ya que entre las dos opciones es más barato y su uso es simple ya que no se requiere personal especializado que programe como en el caso de un PLC, es un equipo pequeño y robusto que se usa de manera industrial, también es de fácil adquisición en el mercado local.

En la búsqueda de equipos de control de temperatura industrial el que cumple con todos los factores del análisis de criterios ponderados y con los requerimientos técnicos que se necesita se eligió un controlador INKBIRD ITC-106 el cual en el Anexo 7 se especifica las características técnicas. Este equipo incluye también el relé de estado sólido SSR-40DA que es el elemento electrónico de potencia que alimenta a las níquelinas de corriente según la necesidad, también integra el sensor de temperatura ideal para este uso que es una termocupla tipo K.

Es importante en todo diseño electrónico que conste con elementos de seguridad que proteja a la parte de control y potencia, por ello se considera también el uso de un fusible de 5 A.

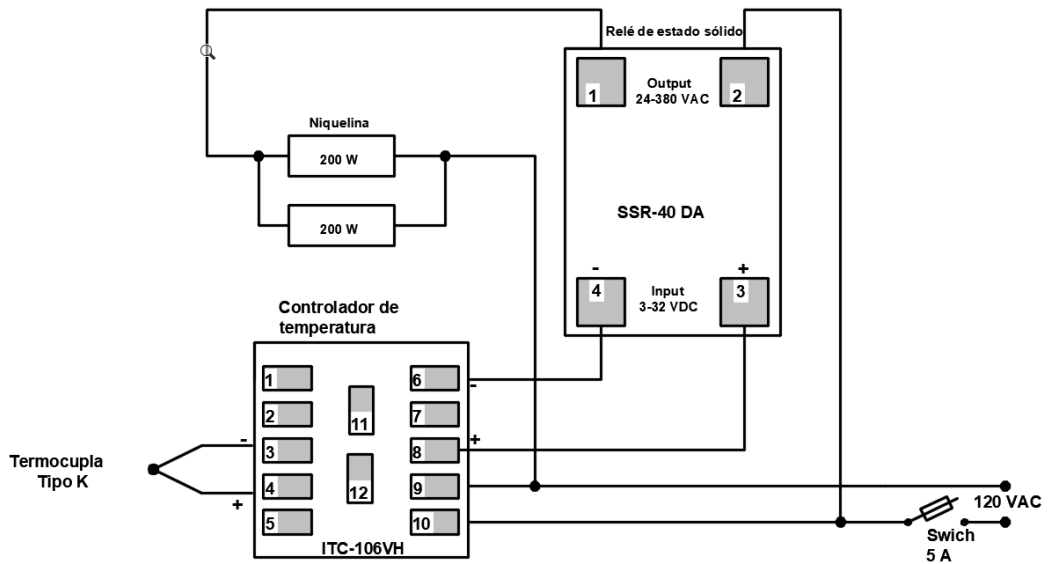


Gráfico 11 Diseño electrónico

El controlador de temperatura que se eligió, ya tiene integrado un control PID en lazo cerrado que lee la información por medio de una termocupla tipo K y procesa la información y manda la señal a las resistencias eléctricas para que calienten por medio de un relé de estado sólido.

El proceso se inicia indicando el setpoint (SP) que es a la temperatura en que se desea trabajar el proceso.

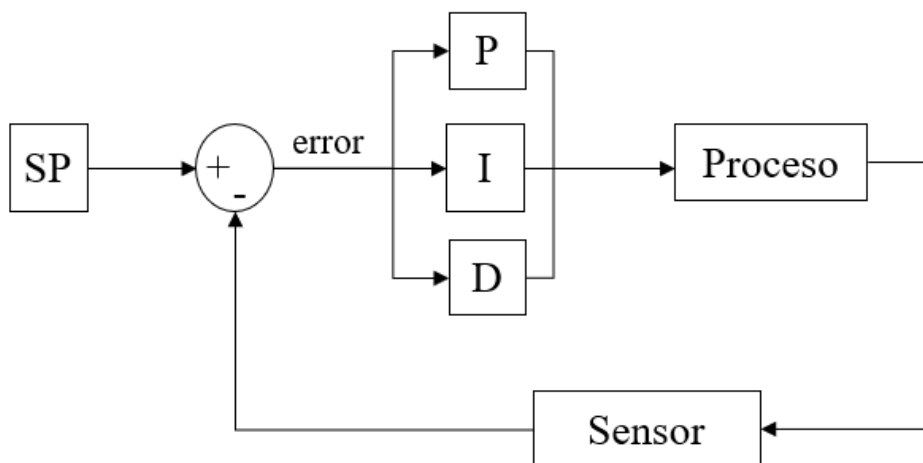


Gráfico 12 Control PID



**Resultados esperados:**

El resultado que se espera obtener de este proyecto es el diseño y construcción de una máquina la cual tenga todos los detalles a nivel de ingeniería para poder construirla y que posteriormente pueda fabricar productos con plástico reciclado. En ese detalle de ingeniería se contempla el diseño CAD, lista de equipos electrónicos disponibles en el mercado que se utilizara para el control de temperatura, un listado de materiales comerciales que se necesitan para su construcción en escala real, planos de las piezas, planos del ensamble y cómo funciona la máquina. Así mismo se tendrá una construcción de la máquina a escala en la cual se podrá tener una idea más clara de cómo sería la construcción y el funcionamiento de la misma.

Este proyecto tiene como fin poder obtener un producto hecho con la recolección de material plástico que ya cumplió su vida útil para el cual fue diseñado, es por eso que el diseño de la máquina deberá contemplar parámetros que deberá tener el producto como es la forma, color y textura. Esos parámetros van relacionados en la máquina con el poder intercambiar moldes de una manera lo más simple posible, la zona de mezcla de materiales para poder agregar color u otros componentes, la temperatura a la que se le calienta y por último la fabricación de los moldes para que en el momento de desmoldar no dañe la forma ni sea difícil.

Para la selección de materiales de construcción es necesario conocer las temperaturas que deberá soportar, por lo que se realizarán pruebas de funcionamiento para conocer una temperatura adecuada en la que se podrá manipular el plástico y que tome la forma de los moldes.

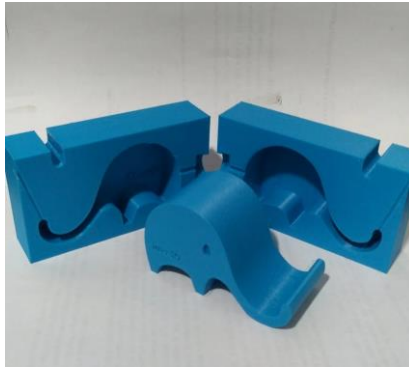


Imagen 6 Ejemplos de productos con plástico reciclado con su molde

### Cronograma de actividades

Para el desarrollo de la máquina a escala desde la recopilación de información hasta tener el producto terminado se dividió las diferentes etapas de todo el proyecto con el fin de tener una mejor organización.

		CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																								
#	ACTIVIDADES	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17	Semana 18	Semana 19	Semana 20	Semana 21	Semana 22	Semana 23	Semana 24	
1	Diseños conceptual de la máquina	█																								
2	Diseño CAD de máquina			█	█	█	█	█	█																	
3	Rediseño y aprobación de planos																									
4	Construcción del sistema mecánico del prototipo y moldes																									
5	Implementación del sistema electrónico																									
6	Pruebas de funcionamiento																									
7	Análisis de resultados																									
8	Investigación bibliográfica																									
9	Desarrollo del trabajo escrito																									

Gráfico 13 Cronograma de actividades

### Análisis de costos

El análisis de costos en el tiempo que se realizó todas las etapas de proyecto se observa a continuación, entre los valores incluidos se tomó en cuenta:

- Mano de obra

- Equipos, elementos y materiales
- Movilidad
- Honorario estimado del autor del proyecto de titulación.

No	Elemento	Característica	Costo \$
1	Transporte	Transporte utilizado en movilización a distintos lugares	\$60.00
2	Diseño	Diseño del prototipo: - Equipo de computación	\$800.00
3	Materiales	Construcción del sistema mecánico: -Compra de eje de transmisión. -Perfiles -Chumacera -Broca -Pernos	\$400.00
4	Equipos	Montaje del sistema electrónico: -Controlador. -Relé de estado sólido -Cableado -Swich	\$100.00
5	Honorarios	Referencial del pago al autor del proyecto y operadores mecánicos	\$400.00
6	Servicios básicos	Uso de internet, luz, agua	\$50.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$1,810.00</b>

Gráfico 14 Gastos del proyecto

### Componente Ambiental:

Este proyecto tiene como fin dar un nuevo uso al material desechado, ya que la materia prima se obtiene en su mayoría de las camaroneras que se encuentran en la zona costera del país, esto significa que por cada kilogramo que se procese alrededor de 13 sacos de polipropileno dejarían de incinerarse en los botaderos municipales o en el peor de los casos estos terminarían en los ríos y océanos afectando drásticamente a la vida marítima.

Otra aplicación de este proyecto es poder realizar lo que se denomina como madera plástica. Esto ayudará a reciclar gran cantidad de desperdicios plásticos y convertirnos en material para que se pueda elaborar estructuras como sillas.

El prototipo al emplear energía eléctrica, reduce considerablemente emisiones de CO2 que al usar una fuente de combustible fósil.



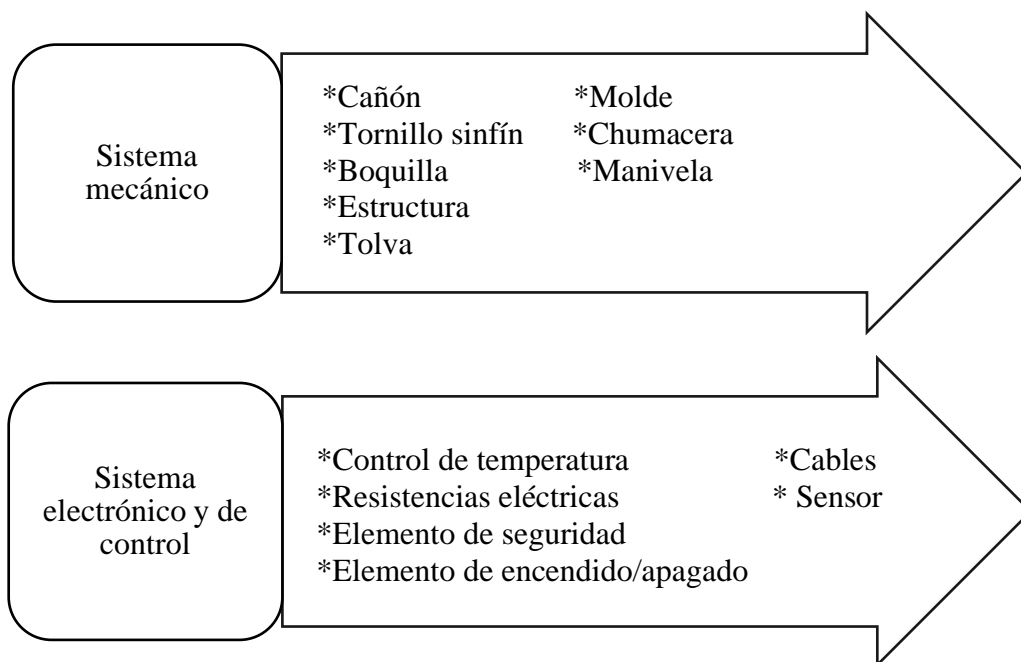
Gráfico 15 Productos posibles de obtener

## CAPÍTULO IV

### EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA Y RESULTADOS OBTENIDOS

#### Proceso de ejecución

Para el proceso de ejecución se dividió el proyecto en dos sub sistemas como se indica a continuación:



#### Sistema mecánico

##### Construcción de cañón

Según el diseño del cañón se usó un eje de transmisión SAE 1018 de 1 ¼ pulgadas en el cual se procedió a realizar el agujero interior de 20 mm para que pueda pasar

el tornillo sinfín. El agujero se realizó por todo el eje de transmisión utilizando un torno con una broca larga para que pueda pasar por todo el eje.



Imagen 7 Elaboración del cañón

#### Boquilla

Era necesario elaborar un sistema en el que se pueda intercambiar la boquilla para que esta pueda acoplarse con el molde. Se usó el torno para elaborar la rosca de un bushing de 1 plg a ½ plg. En la reducción a ½ plg se usó un tapón de tubería de agua al cual se le hizo una perforación para que pueda salir el material fundido. Estos acoples en su interior tienen una forma cónica lo cual ayuda al material fundido a que se compacte y salga de mejor manera.



Imagen 8 Boquilla de la extrusora

## Estructura

Para la estructura que va a soportar todos los elementos se usó tubería cuadrada de acero galvanizado que según el diseño se cortó, soldó y perforó.



Imagen 9 Estructura del proyecto

## Tolva y tapas de la máquina

Para realizar la tolva se tomó en cuenta el corte realizado al cañón para su diseño, en este caso se usó plancha acero galvanizado el cual se realizó un corte en plasma según la forma diseñada y para acoplar a la máquina se lo hizo por medio de soldadura.



Imagen 10 Corte de plasma para tol galvanizado

## Manivela

En la fabricación de la manivela se usó un dado hexagonal de 11 mm para acoplar al mango del tornillo sinfín, para las demás piezas se empleó una platina de acero A36 y un pedazo de eje de transmisión 1018. En este elemento se usó un torno y machuelos para los agujeros de los pernos.

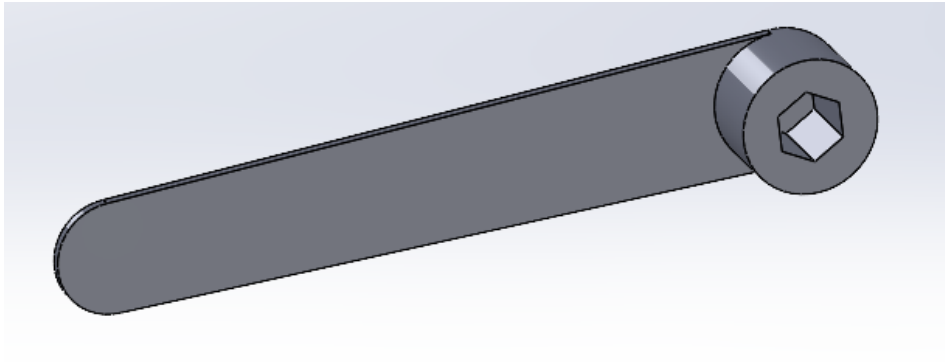


Gráfico 16 Manivela

## Molde para madera plástica

Una aplicación de esta máquina es la elaboración de lo que se denomina madera plástica, esto se lo hace usando un tubo comercial como se indica en la imagen a continuación, se usó un perfil cuadrado al cual se soldó a los extremos dos platinas, la una para cerrar el paso del plástico derretido y al otro extremo para acoplar a la boquilla de la extrusora que igualmente está soldada a una platina.

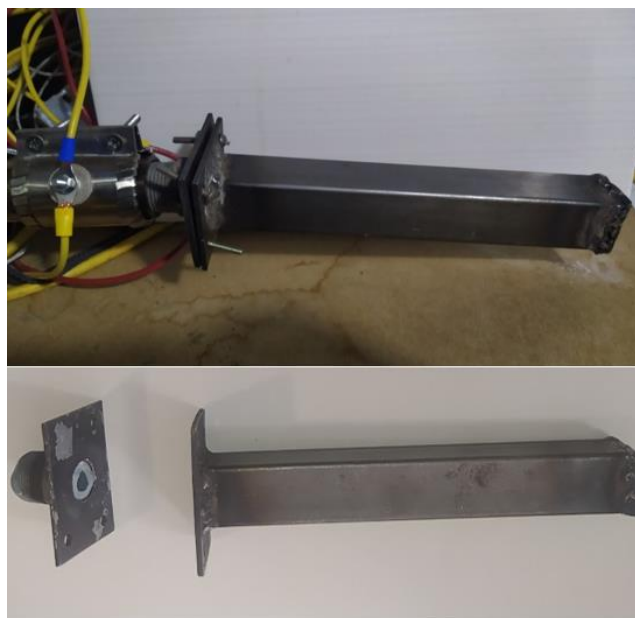


Imagen 11 Molde para madera plástica



## Molde para piezas plásticas

Para poder fabricar piezas en serie es necesario tener moldes en los que se va a extruir el plástico fundido. Se diseñó dos diferentes figuras para realizar pruebas de funcionamiento de la máquina, los moldes se los realizo en acero A36 de 10 mm de espesor, el diseño se hizo en el software SolidWorks y posteriormente se cortó con plasm; ya que es necesario que tengas un buen acabado superficial se rectificó las superficies de las piezas cortadas en plasma.

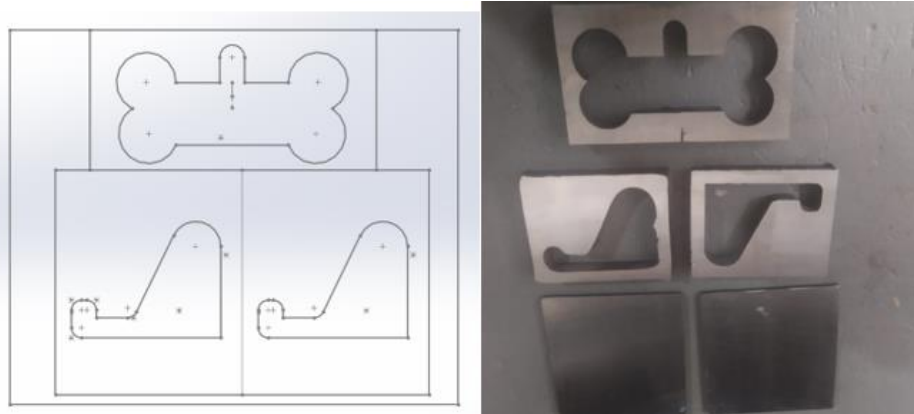


Imagen 12 Moldes para piezas

El Molde 1 está hecho en su totalidad de acero y se divide en 4 partes; dos tapas de un acero de 4 mm y los dos núcleos de acero de 10 mm. Los núcleos se soldaron a las tapas una vez centrados y tiene un agujero para colocar un perno que cumple la función de centrar el molde y sellar.

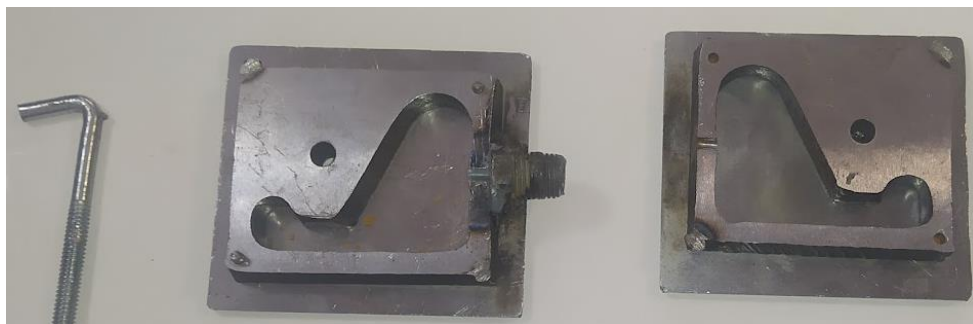


Imagen 13 Molde 1

El Molde 2 consta del núcleo en acero de 10 mm y las tapas son de acrílico de 3 mm las cuales se realizó para observar cómo va ingresando el plástico fundido y

se distribuye por el molde. Este molde tiene con fin un uso didáctico, a pesar de eso se obtuvo buenos resultados.

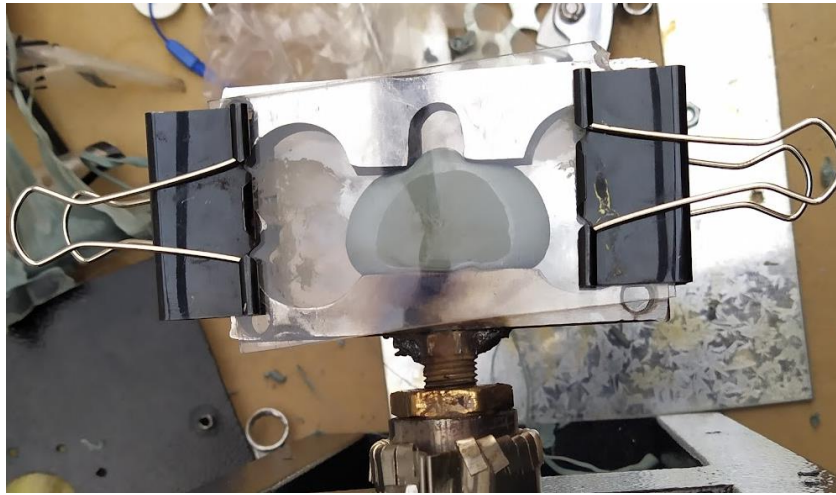


Imagen 14 Molde 2

Sistema electrónico

Resistencias eléctricas

Las resistencias eléctricas utilizadas son las que se indican a continuación.



Imagen 15 Resistencias eléctricas

## Control de temperatura

Para mantener la temperatura estable del sistema se usó un controlador PID comercial el cual comprende de 3 elementos para su funcionamiento:

### 1. Controlador

Este controlador tiene diferentes configuraciones como: la de ser control ON/OFF o PID, modificación de valores PID, escala de temperatura, alarma, modificar el setpoint, admite diferentes tipos de sensores de temperatura.

### 2. Relé de estado sólido

Es un relé que tiene una salida de 24 a 380 VAC y tiene una entrada de 3 -32 VDC.

### 3. Termocupla tipo k

La termocupla tipo K soporta una temperatura de 0 – 600 °C



Imagen 16 Sistema de control de temperatura

El cableado para todas las conexiones eléctricas se lo realizó según el consumo de las resistencias eléctricas que alcanzan una corriente entre las dos de 4 Amperios, con esa información se puede ver en el Anexo 7 que el calibre AWG 16 soporta esa corriente por lo tanto se eligió ese calibre.

### Resultados obtenidos

En el análisis QFD se obtuvo varios requerimientos del cliente que se tomaron en cuenta para el diseño y la elaboración de la máquina con el fin que se cumplan los mismos.

- Fácil de usar

La fuerza necesaria para dar movimiento a la extrusora es de 5 N.

$$5 N = M * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$M = 0.50 kg$$

Con una masa de 0.5 kilogramos se puede hacer funcionar la máquina eso significa que no requiere un esfuerzo excesivo para el uso de la parte de extrusión que consiste en poner la materia prima en la tolva y darle movimiento a la manivela.

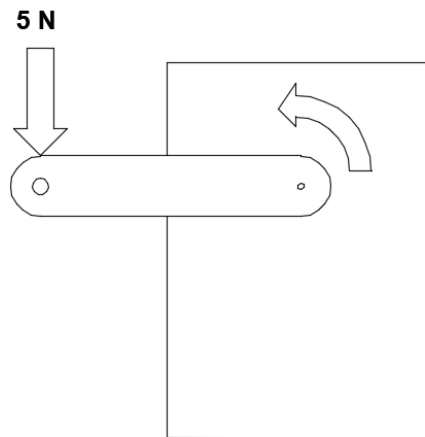


Gráfico 17 Fuerza necesaria para funcionamiento

- Barato

En el mercado local no existe una máquina similar con la que se pueda comparar el valor, solo existen extrusoras e inyectoras de uso industrial las cuales tienen precios elevados; pero se puede comparar con algunas opciones similares que existen en otros países.

Tabla 11 Comparación de precios

<b>Máquina</b>		<b>Precio</b>
Basic Extrusion		1200 euros (precio estimado de los materiales en Países Bajos)
<b>ZEPHYR BROS.</b> Machine - Benchtop Extruder		4890 dólares australianos
Proyecto de titulación		500 dólares (precio estimado de los materiales en Ecuador)

En la tabla se puede observar que la propuesta realizada es la más barata de las tres opciones con características parecidas.

- Ligero y tamaño razonable

La máquina tiene un peso de 12 kilogramos y unas medidas de 21\*45\*33 centímetros, son magnitudes que puede cargar y trasladar una persona adulta. Como se observa en la siguiente imagen, el peso y tamaño reducido nos permite que el traslado sea de manera fácil.



Imagen 17 Transporte de la máquina

- Silencioso

El funcionamiento del sistema eléctrico no produce ningún ruido y en cuanto al sistema mecánico el mecanismo de manivela emite un ruido muy bajo.

- Seguro

El diseño electrónico se realizó con un fusible que es un elemento de seguridad contra cortocircuitos que puedan ocurrir. El controlador de temperatura también admite tensiones hasta de 240 VAC al igual que el relé de estado sólido.

Ya aprobado el prototipo final se realizó una simulación del análisis estático con la estructura y los materiales que se van a utilizar.

Las cargas que actúan en la estructura son de 60 N en la parte de la chumacera que soporta el peso de la misma y las fuerza que se emplea para mover el tornillo sinfín; la otra carga es de 40 N que se refiere al peso del cañón, tolva, tornillo sinfín y materia prima.

Como se observa en este análisis el límite elástico de la estructura es muy superior a los esfuerzos que actúan en la misma por lo que se concluye que no existirá ningún problema estructural.

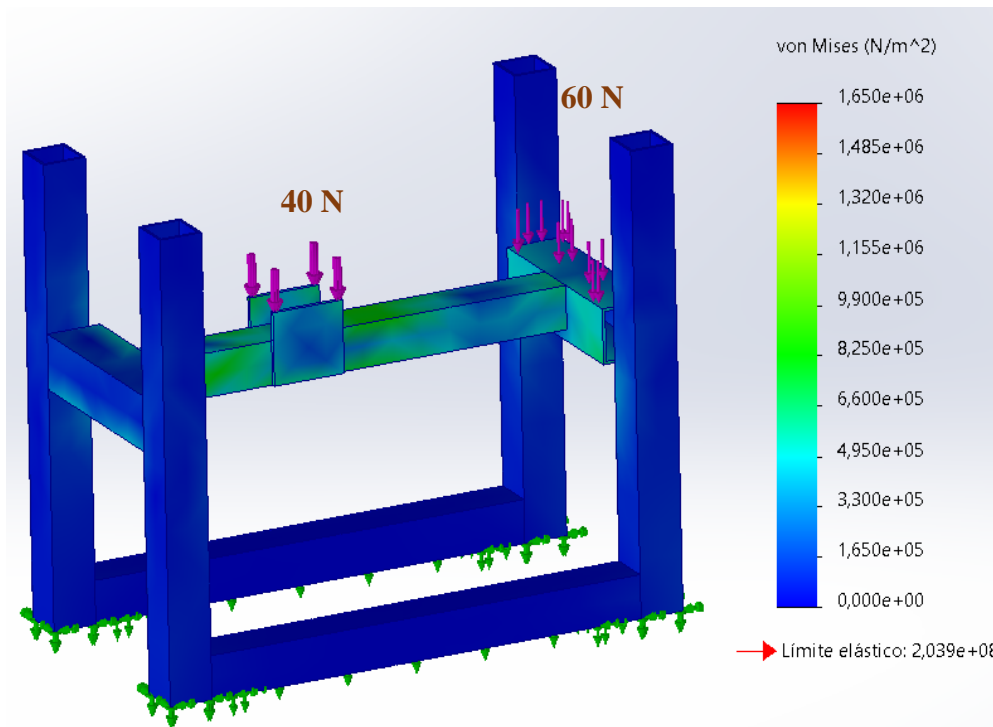


Gráfico 18 Análisis estático de la estructura

La carcasa de la máquina aparte de ser un elemento estético también es un elemento de seguridad para aislar las fuentes de calor que son peligrosas.

- Manufactura

En el caso que se requiera algún repuesto de la máquina se la puede fabricar de manera sencilla mediante planos. Otras piezas de la estructura son de fácil acceso en el mercado local.

Tabla 12 Origen de los elementos

<b>Elemento</b>	<b>Origen</b>
Cañón	Manufactura local: torno y amoladora
Manivela	Manufactura local: torno, taladro, machuelo, sierra, esmeril.
Estructura	Manufactura local: sierra, suelda, taladro, esmeril.
Pernos	Compra local
Chumacera	Compra local
Broca(tornillo sinfín)	Importación directa
Tolva y tapas	Manufactura local: corte plasma, corte láser

### Prototipos

En el prototipo 1.0 se pudo comprobar la funcionalidad de la máquina, pero no era un diseño estético ni seguro.





Imagen 18 Prototipo 1.0

En el prototipo 2.0 y final se logró realizar un diseño que sea estético, seguro no solo porque protege todo el cableado sino también porque ayuda a que no esté expuesto las zonas calientes de la máquina. Este diseño también es más robusto y su transporte es de manera fácil.

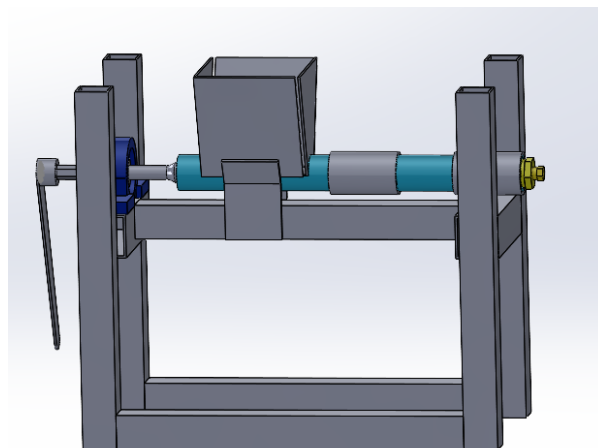


Gráfico 19 Interior de la máquina sin tapas y electrónica

Con todos los análisis de materiales, diseño y manufactura se realizó la construcción de la máquina obteniendo un resultado como el que se indica a continuación.



Imagen 19 Prototipo 2.0 y final

En cuanto a las características de funcionamiento de la máquina y por medio de las pruebas de funcionamiento se logró obtener los datos mostrados en las Tabla 13 Características del proyecto

Tabla 13 Características del proyecto

Descripción	Unidad	Valor
Tiempo de arranque	minutos	10
Arrastre de material con el sistema vacío	Revoluciones	15
Temperatura del sistema	°C	230
Producción 250 gramos	minutos	15
Velocidad de producción	rpm	50

Para la etapa de pruebas se usó la máquina en modo extrusora en el que solamente produce un hilo de plástico que sale por medio de la boquilla, para este ejemplo se

realizó una empuñadura para una llave mixta en donde mientras salía el hilo se giraba la llave para obtener el producto de la imagen a continuación. En esta prueba también se pudo conocer que mientras más rápida es la velocidad que se le da al tornillo sinfín, el diámetro del hilo sale más delgado sin importar el agujero de la boquilla.



Imagen 20 Filamento obtenido

Con el molde de madera plástica se realizaron diferentes pruebas de funcionamiento con diferentes temperaturas, dando como mejor resultado una temperatura de 230 °C para PP en la que se obtuvo un acabado liso y con la forma del molde.



Imagen 21 Pruebas con molde para madera plástica

Con el Molde 1 también se realizó el mismo procedimiento que con el molde de madera plástica y con una temperatura de 230°C se obtuvo el mejor resultado.



Imagen 22 Pruebas con Molde 1

En el caso de las pruebas con el molde 2, el plástico extruido a una temperatura de 230°C tomó la forma del mismo y al esperar que se solidifique el producto se pudo obtener un resultado como el que se esperaba.

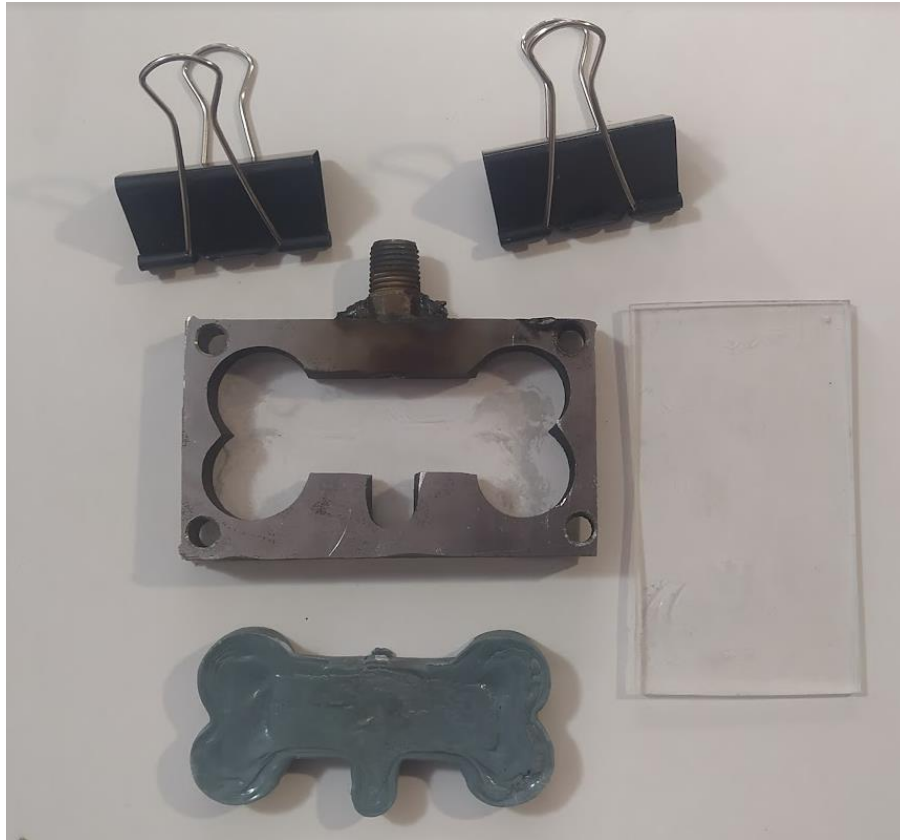


Imagen 23 Pruebas con Molde 2

### **Evaluación de la ejecución**

La operación de la máquina a escala se la realiza de la siguiente manera como se observa en la figura siguiente:

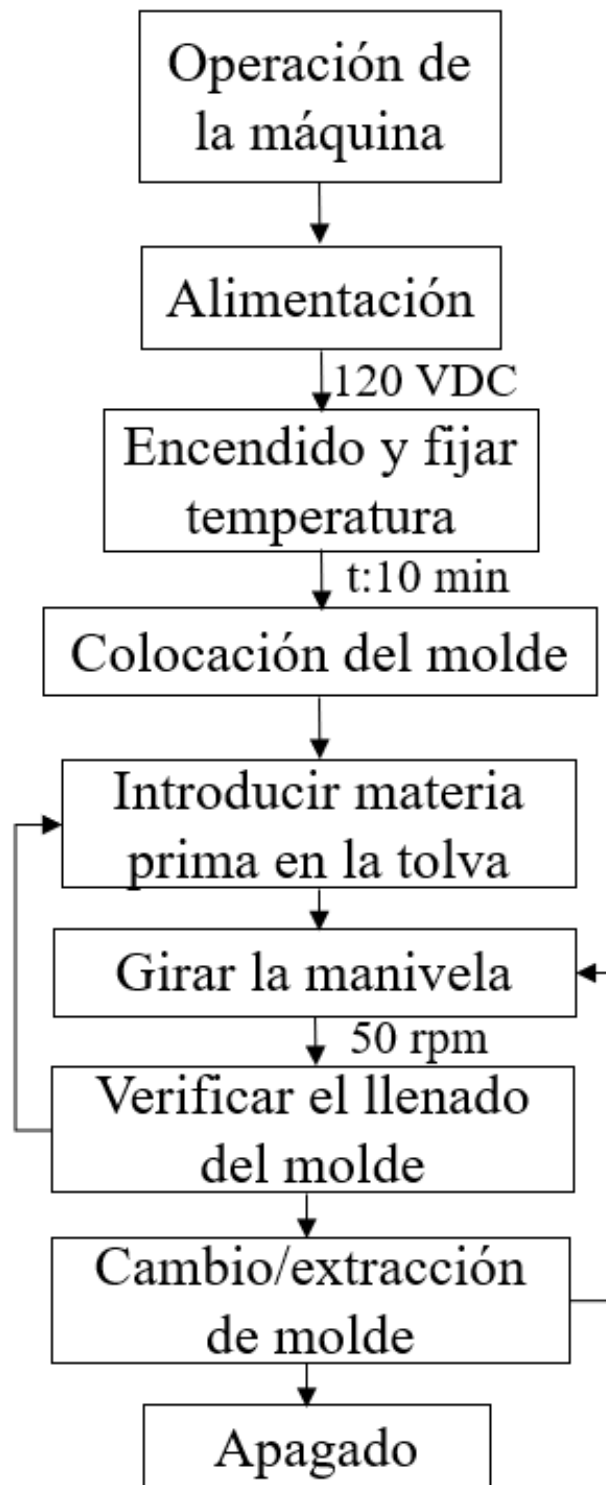


Gráfico 20 Operación del proyecto

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones:**

- Se diseñó y construyó una máquina a escala de fácil uso, mantenimiento y bajo costo, la cual permite elaborar nuevos productos a partir de plástico reciclado.
- El prototipo puede tener varias funciones como la de ser extrusora, inyectora si se le coloca un molde para hacer varias figuras y por último producir madera plástica teniendo el respectivo molde.
- La recolección y clasificación de basura plástica en el país se hace en su mayoría de forma rudimentaria por lo que es muy baja la cantidad que se logra procesar y existe una gran cantidad de materia prima que se desperdicia.
- Se evidenció que, aunque en pequeña cantidad a comparación de la producción total, en el país existen empresas que reciclan varios tipos de plástico siguiendo todo un proceso para darle una nueva vida a esa basura plástica.
- El uso de software CAD, CAM, CAE permitió que se optimice el proceso de diseño, corrigiendo errores en el mismo antes de manufacturar.
- Los cálculos de diseño junto con el método de criterios ponderados y haciendo un análisis de las características técnicas ayudó a seleccionar los materiales y equipos más adecuados.

- Los materiales utilizados para la construcción son de fácil acceso en el mercado ecuatoriano y se comprobó mediante un análisis estático que la máquina no tendrá ningún problema estructural.
- La temperatura del sistema con la que mejores resultados se obtuvo fue de 230°C utilizando polipropileno reciclado, dependiendo si se utiliza para diferentes plásticos es necesario hacer pruebas de funcionamiento para saber que temperatura es la indicada.
- Los productos elaborados en los moldes fabricados para las pruebas de funcionamiento tuvieron buenos resultados con lo que se concluye que el fin de la máquina cumple las expectativas.

#### **Recomendaciones:**

- Es importante que acabado el uso de la maquinaria se trate de limpiar totalmente todo el material que se queda en el interior del cañón.
- Para el diseño de cada elemento es importante conocer que materiales, elementos y equipos existen comercialmente con el fin de que se pueda materializar ese diseño y no se tenga que rediseñar.
- El uso de polipropileno reciclado en forma de pellets ayuda significativamente a la fundición debido a su tamaño pequeño de aproximadamente 3 mm este se derrite de manera uniforme, en el caso de usar otro material que no sea peletizado es importante que sea del menor tamaño posible.
- No todos los plásticos son reciclables debido a que algunos tipos expulsan gases tóxicos en gran cantidad por lo que es importante revisar los códigos que tiene cada plástico y usar solamente los materiales recomendables para reciclar.
- Se debe conocer la temperatura de fundición de cada tipo de plástico para indicar en el controlador y no forzar los elementos del prototipo al querer fundir un plástico de mayor temperatura usando una menor temperatura.



- No elevar la temperatura en exceso ya que esto produce que los plásticos tengan una mayor temperatura que la de fundición y esto provoca que exista gases que inclusive son tóxicos.
- Es importante tener cuidado con la zona de la boquilla cuando está en funcionamiento debido a que alcanza altas temperaturas y puede provocar graves quemaduras.
- La colocación o intercambio de moldes se debe realizar cuando el sistema llega a la temperatura deseada y usando equipo de protección ya que la temperatura de la boquilla es alta.
- Entre mejor acabado superficial tengan los moldes, mejor acabado tendrán los productos que se elaboren. Por ello es importante utilizar procesos de manufactura modernos como mecanizado CNC para obtener moldes adecuados.

## LITERATURA CITADA:

- CEPAL. 2017. «Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)». Text. CEPAL. 17 de febrero de 2017. <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>.
- Conke, Leonardo S. 2018. «Barriers to Waste Recycling Development: Evidence from Brazil». *Resources, Conservation and Recycling* 134 (julio): 129-35. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.03.007>.
- De-la-Torre, Gabriel Enrique. 2020. «Microplastics: An Emerging Threat to Food Security and Human Health». *Journal of Food Science and Technology* 57 (5): 1601-8. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04138-1>.
- Espino Penilla, Marisol, y Yenthl Koot. 2020. «Nuestro mundo cubierto de plástico: de la movilidad global del plástico a las consecuencias y respuestas locales». *Informes Científicos Técnicos - UNPA* 12 (4): 146-60. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v12.n4.759>.
- Gjenge Makers. 2023. «Gjenge Makers». Gjenge Makers. 2023. <https://www.gjenge.co.ke>.
- Hopewell, Jefferson, Robert Dvorak, y Edward Kosior. 2009. «Plastics recycling: challenges and opportunities». *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364 (1526): 2115-26. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>.
- Kale, Swapnil K, Amit G Deshmukh, Mahendra S Dudhare, y Vikram B Patil. 2015. «Microbial Degradation of Plastic: A Review».

- McKeen, Laurence W. 2014. «Introduction to the Physical, Mechanical, and Thermal Properties of Plastics and Elastomers». En *The Effect of Long Term Thermal Exposure on Plastics and Elastomers*, 43-71. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-22108-5.00003-5>.
- Mena, Mónica. 2021. «La producción de plástico en el mundo». Statista Infografías. 30 de junio de 2021. <https://es.statista.com/grafico/21899/distribucion-de-la-produccion-mundial-de-plastico-por-region-en-2018/>.
- Nelplast Eco. 2023. «Eco Blocks». 2023. <http://www.nelplastgh.com/services/eco-blocks/>.
- Nkwachukwu, Onwughara, Chukwu Chima, Alaekwe Ikenna, y Lackson Albert. 2013. «Focus on Potential Environmental Issues on Plastic World towards a Sustainable Plastic Recycling in Developing Countries». *International Journal of Industrial Chemistry* 4 (1): 34. <https://doi.org/10.1186/2228-5547-4-34>.
- OECD. 2022. «Global Plastic Outlook». Organisation for Economic Co-operation and Development. <https://doi.org/10.1787/c0821f81-en>.
- OPEMED. 2020. «El (complejo) proceso del reciclaje del plástico | Opemed». *Operativa Medioambiental* (blog). 2020. <http://gestionderesiduosonline.com/el-complejo-proceso-del-reciclaje-del-plastico/>.
- Ortega, Javier Sulé. 2020. «El papel esencial de los recicladores en tiempos de pandemia». *El País*, 22 de junio de 2020, sec. Planeta Futuro. [https://elpais.com/elpais/2020/06/12/planeta\\_futuro/1591966071\\_168333.html](https://elpais.com/elpais/2020/06/12/planeta_futuro/1591966071_168333.html).
- Parveen, Nazia, Dig Vijay Singh, y Rifat Azam. 2020. «Innovations in Recycling for Sustainable Management of Solid Wastes»: En , editado por Rouf Ahmad Bhat, Humaira Qadri, Khursheed Ahmad Wani, Gowhar Hamid Dar, y Mohammad Aneesul Mehmood, 177-210. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0031-6.ch010>.
- Téllez Maldonado, Alejandra. 2012. «La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo

de política pública en Bogotá».

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10015>.

Thompson, Richard C., Shanna H. Swan, Charles J. Moore, y Frederick S. Vom Saal. 2009. «Our Plastic Age». *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364 (1526): 1973-76.

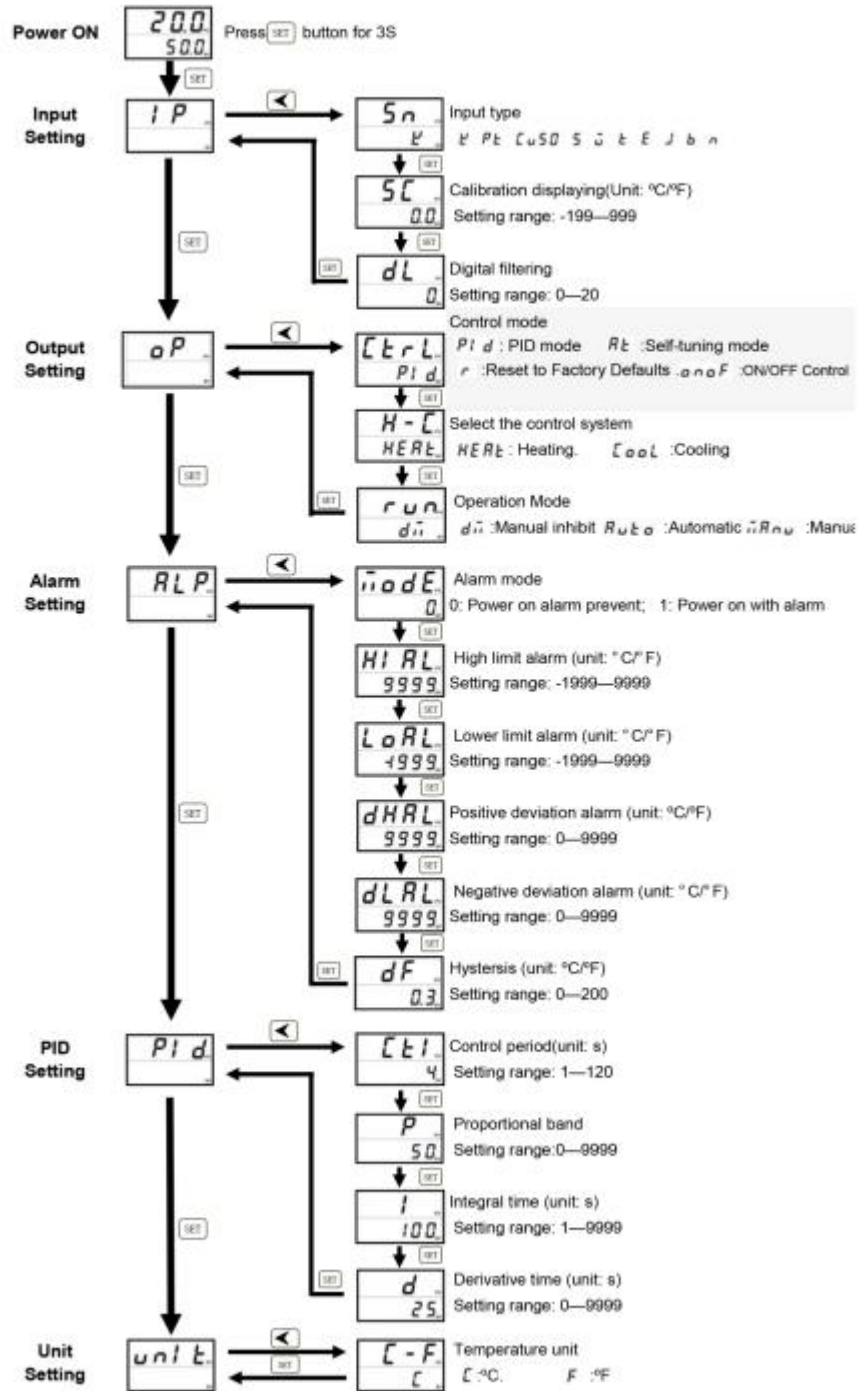
<https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0054>.

Zephyr Bros. 2023. «Zephyr Bros. Benchtop Extrusion Machine». Precious Plastic Melbourne. 2023. <https://www.plastic.org.au/products/extruder-benchtop>.



## Anexo 2: Configuración del controlador de temperatura

Setup Flow Chart



### Anexo 3: Temperatura de fundición

Polímero	T <sub>f</sub> (°C)	T <sub>v</sub> (°C)
Polietileno de baja densidad (BD)	115	-120
Polietileno de alta densidad (AD)	137	-120
Cloruro de polivinilo	175-212	87
Polipropileno	168-176	-16
Poliestireno	240	85-125
Poliacrilonitrilo	320	107
Teflón	327	
Policlorotrifluoroetileno	220	
Polimetilmetacrilato (acrílico)		90-105
ABS		88-125
<b>Polímeros por condensación</b>		
Acetal	181	-85
6.6-nylon	265	50
Acetato de celulosa	230	
Policarbonato	230	145
Poliéster	255	75
<b>Elastómeros</b>		
Silicón		-123
Polibutadieno	120	-90
Policloropreno	80	-50
Poliisopreno	30	-73

## Anexo 4: Clasificación de los plásticos

# CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS

	<b>PET O PETE (POLIETILENO TEREFALATO)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Envases alimentarios</li></ul>	
	<b>HDPE (POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Bolsas de supermercado, productos de limpieza, envases de leche, zumos o yogurt</li></ul>	
	<b>V O PVC (VINÍLICOS O CLORURO DE POLIVINILO)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tubos, cañerías, botellas de detergente, equipamientos médicos, suelas de zapatos, etc,...</li></ul>	
	<b>LDPE (POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Contenedores, papeleras, paneles, tuberías o baldosas</li></ul>	
	<b>PP (POLIPROPILENO)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Cepillos, bandejas, cables de batería o señales luminosas</li></ul>	
	<b>PS (POLIESTIRENO)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Vasos y platos de plástico, envases cosméticos o cajas de CD</li></ul>	
	<b>OTROS (MEZCLA DE OTROS PLÁSTICOS)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Gafas de sol o DVD, ciertas botellas o envases alimentarios</li></ul>	

**FIRSTGREEN.ES**



## Anexo 5: Especificaciones de relé de estado sólido SSR-40DA

Type	Terminal Type					PCB Type
Model	SSR-10DA	SSR-25DA	SSR-40DA	SSR-25DA-H	SSR-40DA-H	SSR-P03DA
Rated Load Current	10A	25A	40A	25A	40A	3A
<b>Input Data</b>						
Operating Voltage	3~32VDC					
Min. ON / OFF Voltage	ON > 2.4V , OFF < 1.0V					
Trigger Current	7.5mA / 12V					
Control Method	Zero Cross Trigger					
<b>Output Data</b>						
Operating Voltage	24~380VAC		90~480VAC		24~380VAC	
Min. Black Voltage	600 VAC < Repetive >					
Voltage Drop	1.6 V / 25 C					
Max. Durated Current	135A	275A	410A	275A	410A	135A
Leakage Current	3.0mA	3.0mA	3.0mA	5.0mA	5.0mA	3.0mA
Response Time	ON < 10ms , OFF < 10ms					
<b>General Data</b>						
Dielectric Strength	Over 2.5KVAC / 1min.					
Isolation Strength	Over 50M $\Omega$ / 500VDC					
Operating Temperature	-20 C ~+80 C					
Housing Material	Intensive ABS					
Weight	Appr. 105g					Appr. 15g
<b>Connection Diagram</b>						
<p>The diagram illustrates the internal circuitry of the SSR-40DA. On the left, the 'INPUT CIRCUIT' is connected between terminals 3 (+) and 4 (-). It consists of a resistor and a diode. The output circuit, labeled 'ZERO CROSS CIRCUIT', is connected between terminals 1 and 2. It includes a diode and a resistor. The output terminals 1 and 2 are connected to a 'LOAD' and a 24~380V AC source.</p>						

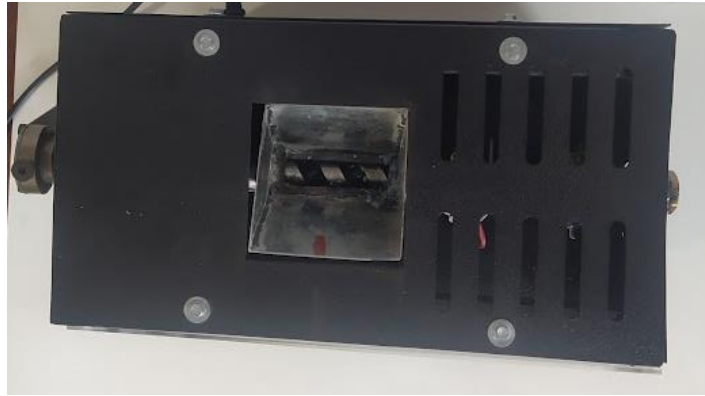
Anexo 6: Especificaciones de los cables AWG

AWG	Dia mm	SWG	Dia mm	Max Amps	Ohms / 100 m
11	2.30	13	2.34	12	0.47
12	2.05	14	2.03	9.3	0.67
13	1.83	15	1.83	7.4	0.85
14	1.63	16	1.63	5.9	1.07
15	1.45	17	1.42	4.7	1.35
16	1.29	18	1.219	3.7	1.48
18	1.024	19	1.016	2.3	2.04
19	0.912	20	0.914	1.8	2.6
20	0.812	21	0.813	1.5	3.5
21	0.723	22	0.711	1.2	4.3
22	0.644	23	0.610	0.92	5.6
23	0.573	24	0.559	0.729	7.0
24	0.511	25	0.508	0.577	8.7
25	0.455	26	0.457	0.457	10.5
26	0.405	27	0.417	0.361	13.0
27	0.361	28	0.376	0.288	15.5
28	0.321	30	0.315	0.226	22.1
29	0.286	32	0.274	0.182	29.2
30	0.255	33	0.254	0.142	34.7
31	0.226	34	0.234	0.113	40.2
32	0.203	36	0.193	0.091	58.9
33	0.180	37	0.173	0.072	76.7
34	0.160	38	0.152	0.056	94.5
35	0.142	39	0.132	0.044	121.2

## Anexo 7: Especificaciones del controlador de temperatura

Supply Voltage	AC 100~240V 50/60Hz (model:ITC-106RH, ITC-106VH)
	AC/DC 12~24V 50/60Hz (model:ITC-106RL, ITC-106VL)
	DC 12~24V (model:ITC-106RL, ITC-106VL)
Operating Voltage Range	85~110% of the rated voltage
Power Consumption	5VA (100~240VAC)
	4VA (12~24VAC)
	3W (12~24VDC)
Display Code	PV: displays in red high luminance LED with 9.9mm height of 4 digits
	SV: displays in green high luminance LED with 8.00mm height of 4 digits
Display Accuracy	±0.2%FS 0.1°C/ °F(<1000°C/ °F); 1°C/ °F(≥1000°C/ °F)
Sampling Period	0.5 second
Temperature Compensation	0~50 °C /32~122°F
Control Output	Relay Output: AC 250V 3A (resistive load)
	Voltage Output (for driving SSR): 12VDC, 30mA DC
	Maximum load: 600Ω
	Electrical Life of Relay:100,000 times
Alarm Output	Relay Output: AC 250V 3A (resistive load)
Weight	About 140g
Working Temperature	-10~ 55 °C / 14~ 131 °F(No freeze or condensation)
Working Humidity	RH 35-85%
Storage Temperature	-25~65°C / -13~ 149 °F (No freeze or condensation)

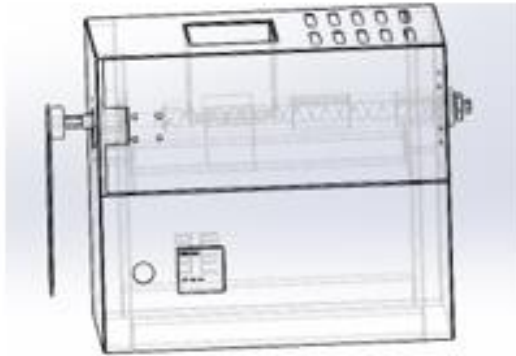
**Anexo 8: Vistas de la máquina en su diseño final**



## Anexo 9: Manual de uso

### MÁQUINA PARA FABRICAR PRODUCTOS CON PLÁSTICO RECICLADO

Manual de uso



Peso: 12 Kg.

Medidas: 21\*45\*33 cm.

Alimentación: 120 VAC

1. Asegurarse que el selector se encuentre en OFF.
2. Conectar el cable a la máquina y al enchufe y colocar el selector en ON.



3. Establecer la temperatura de la máquina según el plástico que se vaya a usar.
4. Esperar que llegue a la temperatura deseada.



Subir temperatura ▲

Bajar temperatura ▼



Caliente

5. Expulsar cualquier resto de residuo del cañón por medio de la manivela.



6. Colocar el molde en el cañón mediante la rosca.



7. Colocar en la tolva el material plástico a usarse



8. Accionar el mecanismo de manivela para llenar el molde con el plástico derretido.



9. Sacar o cambiar molde del cañón girando la rosca al sentido contrario del paso 6.

10. Expulsar todo el material que se pueda quedar en el cañón.(repetir paso 5)

11. Colocar el selector en OFF y esperar que se enfríe todos los elementos.

## **Anexo 10: Planos**

4 3 2 1

F

F

E

E

D

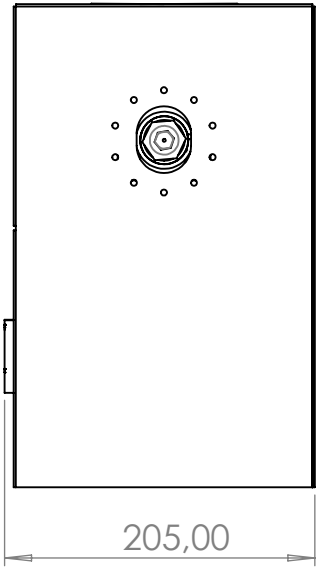
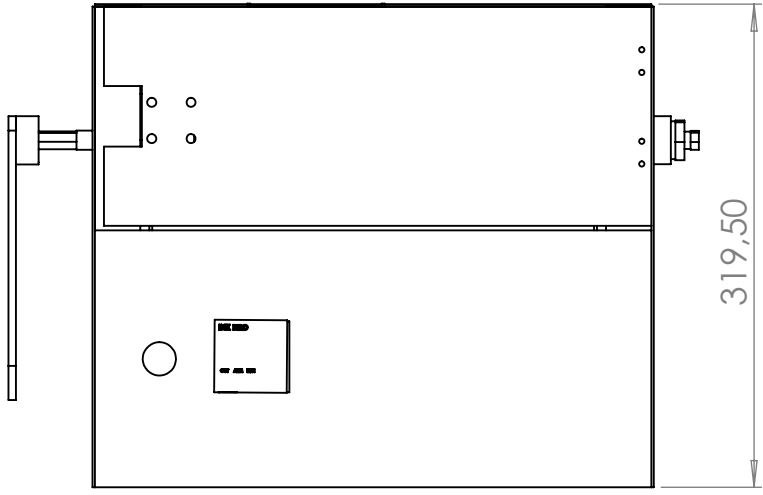
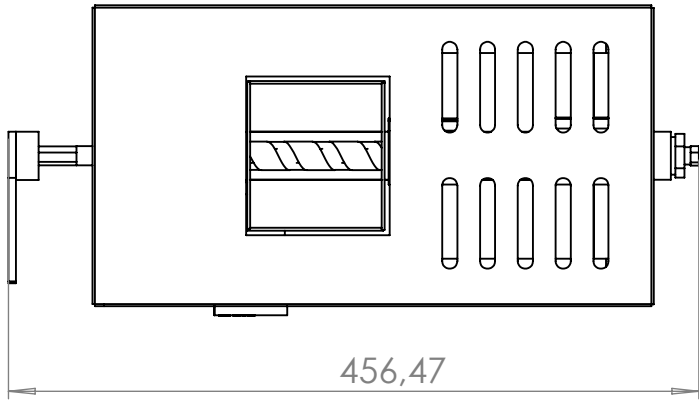
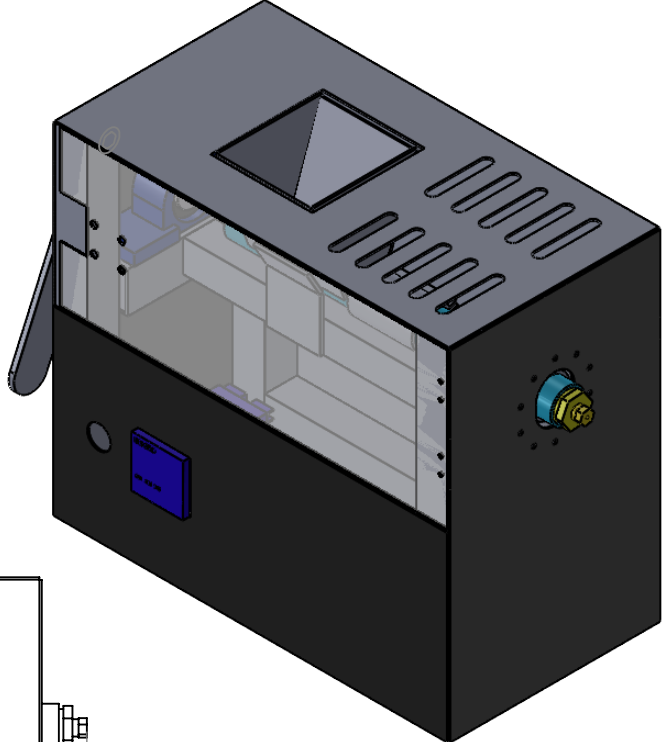
D

C

C

B

B



A

A

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	FRIAS-PAREDES D.		5/12/23
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO: **ANEXOS-PLANOS**

N.º DE DIBUJO: **MEDIDAS GENERALES**

ESCALA: 1:5

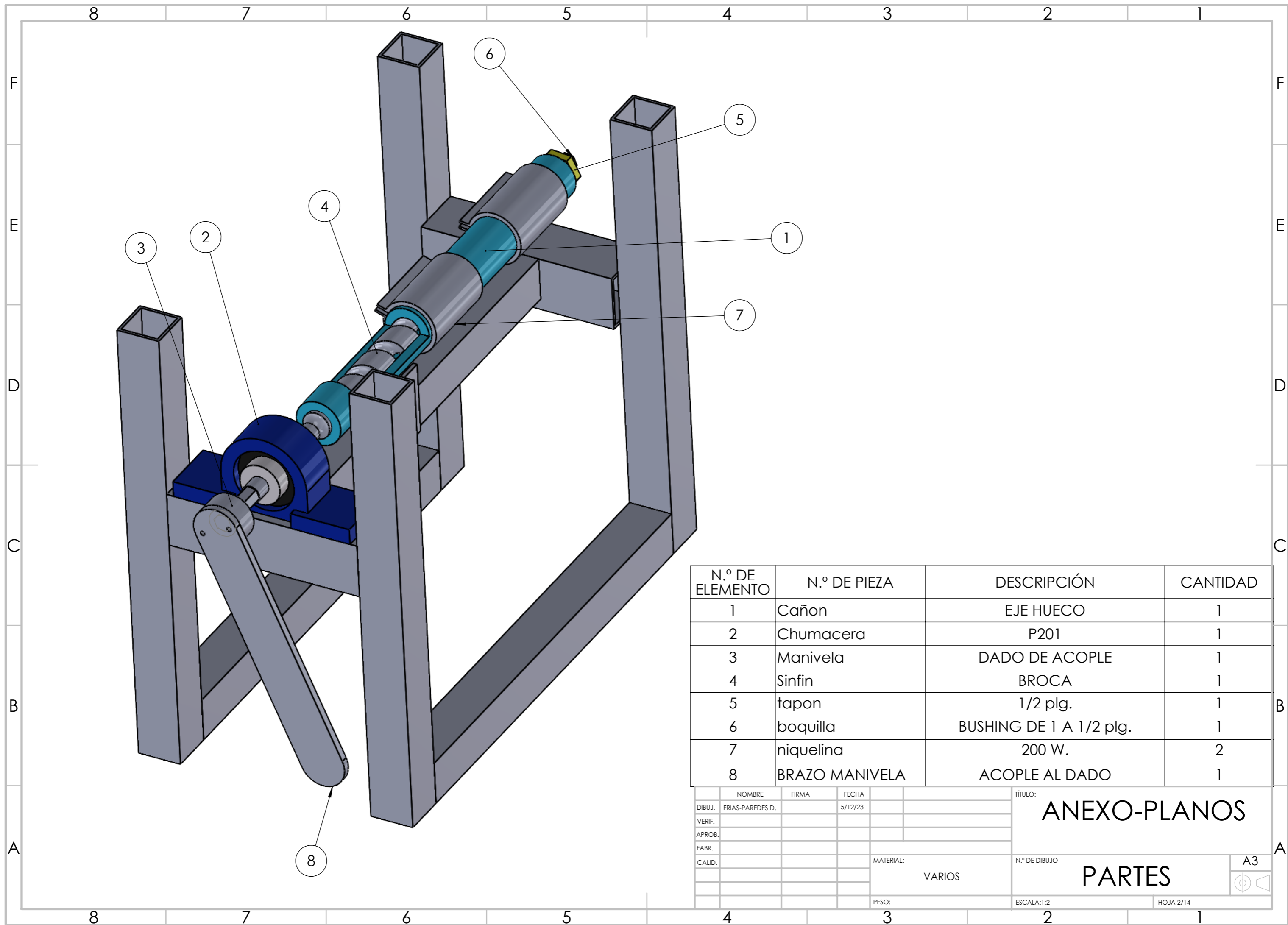
HOJA 1/14

MATERIAL: **VARIOS**

A4

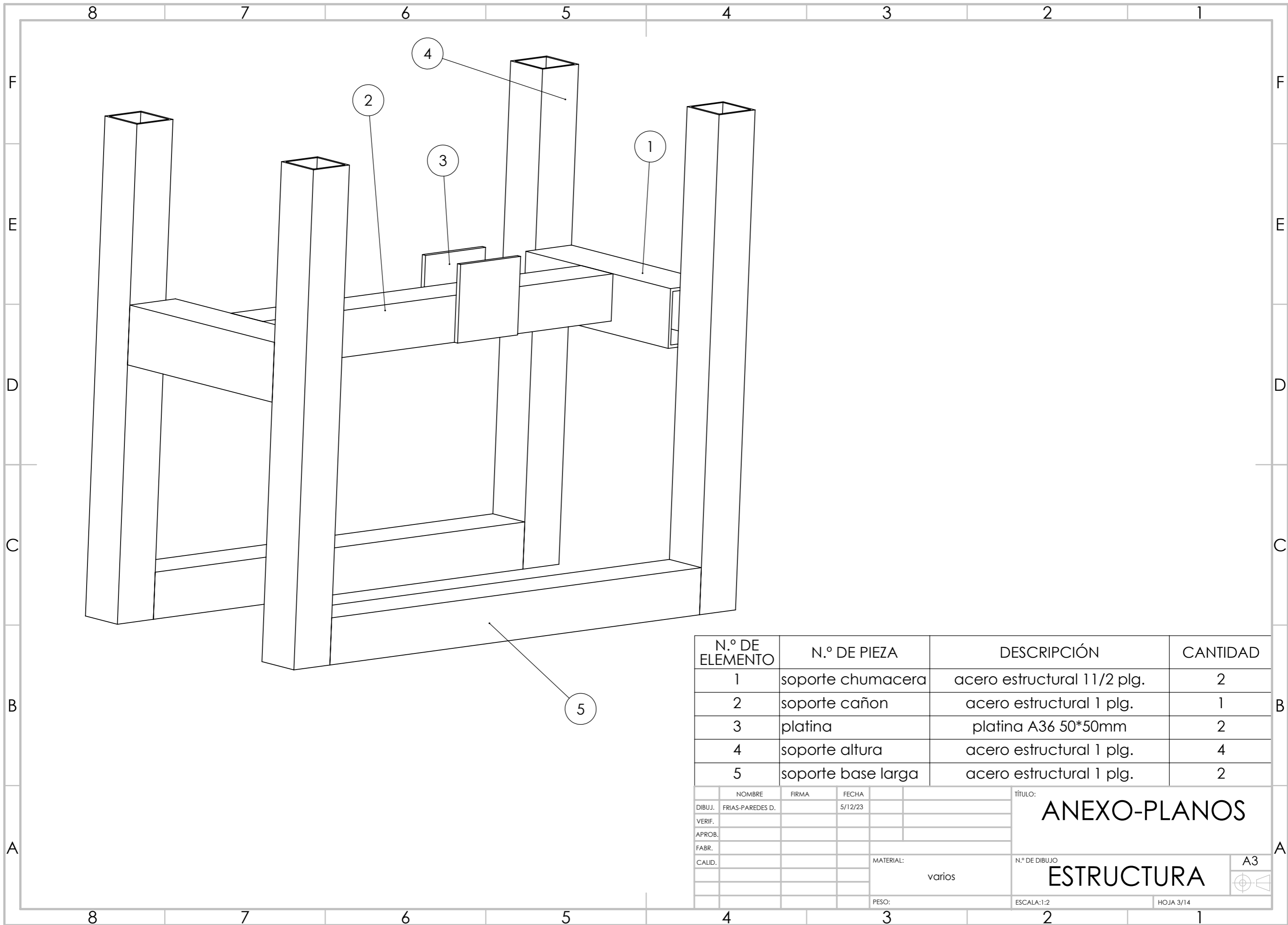
4 3 2 1





N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Cañon	EJE HUECO	1
2	Chumacera	P201	1
3	Manivela	DADO DE ACOPLE	1
4	Sinfin	BROCA	1
5	tapon	1/2 plg.	1
6	boquilla	BUSHING DE 1 A 1/2 plg.	1
7	niquelina	200 W.	2
8	BRAZO MANIVELA	ACOPLE AL DADO	1

NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ. FRIAS-PAREDES D.			5/12/23	ANEXO-PLANOS	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO		
VARIOS			A3		
PESO:			ESCALA:1:2		HOJA 2/14
			PARTES		



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	soporte chumacera	acero estructural 1 1/2 plg.	2
2	soporte cañon	acero estructural 1 plg.	1
3	platina	platina A36 50*50mm	2
4	soporte altura	acero estructural 1 plg.	4
5	soporte base larga	acero estructural 1 plg.	2

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.	FRIAS-PAREDES D.		5/12/23		
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					
				MATERIAL:	
				varios	
				PESO:	

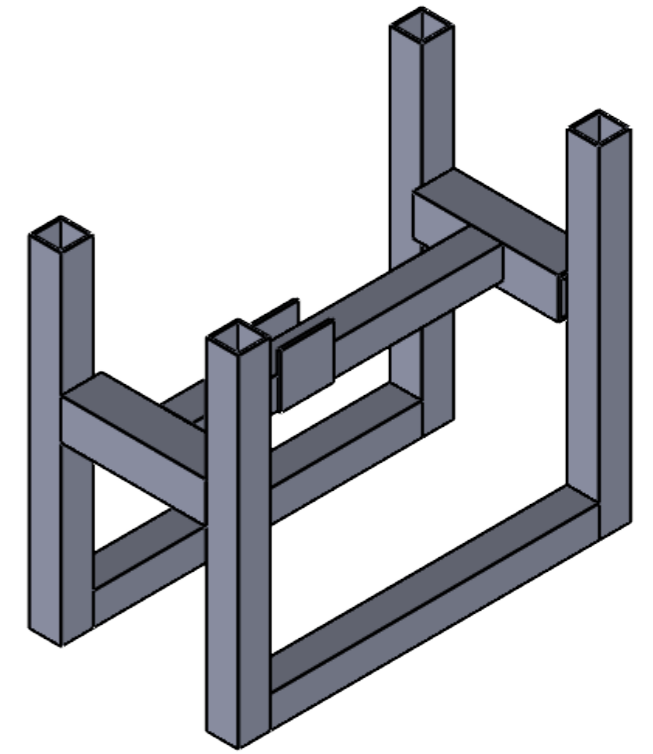
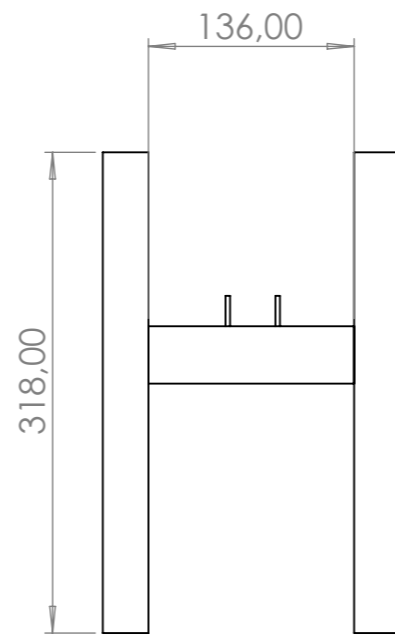
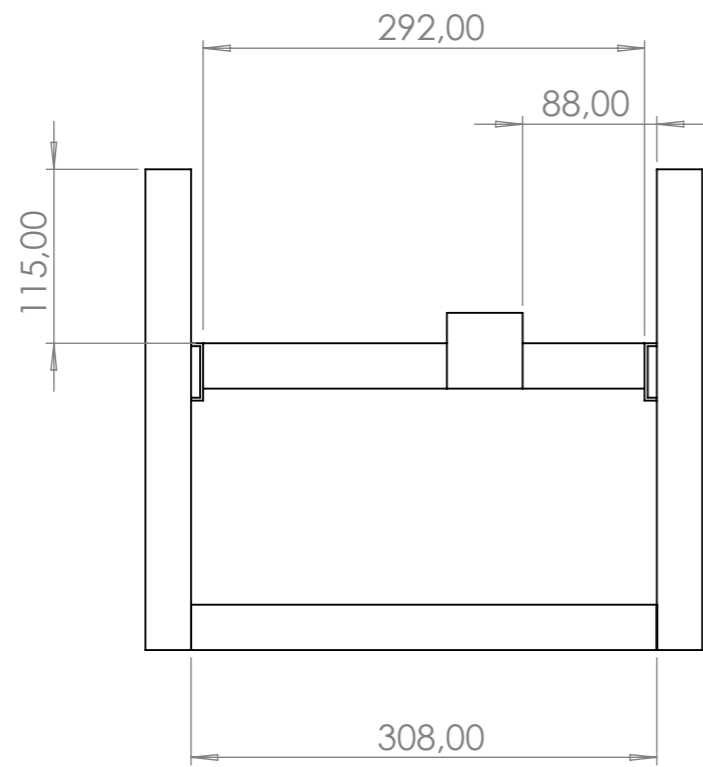
TÍTULO: **ANEXO-PLANOS**

N.º DE DIBUJO: **ESTRUCTURA**

ESCALA: 1:2

HOJA 3/14

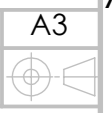
A3



	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	FRIAS-PAREDES D.		5/12/23	ANEXO-PLANOS	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO
				VARIOS	A3
				PESO:	ESCALA:1:5
					HOJA 4/14

ANEXO-PLANOS

ESTRUCTURA



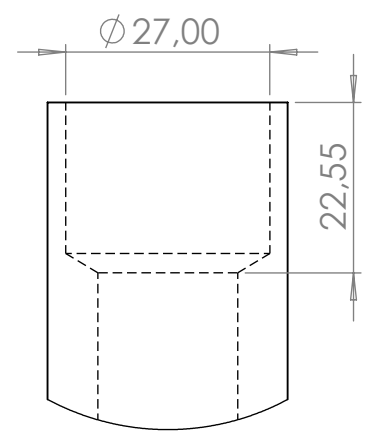
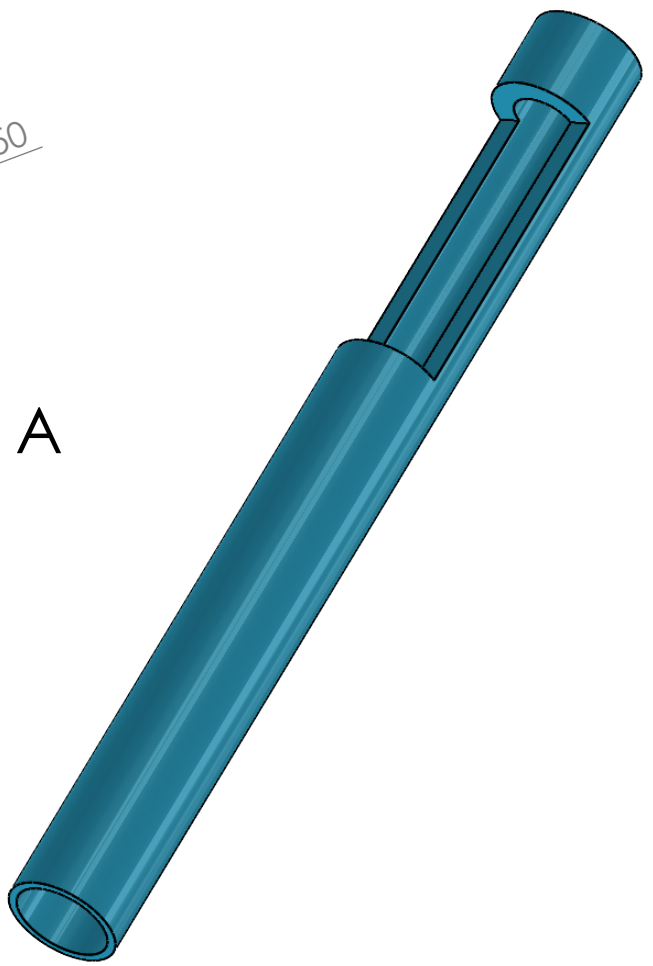
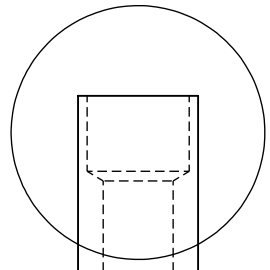
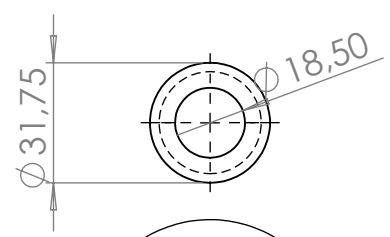
4 3 2 1

F  
E  
D  
C  
B

305,00

90,00

25,00



DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

F  
E  
D  
C  
B

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	FRIAS-PAREDES D.		5/12/23
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			
MATERIAL:			
ACERO 1018			
PESO:			

TÍTULO: **ANEXOS-PLANOS**

N.º DE DIBUJO: **CAÑÓN**

ESCALA: 1:2

HOJA 5/14

A4

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

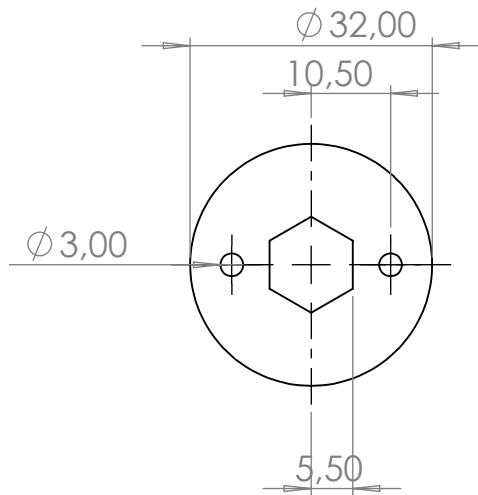
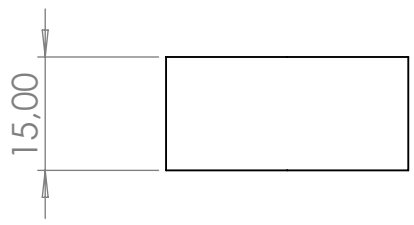
D

C

C

B

B



A

A

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	FRIAS-PAREDES D.		5/12/23
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO: **ANEXOS-PLANOS**

N.º DE DIBUJO: **DADO MANIVELA**

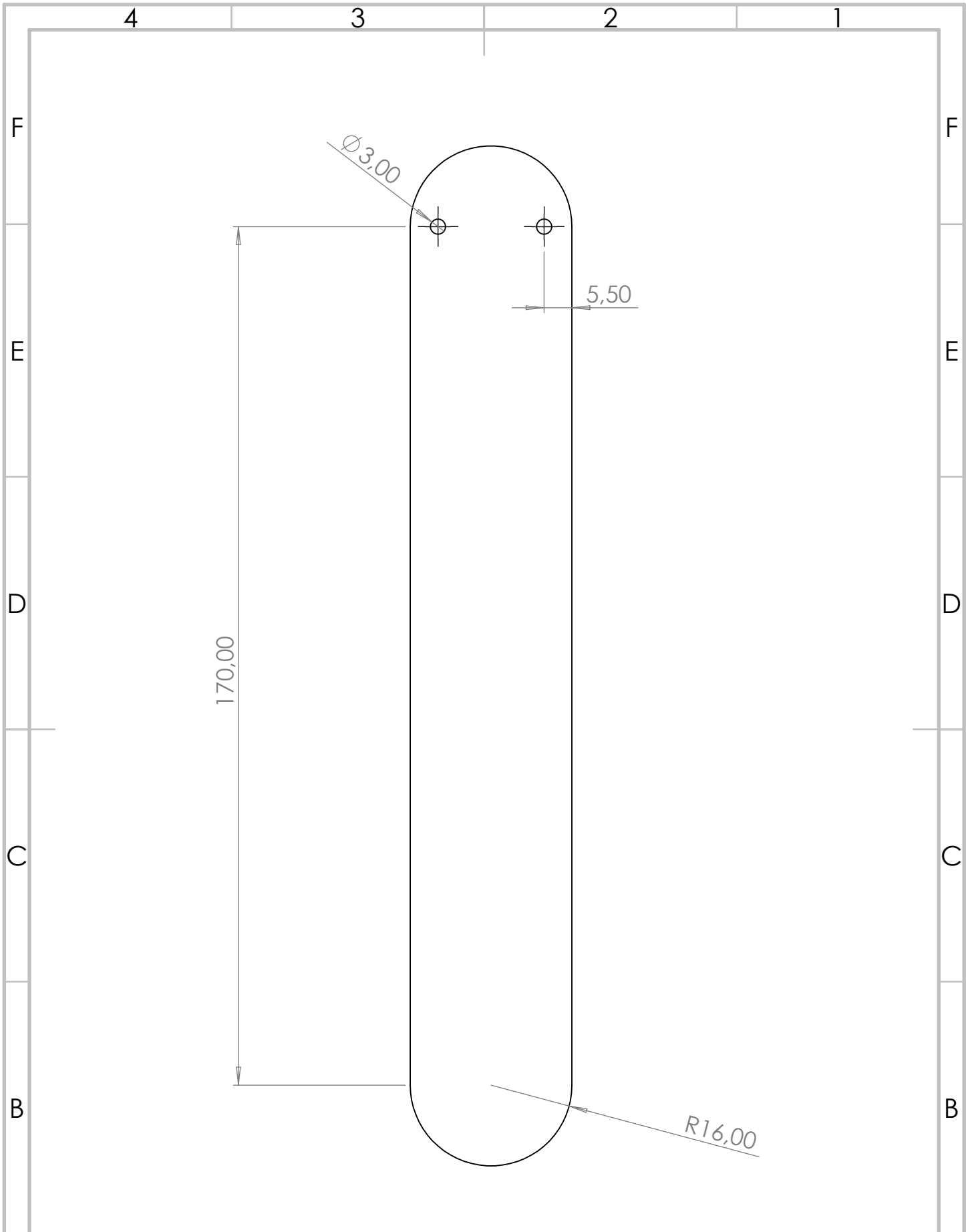
MATERIAL: **ACERO 1018**

ESCALA: 1:1

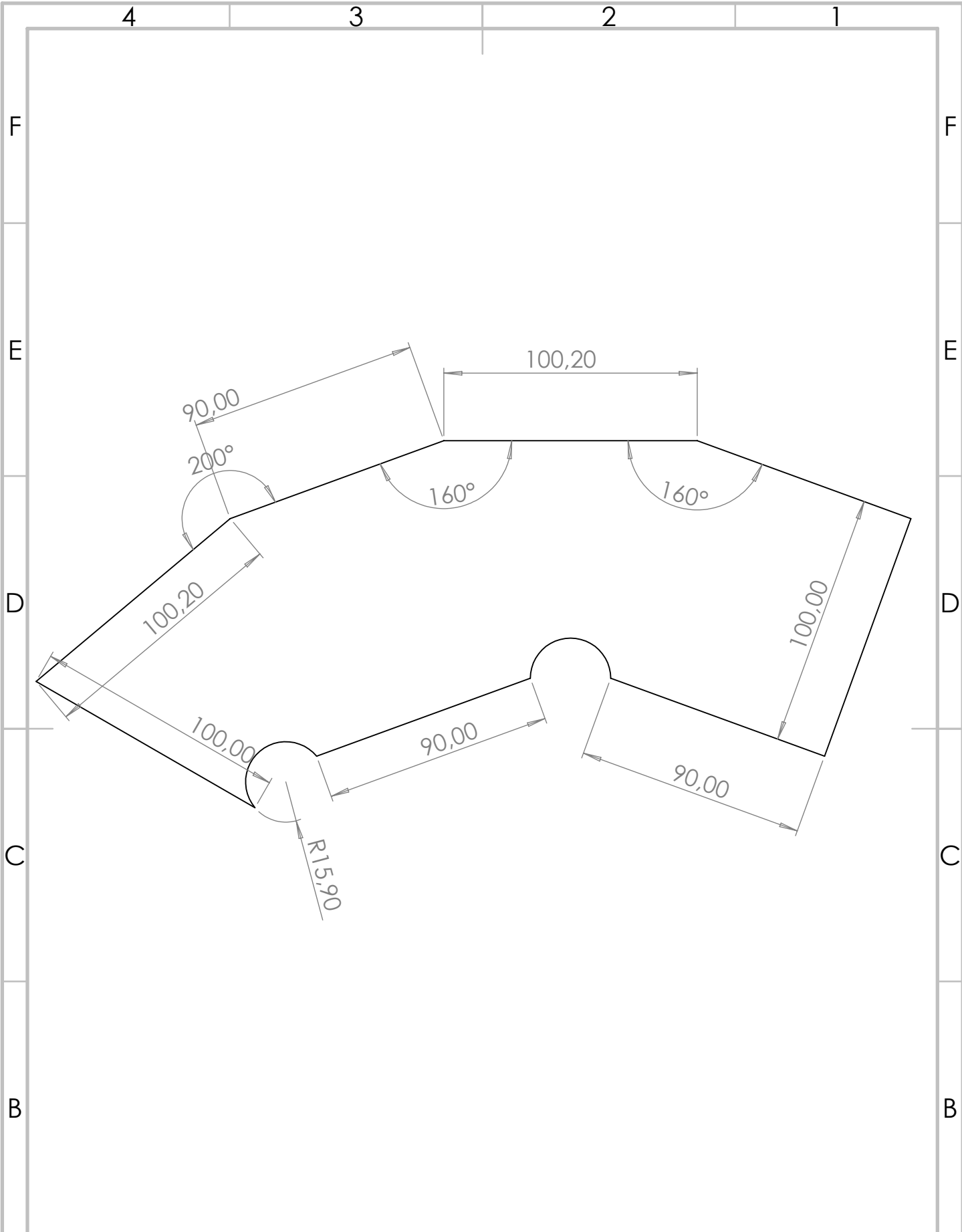
HOJA 6/14

A4

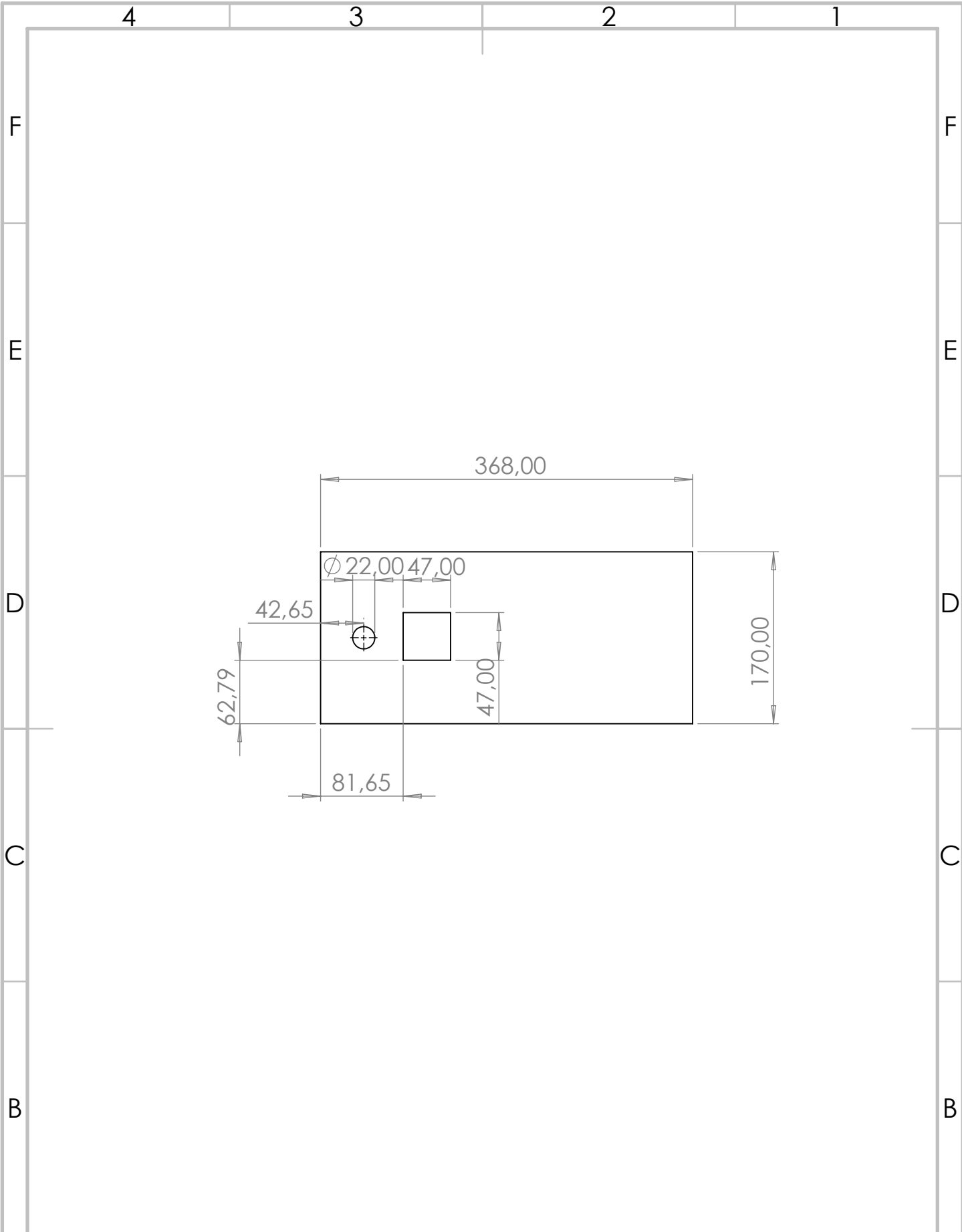
4 3 2 1



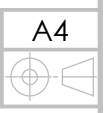
A		NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: <b>PLANOS ANEXOS</b>
	DIBUJ.	FRIAS-PAREDES D.		5/12/23	
	VERIF.				
	APROB.				
	FABR.				
	CALID.				
			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4 
			ACERO A36 5 mm.	<b>BRAZO MANIVELA</b>	
			PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 7/14



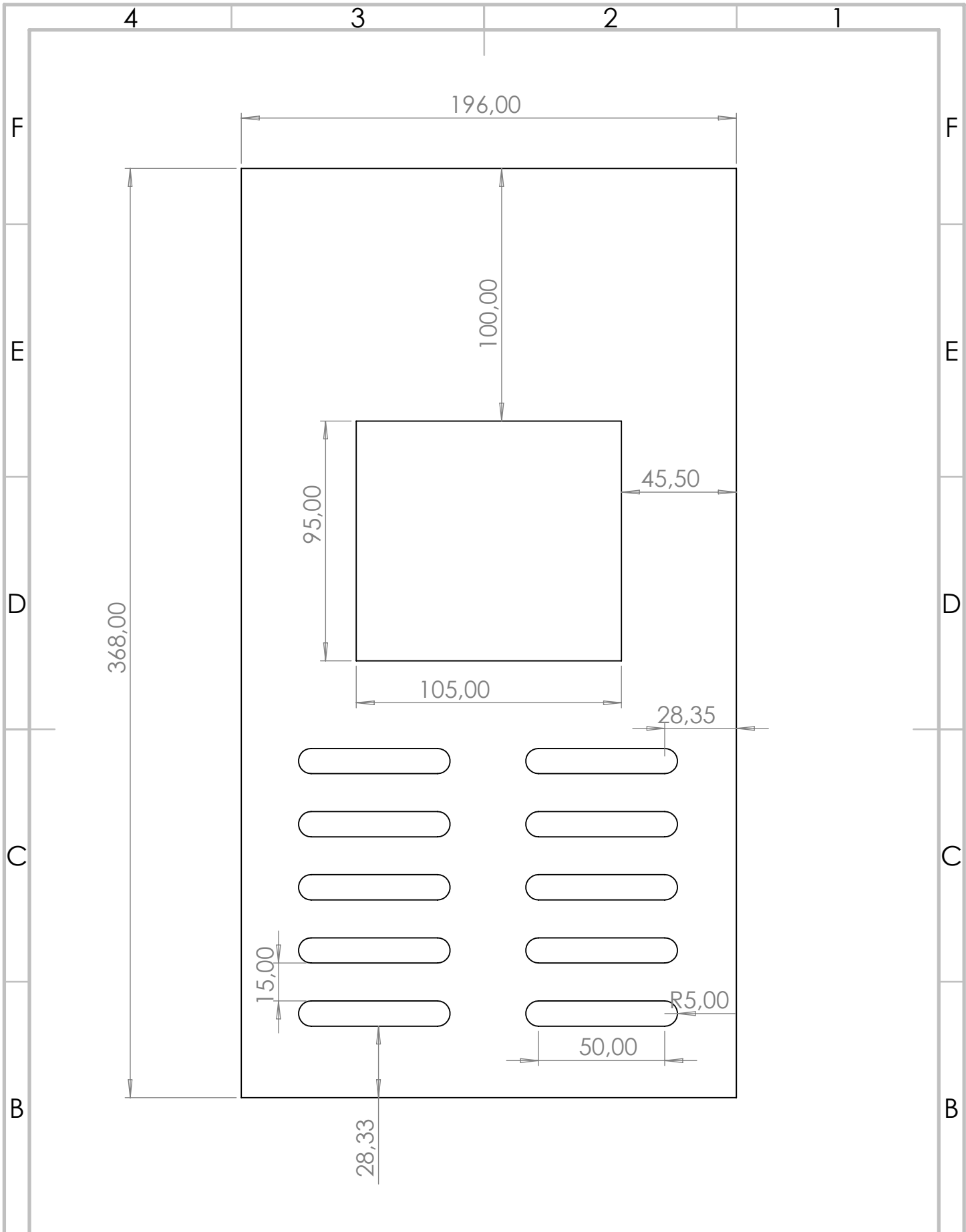
				TÍTULO:	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	<b>ANEXOS-PLANOS</b>	
DIBUJ.	FRIAS-PAREDES D.		5/12/23		
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.				N.º DE DIBUJO	A4
				TOLVA	
MATERIAL:				ESCALA:1:2	
TOL GALVANIZADO 1.5 mm.				HOJA 8/14	
PESO:					



				TÍTULO:	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ANEXOS-PLANOS	
DIBUJ.	FRIAS-PAREDES D.		5/12/23		
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO
			TOL GALVANIZADO 1.5mm	TAPA FRONTAL	
			PESO:	ESCALA:1:5	HOJA 9/14







	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	FRIAS-PAREDES D.		5/12/23
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO: **ANEXOS-PLANOS**

N.º DE DIBUJO: **TAPA SUPERIOR**

MATERIAL: TOL GALVANIZADO 1.5 mm.

PESO:

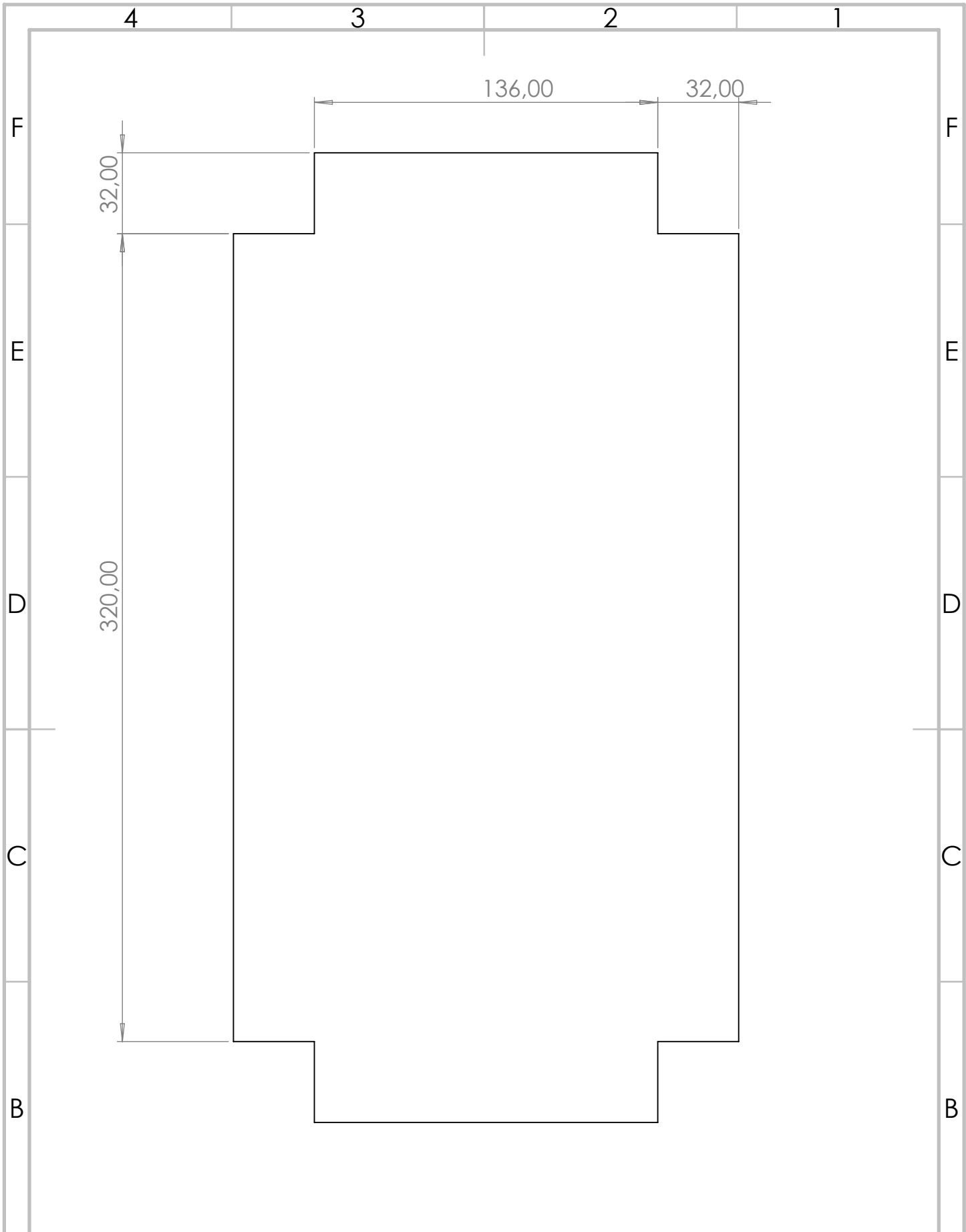
ESCALA: 1:2

HOJA 10/14

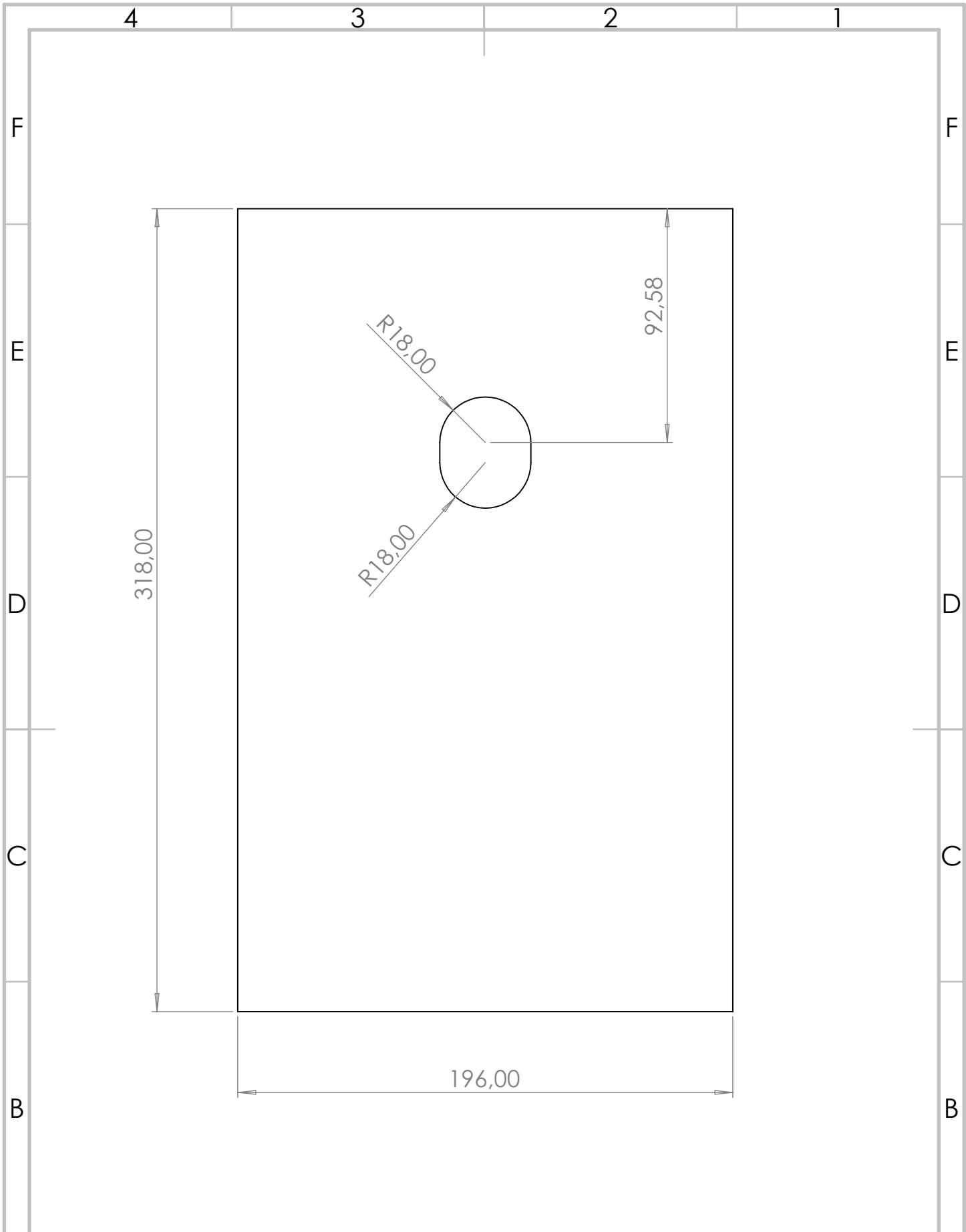
A4

A

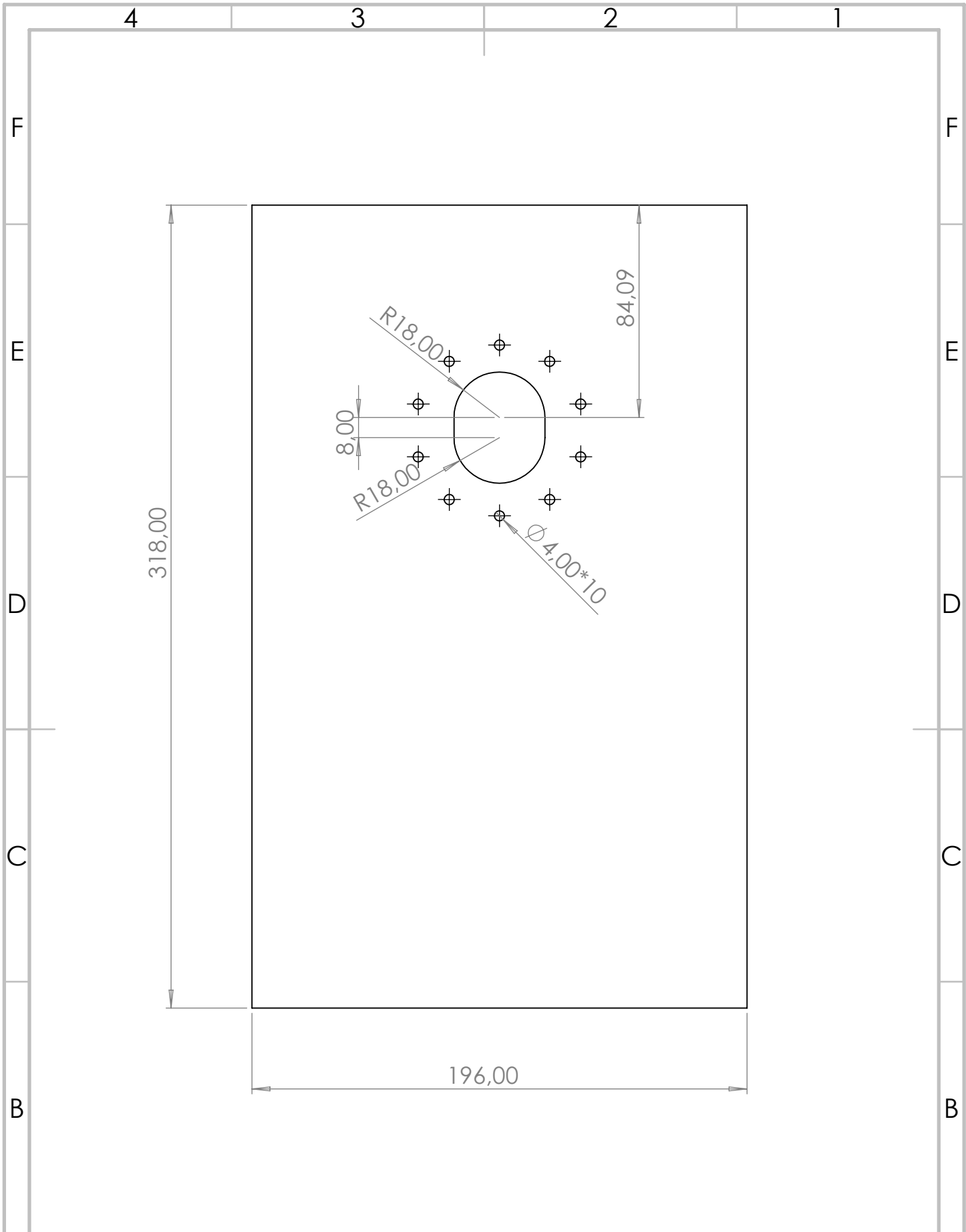
A



A	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: <b>ANEXOS-PLANOS</b>	N.º DE DIBUJO <b>TAPA INFERIOR</b>	A4
	DIBUJ.	FRIAS-PAREDES D.	5/12/23			
	VERIF.					
	APROB.					
	FABR.					
	CALID.					
		MATERIAL:		ESCALA:1:2	HOJA 11/14	
		PESO:				



	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	<b>ANEXOS-PLANOS</b>	
DIBUJ.	FRIAS-PAREDES D.		5/12/23		N.º DE DIBUJO		
VERIF.					<b>TAPA LATERAL I</b>		
APROB.							ESCALA:1:2
FABR.				MATERIAL:			
CALID.				TOL GALVANIZADO 1.5 mm.			
				PESO:			



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	FRIAS-PAREDES D.		5/12/23
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO: **ANEXOS-PLANOS**

N.º DE DIBUJO: **TAPA LATERAL D**

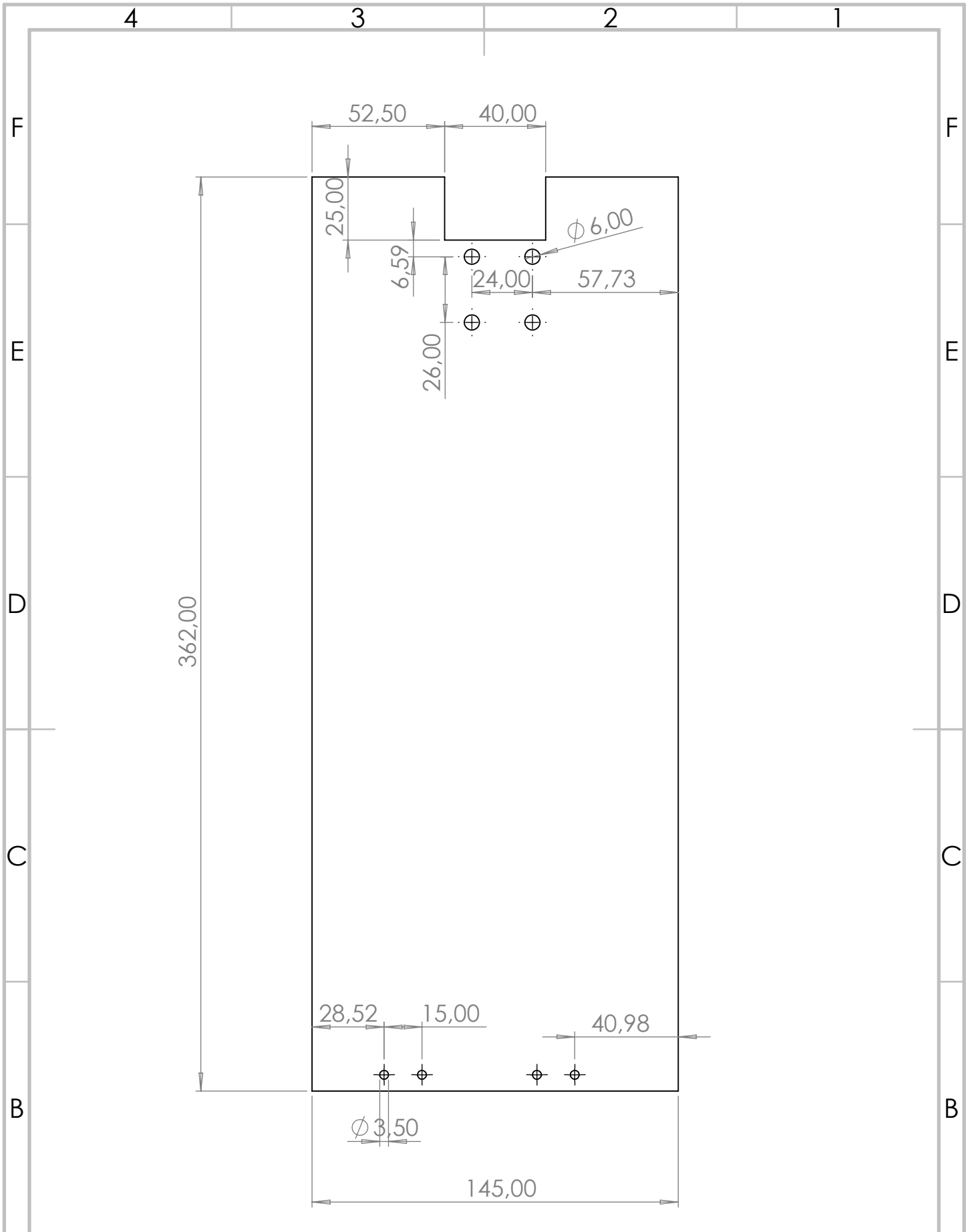
MATERIAL: TOL GALVANIZADO 1.5 mm.

PESO:

ESCALA: 1:2

HOJA 13/14

A4



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	FRIAS-PAREDES D.		5/12/23
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO: **ANEXOS-PLANOS**

N.º DE DIBUJO: **TAPA VENTANA**

MATERIAL: **ACRÍLICO 3 mm.**

ESCALA: 1:2

HOJA 14/14

A4

