



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos

Área de Conocimiento: Expresión Gráfica en la Ingeniería

TRABAJO FIN DE GRADO

Mejora y montaje de una máquina de moldeo por inyección para plásticos

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto

Autor: Antonio Pérez Rosa

Tutor: Óscar David de Cózar Macías

Cotutor: José Macías García

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

Septiembre, 2023

Esta página ha sido dejada en blanco

Resumen:

Teniendo como contexto la necesidad de construcción de una máquina de moldeo por inyección para plásticos dentro del laboratorio para reciclaje de *MAREA Plastic*, de la Universidad de Málaga, se aborda el prototipado de este dispositivo. Se parte del diseño, disponible en código abierto, de *Precious Plastic*, sobre el que se proponen y llevan a cabo una serie de mejoras y modificaciones en los ámbitos estructural, mecánico y electrónico, con el fin de adaptar la máquina en mayor medida a su entorno de trabajo. Se tratan rediseños de dos componentes, siendo estos el émbolo y el espacio dedicado a la electrónica, así como diseños completamente nuevos referentes a un mecanismo para el bloqueo del movimiento de la palanca y un protector contra quemaduras alrededor del tubo de inyección. Se presenta, adicionalmente, una electrónica totalmente novedosa respecto a la original, gracias a la implementación de Arduino y la incorporación de una interfaz de manejo sencilla mediante pantalla táctil. Se tratan, igualmente, las pruebas realizadas con la finalidad de validar el prototipo, y se realiza una comparación con el diseño de partida, respecto al que se han conseguido mejoras en seguridad, facilidad de uso y precisión en el control de las temperaturas, que a su vez ha posibilitado la capacidad de procesar dos nuevos tipos de plásticos adicionales. Durante todo el procedimiento, se ha tenido en cuenta el interés didáctico y se han usado la mayor cantidad de materiales reutilizados o en desuso posibles, con el propósito de mantener el prototipo en línea con los valores de sostenibilidad y concienciación que pretende impulsar *MAREA Plastic*.

Palabras clave: MAREA Plastic, sostenibilidad, Máquina de moldeo por inyección, Plástico, Reciclaje.

Abstract:

Given the context of the need to build an injection molding machine for plastics within the recycling laboratory of MAREA Plastic, from the University of Malaga, the prototyping of this device is addressed. The design of Precious Plastic, which is available in open source, is taken as a starting point, on which a series of improvements and modifications are proposed and carried out in the structural, mechanical and electronic fields, in order to adapt the machine to a greater extent to its work environment. Redesigns of two components are developed, namely the plunger and the space dedicated to electronics, as well as completely new designs referring to a mechanism for locking the movement of the lever and a burn guard around the injection tube. In addition, a completely new set of electronics is presented compared to the original, thanks to the implementation of Arduino and the incorporation of a simple user interface through a touch screen. The tests carried out with the purpose of validating the prototype are also assessed, and a comparison is made with the original design, where improvements in safety, ease of use and precision in temperature control have been achieved, which in turn has made it possible to process two new types of additional plastics. Throughout the procedure, the didactic interest has been taken into account and the largest possible amount of reused or disused materials have been employed, with the purpose of keeping the prototype in line with the values of sustainability and awareness that MAREA Plastic intends to promote.

Keywords: MAREA Plastic, Sustainability, Injection molding machine, Plastic, Recycling.

Esta página ha sido dejada en blanco

Índice general

DOCUMENTO N°1 MEMORIA

DOCUMENTO N°2 PLANOS

DOCUMENTO N°3 PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO N°4 MEDICIONES Y PRESUPUESTOS

DOCUMENTO N^o
1

MEMORIA

Esta página ha sido dejada en blanco

Índice

1	Introducción	11
1.1	Objeto	11
1.2	Alcance	12
1.3	Antecedentes y justificación	12
2	Normativa	14
2.1	Normativa referente a la redacción del proyecto	14
2.2	Normativa referente a la seguridad	15
3	Programas usados	15
4	Metodología	15
5	Definiciones y abreviaturas	16
5.1	Definiciones	16
5.2	Abreviaturas	17
5.3	Unidades	18
6	Estado del arte	18
6.1	Estudio de mercado	19
6.2	Diseño original de <i>Precious Plastic</i>	21
7	Análisis de puntos débiles y posibles mejoras a implementar	24
8	Montaje de la máquina y soluciones implementadas	29
8.1	Obtención de materiales	29
8.2	Estructura base	31
8.2.1	Mecanizado de las piezas	31
8.2.2	Soldadura y montaje	34
8.3	Mejoras y modificaciones sobre la estructura y la mecánica	38
8.3.1	Código de colores	38
8.3.2	Mecanismo para el bloqueo de la palanca	39

8.3.3	Disminución del diámetro del émbolo e incorporación de un casquillo de cuproaluminio en su extremo	40
8.3.4	Nuevo espacio para la electrónica . . .	42
8.3.5	Conjunto protector para el tubo de inyección.	44
8.4	Mejoras y modificaciones sobre la electrónica .	47
8.4.1	Integración de Arduino IDE con el chip ESP32	48
8.4.2	Incorporación de la pantalla táctil Nextion	58
9	Resultados del prototipo	62
9.1	Pruebas con los distintos plásticos	62
9.2	Otras Pruebas	65
10	Difusión	67
11	Comparación con la máquina de inyección original y conclusiones	67
12	Líneas futuras	70
13	Anexo A. Código desarrollado	72
13.1	Código principal	72
13.2	Funciones	79
13.3	Función monitor serie	89
14	Anexo B. Información mostrada en pantalla .	91
14.1	Guía de uso	91
14.2	Información sobre plásticos	93
	Bibliografía	96

Índice de figuras

Figura 1	Máquina de moldeo por inyección de plásticos de <i>Precious Plastic</i> . Recuperado de [3].	12
Figura 2	Producción global de plásticos por año. Recuperado de [7].	13
Figura 3	Croquis de una máquina de moldeo por inyección. Fuente propia.	18
Figura 4	Máquina de inyección disponible en la tienda de <i>Precious Plastic</i> . Recuperado de [26]	19
Figura 5	LNS Technologies Model 150A. Recuperado de [28]	20
Figura 6	Diseño original de <i>Precious Plastic</i> . Recuperado de [3].	22
Figura 7	Detalle de la situación original de las resistencias. Fuente propia.	25
Figura 8	Posición de reposo de la palanca en el diseño inicial. Fuente propia.	26
Figura 9	Problemas causados por un mal ajuste de las temperaturas de las resistencias. Fuente Propia.	27
Figura 10	Controlador PID usado en la máquina original. Recuperado de [32]	28
Figura 11	Émbolo bloqueado dentro del tubo de inyección. Fuente Propia	28
Figura 12	Formato inicial de los perfiles cuadrados huecos. Fuente propia.	31
Figura 13	Piezas listas para el proceso de soldadura. Fuente propia.	32
Figura 14	Ejemplo de organización de las distintas tareas en el taller. Fuente Propia.	33
Figura 15	Equipo MIG/MAG usado para soldar la estructura. Fuente propia.	34
Figura 16	Distintas configuraciones e indicaciones para el equipo MIG/MAG. Fuente Propia.	35
Figura 17	Puntos de soldadura en la base y brazo de la estructura. Fuente propia.	36
Figura 18	Proceso de soldadura y resultado. Fuente Propia.	37

Figura 19	Estructura base acabada. Fuente propia.	37
Figura 20	Logotipo del proyecto <i>MAREA Plastic</i> . Recuperado de [1].	38
Figura 21	Muestras de color. Fuente Propia.	39
Figura 22	Inyectora una vez pintada siguiendo el código de colores propuesto por <i>MAREA Plastic</i> . Fuente propia.	40
Figura 23	Modelo 3D realizado en SolidWorks. Fuente Propia.	41
Figura 24	Resultado tras el montaje del mecanismo de bloqueo para la palanca. Fuente Propia.	41
Figura 25	Modelo del nuevo émbolo realizado con SolidWorks. Fuente Propia.	42
Figura 26	Modelo 3D de la pieza de unión entre la estructura y el espacio para la electrónica. Fuente Propia.	43
Figura 27	Modelo 3D de la escuadra esquinera. Fuente Propia.	44
Figura 28	Modelo del nuevo espacio para la electrónica realizado en SolidWorks. Fuente Propia.	45
Figura 29	Resultado al instalar el nuevo espacio para la electrónica en el prototipo. Fuente Propia	46
Figura 30	Modelo 3D del nuevo conjunto protector para el tubo de inyección. Fuente Propia	46
Figura 31	Modelo 3D de la pieza de unión entre la estructura y el protector del tubo de inyección. Fuente Propia.	47
Figura 32	Modelo 3D de la pieza para conectar las pletinas con los paneles de metacrilato. Fuente Propia. . .	48
Figura 33	Mallado y localización de cargas para la simulación. Fuente Propia.	49
Figura 34	Deformaciones con una escala de 5000 para una carga de 15N. Fuente Propia.	49
Figura 35	Modelo 3D de la escuadra usada para unir los paneles de metacrilato. Fuente Propia.	50
Figura 36	Resultado de añadir el protector del tubo de inyección al prototipo. Fuente Propia.	51
Figura 37	Vistas de la placa de electrónica donde se pueden ver los componentes y las conexiones. Fuente Propia	53

Figura 38	Vista general de la electrónica antes de instalarla. Fuente Propia.	54
Figura 39	Ejemplos de gráficas de un controlador PID con constantes mal y bien ajustadas, respectivamente. Fuente Propia	55
Figura 40	Medida de los valores de K_u y T_u . Fuente Propia.	56
Figura 41	Gráfica que presenta <i>porpoising</i> . Fuente Propia. .	57
Figura 42	Página de inicio de la pantalla táctil. Fuente Propia.	59
Figura 43	Primera página de la guía de uso en pantalla táctil. Fuente Propia.	59
Figura 44	Página de selección de información de los distin- tos plásticos. Fuente Propia.	60
Figura 45	Página de información del PP. Fuente Propia. . .	60
Figura 46	Página de selección de temperaturas predefinidas según el tipo de plástico. Fuente Propia.	61
Figura 47	Página de selección manual de las temperaturas. Fuente Propia.	61
Figura 48	Resultados obtenidos con un buen ajuste de las temperaturas. Fuente Propia	65
Figura 49	Comparación de los resultados obtenidos al fundir el material proporcionado por Winterhalter y el disponible en el taller. Fuente Propia	66
Figura 50	Fotografías de eventos de <i>MAREA Plastic</i> en los que ha participado la máquina de inyección. Fuen- te Propia	68
Figura 51	Estado de la máquina de moldeo por inyección para plásticos en el momento de escritura de este documento. Fuente Propia	70
Figura 52	Símbolo correspondiente con el PP.	93
Figura 53	Símbolo correspondiente con el HDPE.	93
Figura 54	Símbolo correspondiente con el LDPE.	94
Figura 55	Símbolo correspondiente con el PS.	94
Figura 56	Símbolo correspondiente con el PET.	95
Figura 57	Símbolo correspondiente con el PLA.	95

Esta página ha sido dejada en blanco

Índice de tablas

Tabla 1	Características de distintas máquinas de inyección disponibles en el mercado [27, 28, 29].	20
Tabla 2	Especificaciones de la máquina de moldeo por inyección de <i>Precious Plastic</i> [3].	23
Tabla 3	Materiales necesarios para la construcción del prototipo y su lugar de obtención. Fuente propia. . .	30
Tabla 4	Pines para la conexión entre el módulo de relés y el chip ESP32. Fuente propia.	50
Tabla 5	Pines para la conexión entre los amplificadores MAX31865 y el chip ESP32. Fuente propia. . . .	52
Tabla 6	Valor de las constantes obtenidas aplicando el método <i>Ziegler-Nichols</i> . Fuente propia.	56
Tabla 7	Valor de las constantes finales tras la sintonización manual. Fuente propia.	57
Tabla 8	Pines para la conexión entre la pantalla Nextion y el chip ESP32. Fuente propia.	58
Tabla 9	Resultados obtenidos tras las pruebas con PP. Fuente propia.	63
Tabla 10	Resultados obtenidos tras las pruebas con HDPE. Fuente propia.	63
Tabla 11	Resultados obtenidos tras las pruebas con LDPE. Fuente propia.	63
Tabla 12	Resultados obtenidos tras las pruebas con PS. Fuente propia.	64
Tabla 13	Resultados obtenidos tras las pruebas con PET. Fuente propia.	64
Tabla 14	Resultados obtenidos tras las pruebas con PLA. Fuente propia.	64
Tabla 15	Recopilación de la configuración de temperaturas correctas para cada resistencia según el material. Fuente propia.	65

Esta página ha sido dejada en blanco

1. Introducción

Dentro del marco del proyecto *Málaga Reaction Against Plastic (MAREA Plastic)* de la Universidad de Málaga [1] se aborda la construcción de la máquina de moldeo por inyección de plásticos que se desarrolla en este trabajo. En el mencionado proyecto se busca crear un laboratorio de reciclaje de plásticos móvil y urbano, compuesto por varias máquinas: trituradora, lavadora, inyectora, extrusora y bobinadora; estando la mayoría de estas basadas en los diseños planteados por el movimiento internacional *Precious Plastic*, donde se ofrecen, en código abierto, una serie de propuestas de máquinas para reciclaje de plásticos [2]. Dentro del laboratorio de *MAREA Plastic*, la inyectora es la encargada de realizar el último paso en el procesamiento de plásticos reciclados, donde, a partir de material ya triturado y lavado, se obtiene el producto final.

A lo largo de este documento se va a tratar la construcción de la máquina, así como las mejoras y cambios que se han implementado respecto a la inyectora original de *Precious Plastic* en la que se basa [3], y se presentarán los resultados obtenidos para los distintos plásticos con los que se han realizado pruebas.

1.1. Objeto

Con el desarrollo de este trabajo se busca definir la máquina de moldeo por inyección de plásticos que se usa en el proyecto *MAREA Plastic*, y que forma parte del conjunto de maquinaria a través del cual se procesan los plásticos desde su recepción al laboratorio, en forma de residuos, hasta su salida, a modo de productos finalizados en el caso de la inyectora, o bobinas de impresión 3D en el caso del conjunto extrusora/bobinadora.

Al realizar el diseño de la máquina se parte del propuesto por *Precious Plastic*, que se muestra en la Figura 1, y sobre la que se plantean una serie de modificaciones y mejoras para que se adapte mayormente a las necesidades y filosofía de *MAREA Plastic*. Para ello, uno de los puntos principales consiste en usar materiales reutilizados o en desuso en la mayor medida posible, reforzando, de esta manera, las ideas de sostenibilidad y economía circular que se buscan promover con el proyecto [4]. Por otro lado, también se pretende emplear el laboratorio para concienciar y educar a las generaciones más jóvenes sobre el reciclaje de plásticos, programando visitas a escuelas e institutos. Es por ello que con las modificaciones sobre el diseño inicial también se persiguen los tres siguientes objetivos:

- Obtener una máquina más segura, con la que se disminuya la posibilidad de lesiones tanto para el público general como para el operario.
- Asegurar que el funcionamiento y todos los componentes posibles sean visibles, con la finalidad de ayudar a visualizar mejor el proceso de reciclaje, y reforzando así el componente educativo.
- En relación con los dos anteriores, conseguir que el manejo sea más sencillo que el original, de manera que la máquina pueda ser operada por personas sin conocimientos previos sobre la misma o sobre el reciclaje de plásticos.



Figura 1: Máquina de moldeo por inyección de plásticos de *Precious Plastic*. Recuperado de [3].

1.2. Alcance

A la vista de los objetivos planteados, y con la finalidad de definir completamente la máquina de moldeo por inyección para plásticos, a lo largo de este documento se desarrollarán los siguientes puntos:

- Estudio previo de máquinas comerciales existentes que se adapten a las necesidades del proyecto.
- Revisión en profundidad de las especificaciones y funcionamiento de la inyectora de *Precious Plastic* que se toma como punto de partida.
- Análisis de requerimientos adicionales y modificaciones necesarias sobre el diseño original, fundamentales para conseguir una mayor adecuación con los objetivos expuestos anteriormente.
- Desarrollo de mejoras capaces de suplir las carencias de la máquina inicial.
- Implementación de estas modificaciones en el prototipo.
- Experimentación con distintos tipos de plásticos con el fin de validar los cambios realizados en la inyectora.
- Conclusiones y líneas de trabajo futuras a partir del prototipo actual.

1.3. Antecedentes y justificación

El incremento de los residuos plásticos y los problemas que ello conlleva es una cuestión que, año tras año, está tomando una importancia mayor a nivel global. Esto se debe,

entre otros motivos, al crecimiento exponencial al que se están viendo sometidos, lo cual se puede comprobar al comparar los residuos producidos en el año 2019, que se estiman en 460 millones de toneladas por la *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)* [5], con los producidos en 1950, 2 millones de toneladas [6], 230 veces inferior. Esta comparativa se puede visualizar en la Figura 2, donde se muestra la producción global de plásticos por año desde 1950 hasta 2019.

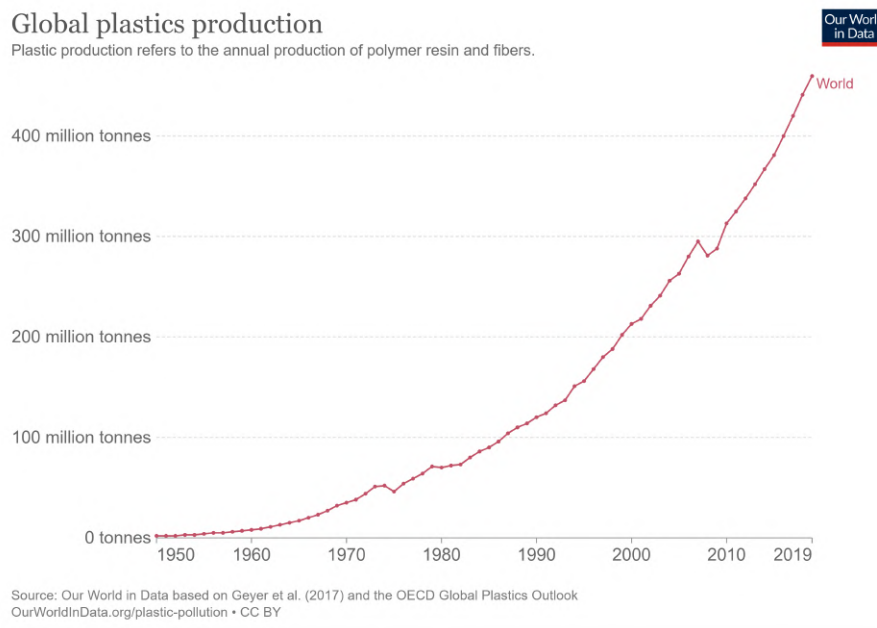


Figura 2: Producción global de plásticos por año. Recuperado de [7].

Este problema se hace aún más acuciante al tener en cuenta que, de nuevo según la *OCDE*, los deshechos aumentarán hasta 1.200 millones de toneladas en el año 2050, siguiendo la tendencia actual [5], y al tener en cuenta que al menos un 11 % de estos residuos acaban en entornos acuáticos [8], que resulta en efectos negativos tanto para entornos terrestres como marinos [9, 10].

En respuesta a esta situación, durante los últimos años han aparecido gran cantidad de proyectos y movimientos internacionales que buscan, de una manera u otra, disminuir la cantidad de residuos generados, ya sea reciclando activamente, dando una segunda vida a los desechos, concienciando a la sociedad o proponiendo nuevas alternativas de reciclaje. Como ejemplos de estos proyectos se pueden destacar *iCAREPLAST*, donde se tratan desechos plásticos no reciclables para conseguir compuestos químicos útiles para otras industrias como la farmacéutica o agroquímica [11]. *Multicycle* [12] y *PolynSPIRE* [13], por otro lado, centran su trabajo en aumentar la eficiencia de procesos ya existentes en la industria. *The Ocean Cleanup* se ha encargado de desarrollar métodos de recogida para los plásticos existentes en ambientes marinos, que incluyen barreras flotantes para los océanos o camiones para las playas [14]. *Plastic Bank*, por su parte, se enfoca en organizar recogidas de residuos plásticos en comunidades pobres, comprarles estos desechos y realizar con ellos nuevos productos, ayudando con ello a reducir la pobreza además de la contaminación [15]. Otra de las organizaciones que se van a destacar es *The Recycling Partnership*, que, para aumentar las tasas de reciclaje, trabaja con gobiernos, empresas

y otras organizaciones para desarrollar programas de reciclaje integrables en las mismas [16].

Por último, el anteriormente mencionado movimiento *Precious Plastic*, creado en el año 2012 por Dave Hakkens, con el que se ofrece en forma de código abierto una serie de diseños de máquinas para el reciclaje de plásticos, relativamente fáciles de construir, de manera que cualquier individuo o entidad interesada puedan crear su propio taller de reciclado. Además, su plataforma cuenta con una serie de foros que permiten la comunicación entre usuarios de máquinas, expertos e interesados en el sector, consiguiendo así una puesta en común de conocimientos y un desarrollo conjunto de nuevas máquinas y mejoras para las mismas [2, 17].

En base a este último proyecto nace *MAREA Plastic*, donde se toman como base las máquinas propuestas por *Precious Plastic* para crear un espacio de reciclaje de plásticos móvil y urbano. Con este taller, construido usando la mayor cantidad de materiales reutilizados posibles con el fin de seguir la tónica del proyecto, *MAREA Plastic* pretende llevar el reciclaje al público general, de manera que este puedan ver los procesos por los que pasan los plásticos a una escala más pequeña, con máquinas más sencillas y fáciles de comprender que las industriales, haciéndolo cómplice en el proceso con la finalidad de concienciarlo y educarlo, intentando así que la población esté más familiarizada con el reciclaje tras conocer el proyecto. Además, una vez finalizado el proyecto se pretende compartir todas las mejoras desarrolladas para las distintas máquinas con la comunidad de *Precious Plastic*, en forma de código abierto, de manera que sean accesibles y puedan ser implementadas por todos los usuarios interesados.

Es en este contexto donde se concreta la creación de la máquina de moldeo por inyección para plásticos que aquí se trata, ya que se necesita, sobre el diseño de *Precious Plastic*, realizar ciertas modificaciones y mejoras para obtener un prototipo apropiado para su uso en un taller con público ajeno al uso de la maquinaria. Se busca, por tanto, conseguir un uso transparente, con un manejo sencillo y que garantice la seguridad en todo momento, manteniendo unos costes bajos y el uso a baja escala, no se busca llegar a una máquina con capacidades de procesamiento industriales, si no más bien, una que sea segura y fácil de comprender.

2. Normativa

2.1. Normativa referente a la redacción del proyecto

- UNE 157001:2014, Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.
- UNE 1027, Dibujos técnicos. Plegado de planos.
- UNE 1032, Dibujos técnicos. Principios generales de representación.
- UNE 1035, Dibujos técnicos. Cuadros de rotulación.

- UNE 1039, Dibujos técnicos. Acotación. Principios generales, definiciones, métodos de ejecución e indicaciones especiales.
- UNE 1135, Dibujos técnicos. Lista de elementos.
- UNE-EN ISO 5455, Dibujos técnicos. Escalas.
- UNE 82100-3, Magnitudes y unidades. Parte 3: Mecánica.

2.2. Normativa referente a la seguridad

- UNE-EN ISO 12100:2010, Seguridad de las máquinas. Principios generales de diseño para la seguridad.
- UNE-EN ISO 14121-1:2013, Seguridad de las máquinas. Parte 1: Principios generales para la evaluación de los riesgos y la reducción de los riesgos.

3. Programas usados

- \LaTeX : composición de textos.
- Overleaf: editor de \LaTeX .
- Microsoft PowerPoint: preparación de presentaciones.
- AutoCAD: creación de planos.
- SolidWorks: modelado 3D y creación de planos.
- GravoStyle: corte láser.
- Arduino IDE: desarrollo de software para la parte electrónica.
- Nextion Editor: desarrollo de interfaz *Human-Machine Interface* (HMI) para pantallas táctiles.

4. Metodología

La primera cuestión que se va a destacar en este apartado es que, como se viene comentando desde el inicio del documento, se va a partir de un diseño preexistente, el cual se quiere adaptar a las necesidades específicas de este proyecto. Es por ello que una de las metodologías que se deben tener en cuenta es el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE), un método que permite identificar riesgos potenciales en un producto, identificando los posibles fallos, la severidad de los mismos, y la probabilidad y frecuencia de ocurrencia de estos, lo que posibilita crear un plan de acción para resolverlos o disminuirlos. Además, es aplicable tanto a nuevos productos como a diseños ya existentes [18]. En el caso que aquí se trata, aplicar este análisis a la máquina original ayudaría a encontrar posibles puntos

sobre los que incidir y desarrollar mejoras, tomando medidas proactivas para aumentar la calidad, la fiabilidad y la seguridad del prototipo final.

Otro punto a tener en cuenta es la intención de compartir estas mejoras desarrolladas con la comunidad de *Precious Plastic* al finalizar el proyecto, es por ello que también es interesante tener presentes los principios del Diseño para la Manufactura y Ensamblaje (DFMA, por sus siglas en inglés), lo que permite tanto conseguir que las nuevas piezas creadas sean de fácil fabricación como reducir el número de estas, además de asegurar que estas piezas y los métodos de ensamblaje usados sean de acceso lo más fácil posible [19], dentro del contexto de que se va a construir una inyectora de plásticos, por lo que ciertos materiales y maquinaria específicos serán necesarios de una manera u otra. Siguiendo estos principios se puede conseguir que, en un futuro, implementar estas mejoras sea viable para un mayor número de usuarios, consiguiendo por ende una mayor difusión de esta tecnología de inyección de plásticos.

Como se comentaba en el apartado 1.1, uno de los aspectos que se ha tenido en cuenta durante el desarrollo de este trabajo, con el fin de adaptarlo a la filosofía de *MAREA Plastic*, ha sido el uso de la mayor cantidad de materiales reutilizados o en desuso posible para la construcción de la máquina, siempre que ha sido factible, en línea con los principios de la economía circular y el Diseño para el Medio Ambiente (DfE, por sus siglas en inglés) [20]. Además, se ha asegurado que los componentes sean desmontables y separables según los distintos tipos de materiales, manteniendo el número de uniones fijas usadas lo más bajo que el diseño ha permitido, con el fin de facilitar la reutilización o reciclaje de los mismos en el futuro.

Así mismo, es importante destacar que el desarrollo de la máquina ha sido paralelo a su construcción. Durante el montaje y la experimentación con el prototipo se han encontrado problemas que no se han podido predecir durante la etapa de definición de las mejoras, y que se han debido resolver durante la propia construcción, es por ello que también se puede hablar de métodos heurísticos, que se basan en la búsqueda de soluciones a través de la experimentación y el ensayo y error.

5. Definiciones y abreviaturas

5.1. Definiciones

- Máquina de moldeo por inyección para plásticos: máquina que se encarga de fabricar productos de plástico, primeramente fundiéndolos para seguidamente inyectarlos a presión en un molde con el diseño que se desea obtener.
- Proyecto de código abierto: sistema en el que se ofrece de forma gratuita a cualquier usuario acceso total a un proyecto, ya sea código de software, diseños de máquinas o cualquier otra materia.
- Controlador PID: controlador de retroalimentación que utiliza tres términos para calcular la señal de control: proporcional, integral y derivativo.

5.2. Abreviaturas

- UMA: Universidad de Málaga.
- EII: Escuela de Ingenierías Industriales.
- *MAREA Plastic: Málaga Reaction Against Plastic.*
- AGU: Almacén General de la Universidad.
- SMU: Servicio de Mantenimiento de la Universidad.
- DEGDP: Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos.
- TMH: Taller de Máquinas-Herramienta.
- LS: Laboratorio de Soldadura.
- *OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.*
- UNE: Una Norma Española.
- EN: *European Norm*, Norma Europea.
- ISO: *International Organization for Standardization*, Organización Internacional de Estandarización.
- IDE: *Integrated Development Environment*, Entorno de Desarrollo Integrado.
- HMI: *Human-Machine Interface*, Interfaz Humano-Máquina.
- PWM: *Pulse-Width Modulation*, Modulación por Ancho de Pulso.
- AMFE: Análisis Modal de Fallos y Efectos.
- DFMA: *Design For Manufacture & Assembly*, Diseño Para la Manufactura y el Ensamblaje.
- DfE: *Design for Environment*, Diseño para el Medio Ambiente.
- LED: *Light Emitting Diode*, Diodo Emisor de Luz.
- PID: Proporcional, Integral y Derivativo.
- HDPE: *High Density Polyethylene*, Polietileno de Alta Densidad.
- LDPE: *Low Density Polyethylene*, Polietileno de baja Densidad.
- PP: *Polypropylene*, Polipropileno.
- PS: *Polystyrene*, Poliestireno.
- PET: *Polyethylene Terephthalate*, Tereftalato de Polietileno.
- PETG: *Polyethylene Terephthalate - Glycol*, Tereftalato de Polietileno de glicol.
- PLA: *Polylactic Acid*, Ácido Poliláctico.

5.3. Unidades

- kg: kilogramos.
- mm: milímetros.
- cm³: centímetros cúbicos.
- bar.
- V: voltio.
- A: amperio.
- W: vatio.
- °C: grado Celsius.
- N: Newton.
- Pa: Pascal.

6. Estado del arte

En esta sección, se va a definir, primeramente, qué es una máquina de moldeo por inyección para plásticos y se va a explicar su funcionamiento. Seguidamente, se realizará un estudio de mercado contemplando las distintas máquinas existentes de características similares a las buscadas. Por último, se expondrá en profundidad el diseño propuesto por *Precious Plastic*, se justificará su elección y se llevará a cabo un repaso de los distintos rediseños y modificaciones realizados por los usuarios.

Comenzando por la definición de máquina de moldeo por inyección, se trata de un aparato que, mediante el calentamiento de un material hasta su fundición, y su inyectado a presión en un molde, consigue una pieza de plástico. Se puede considerar una parte fundamental de la industria de procesamiento del plástico, siendo el método más utilizado en la actualidad [21]. Para visualizar mejor este proceso, se va a usar la Figura 3.

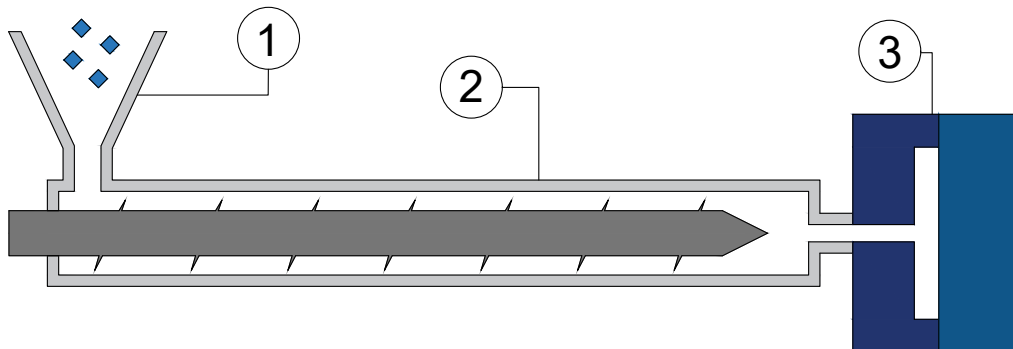


Figura 3: Croquis de una máquina de moldeo por inyección. Fuente propia.

El proceso comienza insertando a través de la tolva, (1) en la Figura 3, el material que se vaya a procesar, el cual influye en parámetros como la temperatura de la máquina o la presión de inyección [22]. Posteriormente, el plástico llega al tubo de inyección, que se corresponde con el número (2) en la Figura 3, y que, mediante calentadores, ha alcanzado la temperatura de trabajo previamente, y comienza a fundirse a la misma vez que va avanzando a lo largo del tubo. Este movimiento, generalmente, puede conseguirse de dos formas distintas: mediante husillo [23] o mediante un pistón [24]. Este propio mecanismo es el encargado de inyectar el material a presión en el molde, número (3) en la Figura 3, que una vez se ha dejado enfriar, puede abrirse para obtener la pieza final.

6.1. Estudio de mercado

Existe una gran cantidad de máquinas de inyección de uso industrial en el mercado, sin embargo, ninguna de ellas se adecúa al propósito de crear un taller de reciclaje de plásticos de bajo coste y transportable, debido a que se tratan de máquinas de varias toneladas de peso y con un coste de decenas de miles de euros en adelante, además de requerir operarios especializados para su uso. Por tanto, es necesario centrarse en máquinas más pequeñas, orientadas a uso personal o producciones a baja escala.

Precious Plastic cuenta con su propia tienda [25] donde usuarios venden tanto la máquina original como versiones creadas por ellos, siendo un ejemplo de las últimas la que aparece en la Figura 4. En el primero de los casos, los precios rondan los 700-800 €, mientras que en el segundo, estos van de 1200 € a 4000 €.



Figura 4: Máquina de inyección disponible en la tienda de *Precious Plastic*. Recuperado de [26]

Además, también se pueden encontrar una serie de empresas que se dedican a construir máquinas de características similares a la de *Precious Plastic*. Ejemplos de estas son Buster Beagle 3D [27], LNS Technologies [28], que se puede observar en la Figura 5, o Galomb [29]. Los precios de estas máquinas van desde los 1000 € hasta los 4500 €, y sus características principales pueden consultarse en la Tabla 1.



Figura 5: LNS Technologies Model 150A. Recuperado de [28]

Máquina	Consumo eléctrico (W)	Peso (kg)	Volumen de inyección por ciclo (cm ³)
Buster Beagle 3D [27]	760	-	50
LNS Technologies [28]	400	32	17
Galomb [29]	400	16	16

Tabla 1: Características de distintas máquinas de inyección disponibles en el mercado [27, 28, 29].

Si bien estas últimas máquinas cumplen los requisitos de peso y movilidad, además de ser mucho más asequibles económicamente que las industriales, carecen de un uso intuitivo para usuarios no familiarizados con el procesamiento de plásticos, su funcionamiento es “opaco”: no permiten que el usuario visualice lo que está ocurriendo en su interior, lo que entra en conflicto con una de las finalidades del proyecto, educar sobre el proceso de reciclaje, y en alguno de los casos, no garantiza un uso seguro, al quedar los calentadores al descubierto.

Esto último, unido a que la máquina de *Precious plastic* se ofrece en código abierto, lo que permite implementar las modificaciones necesarias de manera más sencilla sobre el diseño original, conlleva la elección de esta sobre el resto. El repaso de las características y funcionamiento de esta máquina se presenta a continuación.

6.2. Diseño original de *Precious Plastic*

Este diseño forma parte de los cuatro propuestos inicialmente por *Precious Plastic*: trituradora, inyectora, extrusora y prensa; y es, junto con las dos últimas, una de las máquinas encargadas del paso final de reciclaje en el que se obtiene un nuevo producto a partir del plástico triturado proveniente de procesos anteriores en el taller. Las distintas partes que la componen se pueden observar en la Figura 6 y son las siguientes:

1. Estructura metálica.
2. Panel de contrachapado.
3. Palanca.
4. Tubo de inyección.
5. Émbolo.
6. Tolva.
7. Resistencias.
8. Termopares.
9. Caja de electrónica:
 - Controladores PID.
 - Relé de estado sólido.
 - Interruptor.
 - Indicador LED.

Para el montaje, según se explica en [3] y comenzando por la estructura metálica y la palanca, se usan perfiles cuadrados huecos de 30x30 mm y pletinas de 30x3 mm, ambos de acero, que se deben cortar y taladrar según los planos proporcionados para posteriormente ser soldados. La palanca y la estructura se ensamblan mediante uniones atornilladas. El panel de contrachapado se coloca en el hueco de la estructura y debe encajar perfectamente, sin ser necesaria ninguna unión adicional. La estructura metálica proporciona una base resistente, capaz de soportar los esfuerzos generados al inyectar el plástico empleando la palanca, mientras que el panel de contrachapado ayuda a aligerar la máquina y permite un reemplazo sencillo, ya que se encuentra en una zona donde pueden acumular restos de plástico fundido difíciles de eliminar.

Para el tubo de inyección y el émbolo se parte de un perfil redondo hueco de diámetro 34x8 mm y un redondo macizo de diámetro 26 mm, de nuevo, ambos de acero. Estos se

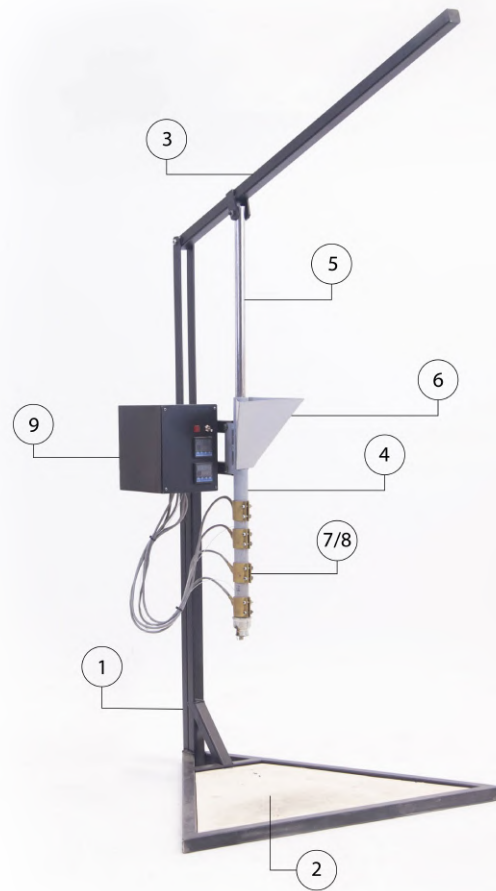


Figura 6: Diseño original de *Precious Plastic*. Recuperado de [3].

acoplan a la estructura y palanca mediante uniones atornilladas. En el caso del tubo, es necesario mecanizar una rosca en el extremo inferior para poder conectar el molde.

La caja de electrónica, construida con chapas de acero de 1.5 mm de espesor, se encuentra soldada al cuerpo principal y contiene dos controladores PID, un módulo de relés, un interruptor y un indicador LED, que a su vez están conectados mediante cableado según el esquema electrónico con las resistencias de banda y los termopares. Los controladores PID son los encargados de controlar la temperatura de las resistencias. En el caso de esta máquina, un controlador se encarga del calentador localizado en la salida del tubo de inyección, mientras que otro se encarga del resto, pudiéndose establecer una temperatura objetivo distinta para cada controlador. Al definir estas temperaturas, el PID las compara con las registradas por los termopares y manda la señal necesaria al módulo de relés para aumentar o disminuir la corriente que circula por las resistencias, modificando consecuentemente las temperaturas. El interruptor se encarga del encendido y apagado de la máquina, y el LED de indicar si esta se encuentra en funcionamiento.

Pasando al funcionamiento, se comienza por definir las temperaturas objetivo de las resistencias, que va a depender del tipo de plástico con el que se esté trabajando. Para este diseño, se indica que se puede usar HDPE, LDPE, PP y PS. Durante los primeros 20 minutos, es necesario que la temperatura sea 20^oC superior a la de trabajo, para asegurar que todos los componentes entren en calor. De igual manera, hay que asegurar que la palanca se encuentre en su posición más baja para evitar posibles bloqueos debidos a dilataciones en el material. Pasados los 20 minutos, la temperatura se disminuye de manera manual 20^oC, se introduce a través de la tolva el primer lote de plástico triturado y se deja fundir durante 15 minutos. Es muy importante que todo el material usado sea del mismo tipo. Pasado este tiempo, se desenrosca el tapón del tubo de inyección y se descarta este primer lote con el fin de limpiar el plástico de inyecciones anteriores.

En este punto, ya se puede introducir el plástico con el que se va a realizar la primera inyección, que se debe dejar fundir durante 10 minutos. Pasado este tiempo, se puede volver a insertar más material en intervalos de 5 minutos hasta llenar completamente el tubo, si es necesario. Por último, se acopla el molde a la salida del tubo de inyección y, haciendo uso de la palanca, se inyecta el plástico. Una vez se ha retirado y dejado enfriar el molde, este se abre y se recuperan las piezas acabadas. Este proceso se puede repetir tantas veces como sea necesario.

Al acabar de usar la máquina, se debe extruir todo el plástico restante para facilitar su puesta en marcha en trabajos próximos y se deja la palanca en su postura más baja, momento en el que se puede desactivar el interruptor de encendido.

Las especificaciones de la máquina pueden consultarse en la Tabla 2.

Tipo de Máquina	Moldeo por inyección
Precio del material	300
Peso	23 kg
Dimensiones	830x700x1300 mm
Volumen de inyección	150
Presión de inyección	45 bares
Dimensiones del molde	360x330 mm
inyecciones por hora	10-30
Consumo eléctrico	800 W
Materiales	HDPE, LDPE, PP, PS

Tabla 2: Especificaciones de la máquina de moldeo por inyección de *Precious Plastic* [3].

7. Análisis de puntos débiles y posibles mejoras a implementar

Durante la fase de concepción de modificaciones y mejoras sobre el diseño original, se han tenido en cuenta en todo momento los objetivos expuestos en el apartado 1.1, con la finalidad de conseguir una máquina más adecuada para el entorno donde se va a integrar. Aquí se va a volver a recalcar que el proyecto *MAREA Plastic* tiene un enfoque pedagógico bastante importante, siendo gran parte de su público objetivo colegios e institutos. Es por ello que se hace completamente necesario aumentar la seguridad del diseño y facilitar su manejo para personal no familiarizado con procesos de reciclaje de plásticos. El planteamiento original de Precious Plastic cumple estos requisitos hasta cierto punto, pero deja lugar a posibles fallos por parte de un usuario que no esté familiarizado con la máquina o con las propiedades del plástico, por lo que se puede actuar sobre estas materias para implementar mejoras.

El primero de los puntos donde se va a incidir es en la seguridad, donde se pueden encontrar cuatro partes que pueden generar problemática. El primero de ellos, y más directo, consiste en la situación de las resistencias, que se encuentran completamente al aire libre, como se puede ver en la Figura 7, y alcanzan temperaturas de hasta 500^oC, lo que puede resultar en quemaduras serias si existe contacto con la piel. Como se va a trabajar en un entorno con bastante público y el diseño original no cuenta ningún medio para evitar el roce con estos elementos, se puede determinar que el grado de ocurrencia de estas quemaduras podría ser relativamente alto. Para solucionar este problema existen diversas posibilidades, como rodear el tubo de inyección con material aislante o alguna otra pieza que impida alcanzar las zonas de altas temperaturas, como podría ser una rejilla. Estos métodos presentan como principal problema que impiden ver los calentadores. Como se persigue un fin didáctico y se quiere que la mayor cantidad de componentes de la máquina sean visibles, se ha acabado optando por realizar una pieza formada por paneles de metacrilato transparentes.

Continuando con las preocupaciones de seguridad, es importante destacar que durante la operación de la máquina se presenta una limitación en la capacidad de asegurar la palanca en su posición más elevada. Este inconveniente resultaría en golpes al operario al caer esta a su posición de reposo, que se ilustra en la Figura 8, Aunque la probabilidad de ocurrencia es menor en comparación con el escenario anterior, sigue siendo un aspecto que requiere atención. Además, la capacidad de bloquear la palanca en diversas posturas facilitaría operar la máquina a una sola persona: en el diseño original, en el momento de introducir plástico en la tolva es necesario sostener manualmente la palanca, de manera que el émbolo suba y deje libre la entrada de material. Igualmente, en el lapso transcurrido entre retirar el cierre del tubo de inyección y colocar el molde, resulta imprescindible mantener la palanca sujeta, ya que, de otra manera, el propio peso del émbolo provocaría que el plástico fundido fluyese fuera de la máquina. En estas situaciones, la presencia de un segundo operario se hace necesaria, lo que podría solventarse mediante la incorporación de una pieza que inmovilice el movimiento del mecanismo. Esto no solo simplificaría el manejo al permitir que una sola persona realice las tareas requeridas, sino que también contribuiría significativamente a la seguridad y a la eficiencia de trabajo.



Figura 7: Detalle de la situación original de las resistencias. Fuente propia.

Otro de los riesgos que se ha encontrado consiste en el peligro de cizallamiento existente en la zona de entrada de material al tubo de inyección, a lo largo del cual se está desplazando el émbolo, y que afectaría principalmente a los dedos. Una posible solución sería añadir una compuerta en la entrada de la tolva que únicamente se encuentre abierta cuando la palanca esté bloqueada en su postura más alta y, por tanto, la entrada de material permanezca libre.

De igual manera, otro riesgo para la salud que se ha encontrado, aunque no sea visible como los anteriores, consiste en el desprendimiento de gases tóxicos que puede producirse si se calientan los plásticos por encima de cierta temperatura, dependiendo esta del material con el que se esté trabajando, que puede desembocar en el quemado de estos [30]. Añadir un extractor de humos que se encuentre encendido mientras la máquina se halle en funcionamiento puede mitigar este problema.

Por otro lado, pasando a la facilidad de manejo, uno de los puntos débiles que el diseño original presenta es el control de temperaturas, que no es nada intuitivo para personal ajeno a las propiedades de los plásticos. Cada uno de los tipos de material necesita un



Figura 8: Posición de reposo de la palanca en el diseño inicial. Fuente propia.

ajuste de temperaturas distinto, como se puede consultar en [31]. Una definición de temperaturas errónea realizado por un usuario que desconozca los puntos de fusión de los distintos plásticos puede desembocar en problemas como obstrucciones en la máquina, consistencias demasiado sólidas, lo que se puede observar en la Figura 9a, o demasiado líquidas, que a su vez derivan en deficiencias tanto en el llenado del molde como en la resistencia de los productos inyectados, en las Figuras 9b y 9c, respectivamente, o, en caso de temperaturas demasiado altas, emisión de gases tóxicos, como se comentaba en el párrafo anterior.

En la máquina original, estas temperaturas se definen de manera manual usando los controladores PID, que se muestran en la Figura 10. Además, como se explicaba en el apartado 6.2, es necesario aumentar la temperatura en 20°C durante los primeros 20 minutos, para luego volver a disminuirla. Un usuario que no haya revisado el funcionamiento de la máquina y necesite llevar a cabo este proceso de forma manual puede cometer algún tipo de fallo.

Por ello, se propone el cambio de la electrónica original por un conjunto de pantalla táctil y chip programable en Arduino. Con ello, se puede automatizar tanto el proceso de selección de temperaturas, consiguiendo que el operario únicamente deba seleccionar el plástico con el que está trabajando, que ya se encuentran separados entre sí y etiquetados en el taller, como el de aumento y disminución de la misma, reduciendo así la probabilidad



(a) Material no fundido en el centro debido a una temperatura demasiado baja.



(b) Molde incompleto provocado por una consistencia demasiado poco fluida.



(c) Pieza con material quemado y muy frágil debido a temperaturas demasiado altas.

Figura 9: Problemas causados por un mal ajuste de las temperaturas de las resistencias.
Fuente Propia.

de fallos relacionados con esta cuestión.

Además, implementar una pantalla y un chip que se encargue del control de temperaturas posibilita otra serie de mejoras y un mayor grado de personalización. Por ejemplo, permite incorporar tanto una guía de uso que se puede consultar en todo momento como instrucciones durante el funcionamiento de la máquina, lo que disminuye la eventualidad de errores en el manejo.

Por otro lado, también hace posible ayudar al usuario a reconocer los distintos tipos de plástico y enumerar sus características, haciendo todo el proceso más didáctico.



Figura 10: Controlador PID usado en la máquina original. Recuperado de [32]

Por otra parte, a nivel de programación, utilizando un montaje de este tipo se puede controlar la temperatura de cada calentador de manera individual, a diferencia de en el diseño original, donde las tres resistencias más cercanas a la tolva deben configurarse a la misma temperatura, lo que provoca un control menos flexible y preciso, que puede derivar en los problemas que se exponían en la Figura 9. Además, usar un chip de este tipo resulta en un abaratamiento de costes frente a los controladores originales y una reducción del volumen de electrónica.

A nivel estructural, se ha encontrado una parte que genera problemática y otra que es necesario adaptar para ajustarse al resto de modificaciones propuestas. La primera de ellas se trata del diseño del tubo de inyección y el émbolo. En su primera iteración, ambos se realizan con el mismo material, y son de las mismas dimensiones a lo largo de todo su recorrido, lo que se traduce en una superficie de rozamiento muy grande. Durante las primeras pruebas con este diseño, esto acabó provocando el bloqueo del émbolo dentro del tubo, como aparece en la Figura 11. Una vez recuperado, se pudo comprobar que el bloqueo fue provocado por rayaduras provocadas a lo largo del émbolo debido al rozamiento. Para evitar este suceso se plantea reducir el diámetro de toda la longitud del émbolo a excepción de en su extremo inferior, con el propósito de reducir el área de fricción, además de sustituir el material donde se produce el contacto para evitar rayaduras.



Figura 11: Émbolo bloqueado dentro del tubo de inyección. Fuente Propia

Por último, al sustituir la electrónica original, es preciso crear un nuevo soporte para la

misma. Encauzado con la línea seguida para la pieza dedicada a la protección frente a quemaduras, sería interesante que esta nueva parte fuese igualmente transparente. Para hacer todos sus componentes visibles.

Una vez definidos todos los puntos sobre los que es necesario actuar, se puede proceder a la siguiente sección, donde se va a exponer el proceso de montaje del prototipo y cómo se han puesto en práctica las mejoras planteadas en este apartado.

8. Montaje de la máquina y soluciones implementadas

Esta parte del documento se va a dividir, primeramente, en la obtención de todos los materiales necesarios, seguido por el procedimiento necesario para el montaje de la estructura base de la máquina de inyección, abarcando el mecanizado y la unión de las distintas piezas. Subsiguientemente, se tratarán las distintas mejoras que se han implementando en el prototipo, comprendiendo estos apartados las fases de diseño, las distintas pruebas realizadas y las modificaciones finales.

8.1. Obtención de materiales

Tal y como se explicaba en la sección 1, en línea con los valores que *MAREA Plastic* busca impulsar, se ha procurado que la mayor cantidad posible de los materiales necesarios para la construcción de la máquina sean reutilizados, o, en su defecto, que estén en desuso.

Para ello, estos elementos han sido cedidos por diversas entidades de la Universidad de Málaga, siendo estos el Almacén General de la Universidad (AGU), el Servicio de Mantenimiento de la Universidad (SMU) y el Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos (DEGDP), o Cedidos por Fuentes Externas a la Universidad (CFEU). Los materiales que no se han podido obtener por este medio han sido Adquiridos a través de Proveedores Externos (APE).

En la Tabla 3 se indican los materiales que han sido necesarios para la elaboración del prototipo, donde *L* indica la longitud y todos los elementos metálicos son en acero, excepto si se indica lo contrario. Además, en la tercera columna, se especifica su lugar de obtención.

Cantidad	Material	Obtención
1	Perfil cuadrado hueco 30x30x3 mm $L = 6000$ mm	SMU
1	Pletina 30x3 mm $L = 2000$ mm	SMU
1	Tablero de contrachapado 800x200 mm	AGU
1	Perfil redondo hueco 34x26x4 mm $L = 530$ mm	APE
1	Perfil redondo macizo D25 mm $L = 585$ mm	APE
1	Reducción tubería hembra 1" a hembra 1/2"	APE
1	Tapón tubería macho 1/2"	APE
1	Chapa 300x300x1 mm	AGU
1	Perfil redondo hueco en cuproaluminio 26x22x2 mm $L = 30$ mm	CFEU
1	Pletina 20x3 mm $L = 200$ mm	SMU
1	Tornillería	APE
1	Molde para inyección	APE
1	Cable de alimentación $L = 5$ m + toma móvil	AGU
1	Cableado electrónica $L = 1$ m	DEGDP
1	Placa de prototipado 60x40 mm	DEGDP
1	Módulo de relés de estado sólido	APE
1	Chip ESP32 38 pines	APE
1	Estaño para soldar	DEGDP
2	Tira de conector pin hembra PCB 8 pines	DEGDP
1	Tira de conector pin hembra PCB 20 pines	DEGDP
4	Amplificador MAX31865	APE
4	Sensor PT100	APE
1	Fuente de alimentación 5 V	CFEU
1	Cable USB mini 3.0 $L = 3$ m	CFEU
4	Resistencias de banda 35x50 mm 275 W	APE
1	Interruptor	AGU
1	Pantalla Nextion NX4827T043	APE
3	Pintura en spray	APE
1	Rollo 1 kg filamento PETG para impresión 3D	APE
2	Panel de metacrilato 330x240 mm	CFEU
2	Panel de metacrilato 330x300 mm	CFEU
3	Panel de metacrilato 300x300 mm	DEGDP

Tabla 3: Materiales necesarios para la construcción del prototipo y su lugar de obtención. Fuente propia.

8.2. Estructura base

Para el montaje de la estructura base el material usado consta de:

- Perfil cuadrado.
- Pletinas.
- Perfil redondo hueco.
- Perfil redondo macizo.
- Chapa.
- Tornillería.

8.2.1. Mecanizado de las piezas

El material de partida se presenta en formato de barras de 6 metros, como se puede ver en la Figura 12. Para posibilitar su transporte desde el almacén del SMU a la Escuela de Ingenierías Industriales (EII), se corta en el propio almacén usando la sierra angular de banco que se encuentra disponible.



Figura 12: Formato inicial de los perfiles cuadrados huecos. Fuente propia.

A continuación, una vez se ha trasladado el material al Taller de Máquinas-Herramienta (TMH) de la EII, se procede a trabajar las distintas piezas según las indicaciones de *Precious Plastic* [3]. Se comienza por cortar todos los perfiles y pletinas según las medidas y ángulos indicados mediante una sierra de cinta para metal. Posteriormente se procede a realizar los distintos orificios con un taladro de banco. En todo momento se siguen las indicaciones de los manuales de las distintas máquinas para asegurar que se está usando la configuración y herramienta adecuados para el material que se está trabajando, esto incluye parámetros como velocidad de corte o de avance.

En el caso de los perfiles redondos hueco y macizo, referentes al tubo de inyección y el émbolo, respectivamente, al contar con medidas relativamente difíciles de encontrar, se adquieren del grupo *Schröder* a través de un taller externo. Este se encarga además tanto de los cortes a medida como de realizar la rosca en la salida del tubo de inyección. La entrada de material de esta misma pieza se realiza nuevamente en el TMH de la EII, esta vez con una amoladora con disco de corte.

Por otro lado, la chapa, a partir de la que se va a fabricar la tolva, se corta a medida gracias a una sierra de calar y se le da la forma necesaria mediante una plegadora.

Posteriormente, y antes de continuar al siguiente paso, se repasan todos los bordes vivos de las piezas mecanizadas con una amoladora montada con disco de lija.

Una vez mecanizadas y repasadas todas las piezas, como aparece en la Figura 13, se puede pasar al siguiente paso de soldadura y montaje de las mismas.

Durante toda la labor en taller, para mejorar y agilizar el flujo de trabajo, este se ha organizado en tareas por día, ordenadas según su orden de ejecución. Un ejemplo se puede ver en la Figura 14.



Figura 13: Piezas listas para el proceso de soldadura. Fuente propia.

Tareas viernes 09/07/2021

- **Cortar chapa, plano 1 (posible doblar?)**
- **Cortar pletina plano 1 x2 ángulo 70°**
- **Cortar entrada para el plástico en el tubo de inyección, plano 3**
- **Cortar pletina plano 3 x2 recta**
- **Volver a cortar tubos 5 y 6, plano 4 (el ángulo estaba mal)**
- **Corregir longitud tubo 1, plano 4, uno de ellos es más largo de lo que debería**
- **Cortar pletina plano 5 x2 recta**
- **Taladros**
 - **Plano 1:**
 - Pletinas d5
 - Tolva d5
 - **Plano 3:**
 - Pletinas d9
 - **Plano 4:**
 - Pletinas p. 4
 - Perfil cuadrado p. 8
 - Ángulo p. 7
 - Tubos cuadrados p.3
 - Todo d8.5
 - **Plano 5:**
 - Pletina d8.5

Figura 14: Ejemplo de organización de las distintas tareas en el taller. Fuente Propia.

8.2.2. Soldadura y montaje

Tomando como punto de partida las piezas de la Figura 13, se traslada el lugar de trabajo esta vez al Laboratorio de Soldadura (LS) de la EII. Este lugar se encuentra equipado con un rango de máquinas, contando, por ejemplo, con soldadoras por puntos, soldadoras de electrodo o máquinas de soldar de hilo, también conocida como MIG/MAG. Siguiendo las recomendaciones del técnico de laboratorio, se escoge esta última máquina.

El equipo MIG/MAG, que se puede observar en la Figura 15, utiliza un hilo continuo como electrodo, que llega a la punta de la lanza y se va consumiendo a medida que se va soldando. El arco de soldadura, a su vez, se protege suministrando un gas que se encuentra almacenado en la botella al fondo. En este caso, se usa una mezcla de argón y dióxido de carbono.



Figura 15: Equipo MIG/MAG usado para soldar la estructura. Fuente propia.

Este tipo de soldadura presenta las siguientes ventajas, según el libro [33]:

- Proceso rápido frente a otros tipos de soldadura.
- Adecuado para gran variedad de materiales, entre ellos el acero al carbono con el que se está trabajando.

- La calidad de la soldadura obtenida es bastante alta.
- Desprende pocos gases nocivos. Independientemente, en todo momento se han usado los extractores con los que está equipado el LS.
- Es un proceso fácil de aprender y usar frente a otros tipos de soldadura, por lo que es más adecuado para principiantes.

Para la configuración del equipo, tanto en caudal de gas, como en velocidad de aportación de hilo, voltaje y corriente del arco, se han seguido en todo momento las indicaciones del técnico de laboratorio y del propio LS (ver Figura 16).



(a) Configuración del equipo de soldado recomendado por el técnico de laboratorio.

DE DATOS OPERATIVOS PARA SOLDADURA Y CORTADO DEL BOPLETE
PRIMARIO CO-280

SOLDADURA CON ACETILENO

ESPESES A SOLDAR (mm)	LARGO M ²	PRESIÓN BOMBEO		GASTO ¹ LITROS	
		OXIGENO	ACETILENO	OXIGENO	ACETILENO
3-4	1			145-175	145-175
4-6	2			235-245	190-200
6-8	3	2.1-3	0.1-0.3	300-330	450-500
8-10	4			330-340	520-560
10-14	5			370-375	570-600
14-20	6			450-460	620-650
20-30	7			520-530	650-670

¹Temperatura ambiente

INDICACIONES SOBRE ACETILENO, BOMBILLAS 0-11

ESPESES A SOLDAR (mm)	BOMBILLA INTERIOR M ²	BOMBILLA EXTERIOR M ²	PRESIÓN BOMBEO	GASTO ¹ LITROS	
				OXIGENO	ACETILENO
3-10	1	1	1.0	10-20	5.0
10-20	2	2	1.0	20-30	6.0
20-40	3	3	2	35-50	5-11
40-60	4	3	2.5	130-150	14-16
60-100	5	3	3	180-200	15-18
100-150	6	4	4	190-210	15-18
150-200	7	4	5.5	230-250	18-20
200-300	8	4	7	280-300	20-23

Caudal laboratorio Sotelo TIG (AC) 8 litros
Caudal Operativo Sotelo MIG/MAG (CO2) (A) 80% 18% CO2: 18 litros

(b) Indicaciones sobre el caudal de gas a usar.



(c) Configuración de la botella en base a las indicaciones

Figura 16: Distintas configuraciones e indicaciones para el equipo MIG/MAG. Fuente Propia.

Una vez listo el equipo, se colocan las piezas dejando aproximadamente un milímetro de separación en las zonas de soldadura y se aseguran a la mesa para evitar movimientos no deseados. Posteriormente, se realizan los primeros puntos de soldadura para unir las distintas partes (ver Figura 17).

El siguiente paso consiste en realizar los cordones de soldadura. Todos estos cordones se han realizado a lo largo de la zona de contacto completa de las piezas, a excepción de en las dos barras verticales paralelas, donde se ha realizado a tramos. Así mismo, para la totalidad de estos se ha llevado a cabo un patrón de zig zag, ya que se conoce que resulta en soldaduras de mayor calidad y resistencia [34].

A lo largo de todo el proceso se ha usado la indumentaria de seguridad recomendada y proporcionada por el LS, como queda reflejado en la Figura 18a. El resultado final puede consultarse en la Figura 18b.

Una vez soldadas todas las piezas necesarias, se procede a repasar los cordones con una amoladora montada con disco de lija y se corta el panel de contrachapado a las dimensiones de la base empleando una sierra de calar. A continuación, se puede acabar de montar la estructura con las correspondientes uniones atornilladas, quedando como queda reflejado en la Figura 19.



Figura 17: Puntos de soldadura en la base y brazo de la estructura. Fuente propia.

Estando lista la estructura base, se puede pasar al diseño e implementación de las distintas mejoras. Es importante destacar que, durante todo el proceso hasta este punto, se han seguido los planos e indicaciones de *Precious Plastic* [3].



(a) Proceso de soldado.



(b) Parte de la estructura tras ser soldada.

Figura 18: Proceso de soldadura y resultado. Fuente Propia.



Figura 19: Estructura base acabada. Fuente propia.

8.3. Mejoras y modificaciones sobre la estructura y la mecánica

En este apartado, se van a tratar las distintas mejoras y modificaciones ejecutadas sobre el diseño original referidas a la parte estructural y mecánica. Se presentarán las soluciones dadas a los problemas expuestos en la sección 7:

- Bloqueo de la palanca en distintas posturas.
- Reducción de la zona de fricción del émbolo.
- Protección contra quemaduras.
- Nuevo espacio para la electrónica.

Además, se comentará el proceso de pintado de la máquina según el código de colores establecido por *MAREA Plastic*.

8.3.1. Código de colores

Para la pintura elegida, se ha empleado el código de colores ya existente en el proyecto. Este está basado en la imagen corporativa de *MAREA Plastic*, cuyo logotipo aparece en la Figura 20.



Figura 20: Logotipo del proyecto *MAREA Plastic*. Recuperado de [1].

La importancia de basarse en estos colores radica en conseguir que la máquina se adapte a la imagen corporativa del proyecto. Esto ayuda a garantizar que la máquina se vea profesional y que sea consistente con la imagen general de *MAREA Plastic*, así como con el resto de maquinaria del laboratorio. Además, el uso de los colores correctos puede ayudar a mejorar la seguridad en el lugar de trabajo. Por ejemplo, aplicar colores que contrasten entre sí puede ayudar a llamar la atención de los trabajadores y prevenir accidentes.

Esta imagen está basada en distintos tonos de azules, marrones y amarillos, parte de los cuales se pueden ver en el logotipo. Se usan estos colores ya que se pueden asociar al sol, el mar o la tierra, además de transmitir sensaciones positivas como la calma, la salud o la armonía [35], pudiendo relacionarse estos conceptos con la sostenibilidad, idea que se quiere impulsar con este proyecto.

En este código colores que se ha seguido está predefinido que las máquinas se deben pintar usando los tres colores distintos que aparecen en la Figura 21, estando el azul marino y el azul claro reservados para elementos estructurales, mientras que el color amarillo claro debe usarse para aquellas partes que deban ir en contraste por presentar algún tipo de peligro.

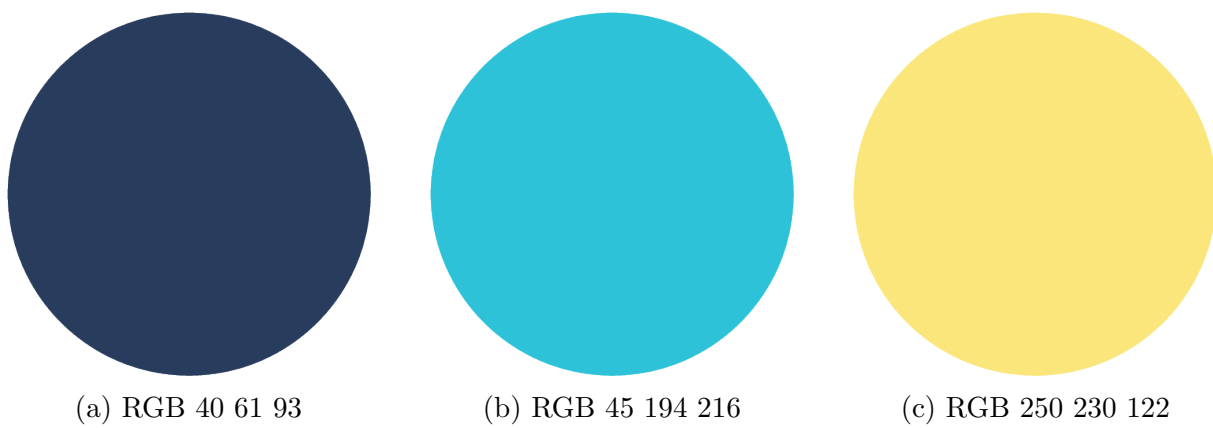


Figura 21: Muestras de color. Fuente Propia.

Finalmente, al aplicar estos colores a la máquina, esta queda como en la Figura 22. Para los elementos estructurales se debía usar los dos tonos azules y, persiguiendo el fin didáctico, se ha decidido intercalarlos para diferenciar mejor sus partes y ayudar así a entender mejor el fin de cada una de ellas. Por otro lado, para aquellas zonas que pueden suponer algún tipo de peligro se ha usado el tono amarillo en contraste, siendo esta la tolva, por el desprendimiento de humos y ser una zona caliente, y el extremo de la palanca, ya que es una zona con la que se pueden golpear los usuarios. Por último, se ha decidido no pintar el tubo de inyección por alcanzar muy altas temperaturas.

8.3.2. Mecanismo para el bloqueo de la palanca

Para solucionar el problema del bloqueo de la palanca se ha decidido añadir al prototipo una nueva pletina, conectando la base de la estructura con el lugar donde se conectan la palanca y el émbolo, aprovechando las uniones atornilladas ya existentes. Para realizar el diseño, se ha medido la distancia entre estas dos partes en distintas posturas, siendo estas:

- Alta: deja libre el orificio para la entrada de material.
- Media: el émbolo queda por debajo del orificio.
- Baja: el émbolo queda a media altura en el tubo de inyección.



Figura 22: Inyectora una vez pintada siguiendo el código de colores propuesto por *MAREA Plastic*. Fuente propia.

La finalidad de la primera de estas posturas es permitir que el operario pueda introducir el plástico en la máquina sin asegurar manualmente la palanca, mientras que la de las dos segundas consiste en poder inmovilizar el mecanismo durante el proceso de acople del molde, ya que durante las pruebas con el prototipo se ha comprobado que, de otra manera, el propio peso del émbolo extruye el plástico fundido en los instantes que el extremo del tubo de inyección queda descubierto. Se añaden dos alturas distintas para adaptarse a los distintos volúmenes de material fundido con los que se puede estar trabajando.

El diseño se ha realizado en SolidWorks, cuyo modelo 3D se puede ver en la Figura 23. Para la fabricación, se ha usado restos de pletina sobrantes del montaje de la estructura. Se ha pintado siguiendo el código de colores, y el resultado, una vez montado, es el que se muestra en la Figura 24.

El plano con las medidas de esta pieza puede consultarse en el Documento N^o2.

8.3.3. Disminución del diámetro del émbolo e incorporación de un casquillo de cuproaluminio en su extremo

Una vez acabada la estructura, durante las distintas pruebas que se estaban llevando acabo, se nota un aumento en la resistencia al deslizamiento entre el émbolo y el tubo de inyección, siendo necesario realizar una fuerza mayor para conseguir el movimiento y llegando incluso a producirse bloqueos en el prototipo, acabando finalmente en una obstrucción total del émbolo dentro del tubo, como se mostraba anteriormente en la

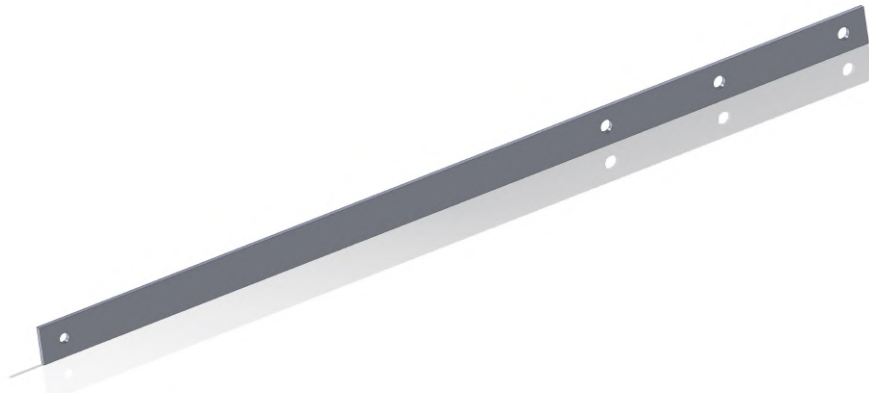


Figura 23: Modelo 3D realizado en SolidWorks. Fuente Propia.



Figura 24: Resultado tras el montaje del mecanismo de bloqueo para la palanca. Fuente Propia.

Figura 11, que acaba necesitando del uso de maquinaria para resolverse.

Tras liberar el émbolo, se observan una serie de muescas y rayaduras a lo largo del mismo, producto del roce con la pared interior del tubo. Esto puede deberse, tanto a la gran superficie de rozamiento entre ambos, que coinciden en diámetro, como al hecho de que estén constituidos por el mismo material.

Para solucionar este problema, se decide disminuir el diámetro del émbolo en un milímetro, eliminando así la posibilidad de roce a lo largo de toda su longitud. Para evitar que el flujo de plástico fundido penetre entre el hueco formado tras esta reducción de diámetro, se añade a presión un casquillo de cuproaluminio en el extremo inferior del émbolo de diámetro externo igual al interno del tubo de inyección. De esta manera, se asegura la estanqueidad de la zona donde se encuentra el material en estado líquido y, al poseer el cuproaluminio usado una dureza inferior a la del acero [36], se asegura que todos los daños provocados por el roce se produzcan en esta pieza, que es mucho más fácil y menos costosa de sustituir que el émbolo o el tubo de inyección en su totalidad. El modelo se puede consultar en la Figura 25 y los planos en el Documento N^o2.

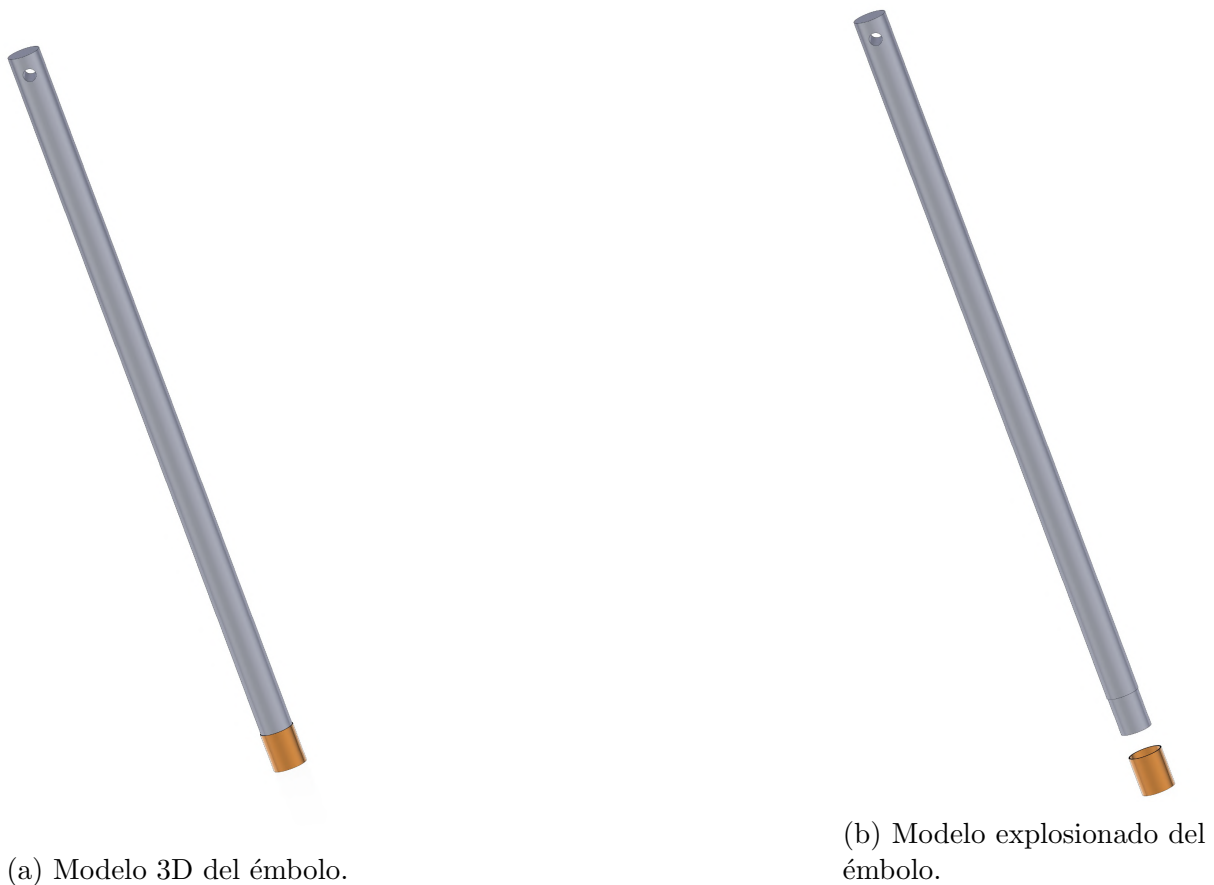


Figura 25: Modelo del nuevo émbolo realizado con SolidWorks. Fuente Propia.

8.3.4. Nuevo espacio para la electrónica

Con el cambio de los controladores PID a la nueva electrónica es preciso crear un nuevo espacio donde localizarla. Esta nueva zona se ha dividido en dos partes distintas. La primera de ellas, que se puede ver en la Figura 26, y que sirve de conexión con la estructura metálica, se ha construido con las pletinas sobrantes. De esta manera, se asegura una base sólida resistente al peso y a posibles impactos. Para su unión, se ha seguido el mismo método de soldadura expuesto en el punto 8.2.2 y, para la pintura, el del punto 8.3.1. La

unión con el resto de la máquina se realiza mediante uniones atornilladas, con taladros ya existentes en el diseño original, con lo que se mantiene la integridad estructural.

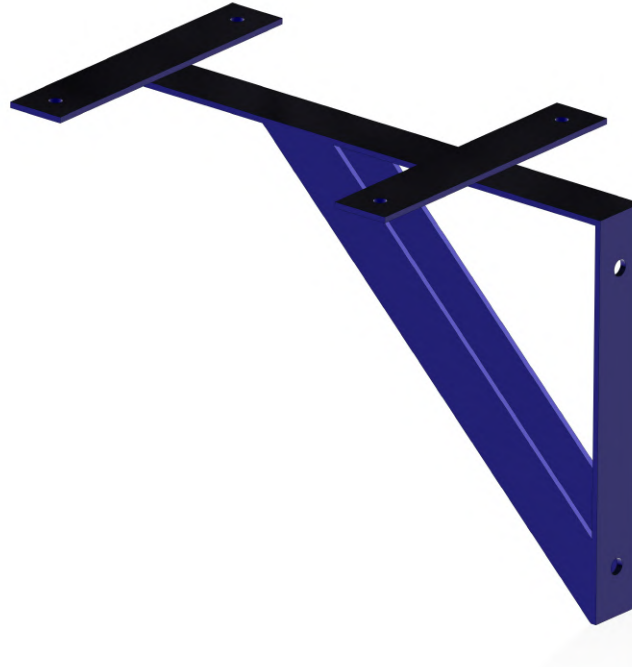


Figura 26: Modelo 3D de la pieza de unión entre la estructura y el espacio para la electrónica. Fuente Propia.

Para las paredes de la caja que contiene todos los componentes se ha decidido usar metacrilato, un material resistente a los impactos, de fácil mecanización y liviano. De esta manera, se consigue que estos queden a la vista, como se explicaba en el punto 1.1. Para la unión de todas las partes se ha diseñado una escuadra esquinera en SolidWorks (ver figura 27), que posteriormente se ha impreso en 3D usando filamento de PETG reciclado, de mayor resistencia mecánica y a la temperatura que otros plásticos [37].

Respecto a las uniones atornilladas necesarias, en un principio se han realizado pruebas con piezas impresas en 3D, al igual que la que se acaba de presentar. Sin embargo, al llevar a cabo pruebas de montaje, se hace evidente que carecen de la resistencia adecuada, por lo que se sustituyen por uniones atornilladas convencionales.

Continuando con los paneles de metacrilato, se cortan a las medidas establecidas gracias a la máquina de corte láser del laboratorio del DEGDP, dejando, además los huecos necesarios para la pantalla y el interruptor de encendido en el panel superior, y el paso para el cableado en el inferior.

El modelo 3D del conjunto se puede consultar en la Figura 28, mientras que el resultado final, ya instalado, aparece en la Figura 29.

Los planos correspondientes se pueden consultar en el Documento N°2. Queda pendiente para un trabajo próximo diseñar tanto embellecedores para los bordes del metacrilato como distintas piezas para fijar la electrónica en el interior del nuevo diseño.

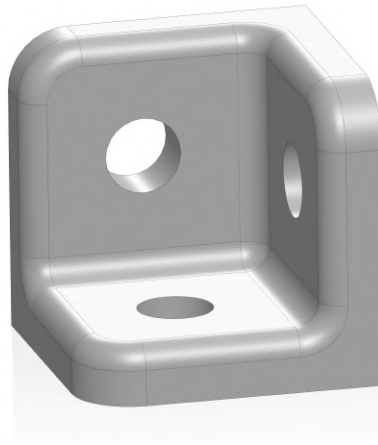


Figura 27: Modelo 3D de la escuadra esquinera. Fuente Propia.

8.3.5. Conjunto protector para el tubo de inyección.

Para evitar posibles quemaduras a usuarios provocadas por los calentadores del tubo de inyección, que en el diseño original se encuentran totalmente descubiertas, como se explicaba en el punto 7, se procede a crear una nueva pieza para impedir el contacto directo y accidental con esta zona. Este nuevo conjunto está formado por distintos componentes (véase la Figura 30), que se van a tratar a continuación.

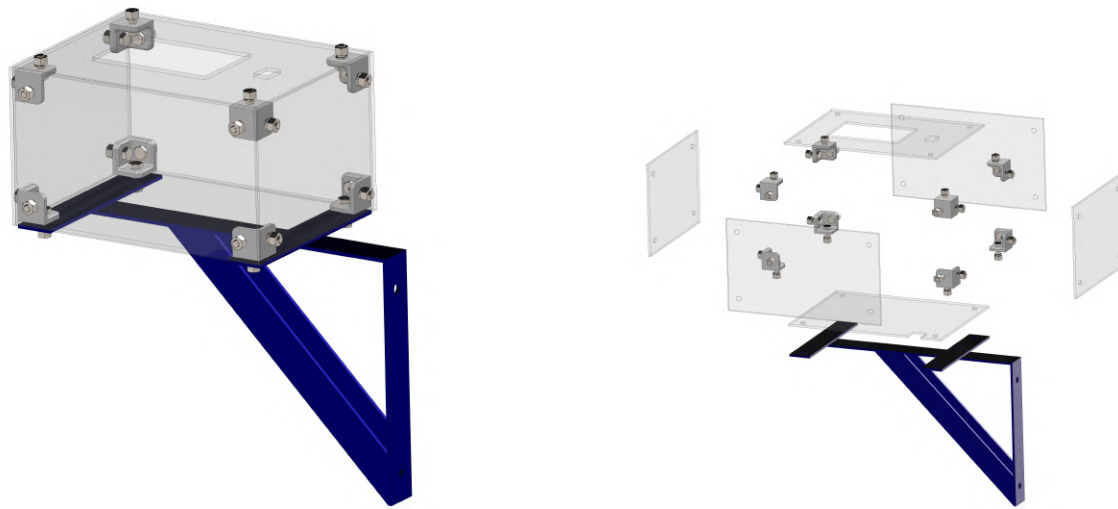
La primera de estas piezas consiste en la unión entre la estructura y el resto del conjunto. Para ello se ha realizado con pletinas sobrantes, que han sido mecanizadas y soldadas siguiendo los mismos métodos explicados en los puntos 8.2.1 y 8.2.2. Para mantener la integridad estructural del diseño inicial, la unión entre ambas se realiza por presión a través de dos pernos localizados únicamente en las pletinas. De esta forma, se evita ejecutar taladros en la estructura y se mantiene así su resistencia original. Esta pieza se puede ver en la Figura 31.

La siguiente pieza se ocupa de conectar esta última con los paneles de metacrilato, y su modelo 3D se puede consultar en la Figura 32. Para su diseño, se han evitado las esquinas y se ha añadido material de refuerzo en la zona donde se unen las pletinas con la base de la pieza. De esta manera, se disminuyen las zonas de concentración de tensiones y se aumenta la resistencia de la pieza [38] en las áreas de interés.

En vista de sus geometrías curvas, la fabricación se lleva a cabo mediante impresión 3D, usando el mismo filamento reciclado de PETG, de alta resistencia, que para las escuadras esquineras del punto 8.3.4.

Como esta pieza es relativamente grande y se realiza con una cantidad de material a tener en cuenta, se lleva a cabo una simulación de carga en SolidWorks previa a su fabricación, para asegurar que es capaz de soportar los esfuerzos necesarios. Para ello, se divide la pieza en un total de 58989 elementos finitos de dimensiones de alrededor de 4 mm, con elementos más pequeños en las zonas de interés, cerca de los taladros. El mallado utilizado se presenta en la Figura 33.

Los puntos fijos se localizan en los taladros donde la pieza se une con las pletinas, mientras



(a) Modelo 3D del espacio para la electrónica.

(b) Modelo explosionado del espacio para la electrónica.

Figura 28: Modelo del nuevo espacio para la electrónica realizado en SolidWorks. Fuente Propia.

que las fuerzas se distribuyen uniformemente en las cuatro perforaciones de la parte plana donde se realiza la conexión con el metacrilato.

Definiendo como valor de carga 15 N, correspondiente al peso del conjunto, las deformaciones obtenidas son mínimas, de tan solo 3.5 micrómetros en la zona de mayor desplazamiento, lo que se puede comprobar en la Figura 34 (en este caso se ha usado una escala de 5000 para las deformaciones, por lo que la pieza aparece mucho más alterada de lo que realmente está). Igualmente, las tensiones de Von Mises se mantienen por debajo de 369 kPa, muy inferior al módulo de fluencia del material, de 50 MPa, según el fabricante del filamento usado [39].

Estos valores, sin embargo, únicamente tienen en cuenta el peso del protector, por lo que no se corresponde con un entorno de trabajo real, donde pueden producirse golpes o manejos inadecuados. Por ello, se realizan una serie de simulaciones hasta encontrar el punto donde se produce el fallo de la pieza. Este punto se encuentra alrededor de 2000 N, con una deformación máxima de aproximadamente 0.5 mm, correspondiente con unos 200 kg de peso, por lo que se considera adecuada para resistir las condiciones del taller y se procede a su fabricación.

Para los paneles del protector, por los mismos motivos que en el punto 8.3.4, se usa metacrilato ya que se persigue dejar a la vista todos los componentes posibles. En este caso, al ser piezas de medidas superiores a las disponibles en el DEGDP, se consiguen a través de un proveedor externo y acaban siendo cedidas.

La capacidad de este material de soportar las temperaturas en zonas cercanas al tubo de inyección se ha comprobado de manera experimental, situando uno de los paneles a 1 cm de las resistencias y ajustando su temperatura a 450°C, situación en la que el metacrilato no sufre ningún tipo de alteración. Como referencia, el punto más cercano del metacrilato

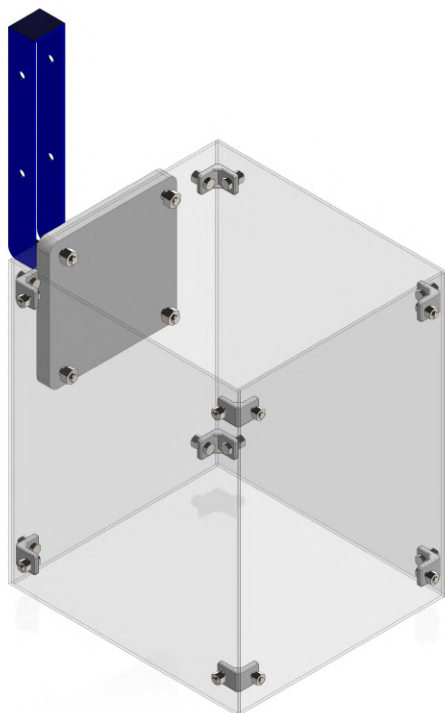


(a) Vista superior de la pieza.

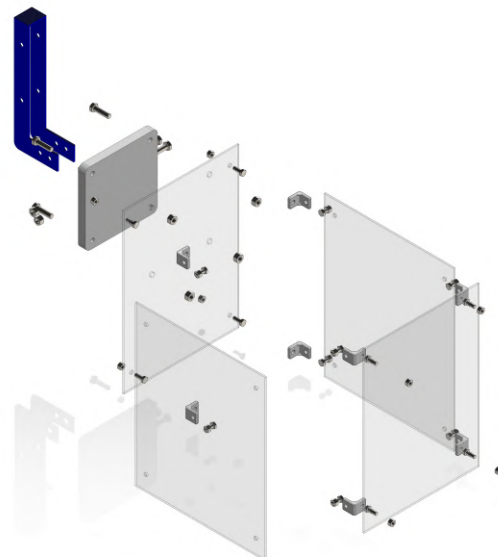


(b) Vista inferior de la pieza.

Figura 29: Resultado al instalar el nuevo espacio para la electrónica en el prototipo. Fuente Propia



(a) Modelo 3D del conjunto protector.



(b) Modelo explotado del conjunto protector.

Figura 30: Modelo 3D del nuevo conjunto protector para el tubo de inyección. Fuente Propia



Figura 31: Modelo 3D de la pieza de unión entre la estructura y el protector del tubo de inyección. Fuente Propia.

a las resistencias en el conjunto montado se encuentra a 24 cm, y la temperatura de trabajo no sobrepasa los 340°C.

Para la unión de los distintos paneles se ha usado una escuadra, también impresa en PETG, que aparece en la Figura 35

El conjunto, una vez montado, se puede consultar en la Figura 36, y sus planos en el Documento N°2.

Queda pendiente para trabajos futuros añadir algún tipo de protección en el hueco superior existente entre los paneles de metacrilato y el tubo de inyección, para evitar completamente la posibilidad de contacto en esa zona.

8.4. Mejoras y modificaciones sobre la electrónica

Esta sección, que trata sobre la nueva electrónica que se ha integrado en el prototipo y que, a excepción de los calentadores y el módulo de relés, es totalmente distinta de la original, se divide en dos partes. La primera de ellas consiste en la integración de Arduino mediante el uso del chip ESP32, además de los subsecuentes cambios en distintos componentes derivados de ello. La segunda trata la incorporación de una pantalla táctil Nextion de 4.3 pulgadas y el desarrollo de la interfaz HMI.

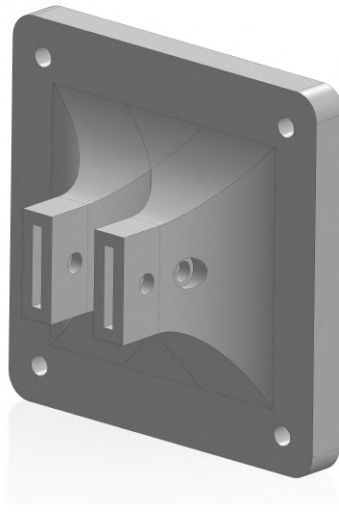


Figura 32: Modelo 3D de la pieza para conectar las pletinas con los paneles de metacrilato. Fuente Propia.

8.4.1. Integración de Arduino IDE con el chip ESP32

Arduino IDE consiste en un entorno de desarrollo usado para escribir código ampliamente utilizado y compatible con una gran cantidad de componentes electrónicos. Estas características lo hacen bastante interesante para la creación de un prototipo, debido a que permite una gran flexibilidad a la hora de incorporar nuevos elementos, en contraste con la electrónica del diseño original, muy simple y nada flexible. Esta última basa su funcionamiento en dos controladores PID, cuya única función consiste en ajustar la temperatura de las resistencias a otra determinada de manera manual por el usuario. Además, debido a las limitaciones de este sistema, uno de los controladores debe encargarse del control de tres resistencias distintas a la vez, lo que puede derivar en problemas de precisión.

Con el nuevo sistema, este control se puede programar de manera individual para cada uno de los calentadores, resultando en un ajuste más preciso de las temperaturas. Además, gracias a las opciones de personalización que ofrece y a la integración con la pantalla que se explica en el punto siguiente, se pueden desarrollar una serie de herramientas que faciliten el uso de la máquina, lo automaticen para usuarios que no estén familiarizados con las propiedades de los distintos plásticos y, adicionalmente, resulte en un proceso más didáctico, en línea con lo expuesto en el apartado 1.1.

El primer paso consiste en implementar un dispositivo compatible con Arduino. Existe una gran cantidad de estos aparatos, entre ellos algunos desarrollados directamente por Arduino, u otros por compañías independientes, como la conocida Raspberry Pi.

Este chip es el encargado de almacenar datos, recibir información de los distintos sensores, procesar esta información a través del código desarrollado y, en base a este, generar señales para controlar las resistencias.

Siguiendo las recomendaciones del técnico del laboratorio de DEGDP, se opta por la placa ESP32, que tiene como ventajas [40]:

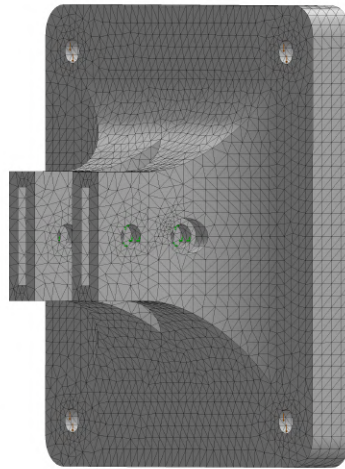


Figura 33: Mallado y localización de cargas para la simulación. Fuente Propia.

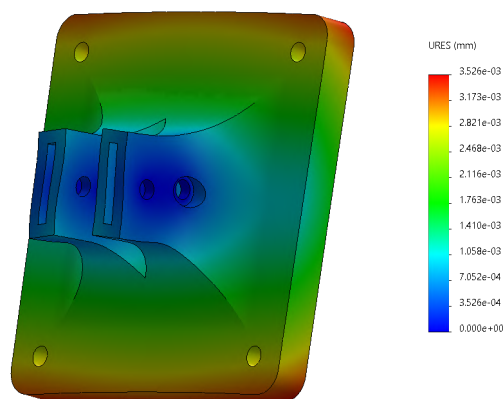


Figura 34: Deformaciones con una escala de 5000 para una carga de 15N. Fuente Propia.

- Capacidad de ejecutar varias tareas al mismo tiempo.
- Conectividad Wi-Fi y Bluetooth.
- Alto número de pines de entrada y salida, que permite la conexión y comunicación con distintos dispositivos simultáneamente.
- Bajo consumo de energía.
- Asequible.

Una vez se tiene la ESP32, el siguiente paso se basa en realizar el montaje de los calentadores, que deben estar conectados a la red eléctrica y a la placa, teniendo como intermediario el módulo de relés de estado sólido. Este componente es el encargado de permitir o impedir la circulación de corriente de la red a las resistencias, según la señal emitida por la ESP32, con lo que se consigue el control de las temperaturas. Para enviar este tipo de señales el chip cuenta con una serie de pines habilitados para señales de modulación



Figura 35: Modelo 3D de la escuadra usada para unir los paneles de metacrilato. Fuente Propia.

por ancho de pulsos (PWM, por sus siglas en inglés), que permiten controlar la cantidad de energía que circula por un componente [41]. Para localizar qué pines son válidos para esta tarea, se consulta la ficha de especificaciones de la ESP32, donde se especifican las características de cada una de las conexiones [42]. En la Tabla 4 se especifican los pines (GPIO) a los que se conectan cada una de las resistencias, siendo R1 la resistencia más cercana a la tolva y R4 la más lejana. Adicionalmente, es necesario conectar el módulo de relés a un pin positivo (V5) y a uno de los pines de tierra (GND).

Resistencia	Pin ESP32
R1	GPIO 25
R2	GPIO 32
R3	GPIO 33
R4	GPIO 21

Tabla 4: Pines para la conexión entre el módulo de relés y el chip ESP32. Fuente propia.

Con el paso anterior se consigue que los calentadores comiencen a funcionar, sin embargo, para lograr el control de las temperaturas también es necesario otro montaje que sea capaz de realizar una lectura constante de la temperatura existente en cada una de las cuatro resistencias. Para ello se usan los sensores PT100, compuestos por una resistencia de platino que cambia de valor con la temperatura, lo que permite realizar la lectura. Estos sensores se caracterizan por su bajo precio, su precisión y su fiabilidad, por lo que representan una buena opción. Para la conexión de estos sensores con la ESP32 es necesario además la implementación de los amplificadores Adafruit MAX31865, cuya función es reducir el ruido de la señal, mejorar la precisión y permitir la comunicación entre ambos elementos. De nuevo, la conexión se realiza según el mapa de pines de la ESP32 y el tipo de pines de la placa MAX31865, que en este caso cuenta con 6 distintos [43]:



Figura 36: Resultado de añadir el protector del tubo de inyección al prototipo. Fuente Propia.

- Positivo 3.3 voltios.
- Tierra, GND.
- *Serial Data In* (SDI): recibe datos de la ESP32.
- *Serial Data Out* (SDO): envía datos a la ESP32.
- *SPI Clock* (SCK): sincroniza la comunicación entre los dos componentes.
- *Chip Select* (CS): establece cuándo se realiza la comunicación.

Todos estos son comunes al mismo pin de la ESP32 para las cuatro MAX31865 a excepción del CS, que debe ser exclusivo y permite obtener lecturas individuales de cada PT100. Las conexiones se muestran en la Tabla 5:

Pin MAX31865	Pin ESP32
3V3	3V3
GND	GND
SDI	GPIO 23
SDO	GPIO 19
SCK	GPIO 18
CS R1	GPIO 26
CS R2	GPIO 5
CS R3	GPIO 22
CS R4	GPIO 27

Tabla 5: Pines para la conexión entre los amplificadores MAX31865 y el chip ESP32. Fuente propia.

Durante las pruebas, los distintos montajes se han realizado en una placa de pruebas *Protoboard*, que permite realizar cambios en el cableado fácilmente. Tras determinar las conexiones finales, el montaje se traspassa a una placa perforada, donde se sueldan los distintos componentes y se realizan las uniones finales haciendo uso tanto de cables como de soldaduras de estaño. El resultado final se puede ver en la Figura 37a, donde el chip negro corresponde con la ESP32 y los morados con los amplificadores MAX31865. En la Figura 37b, que muestra la parte inferior, aparecen las uniones soldadas.

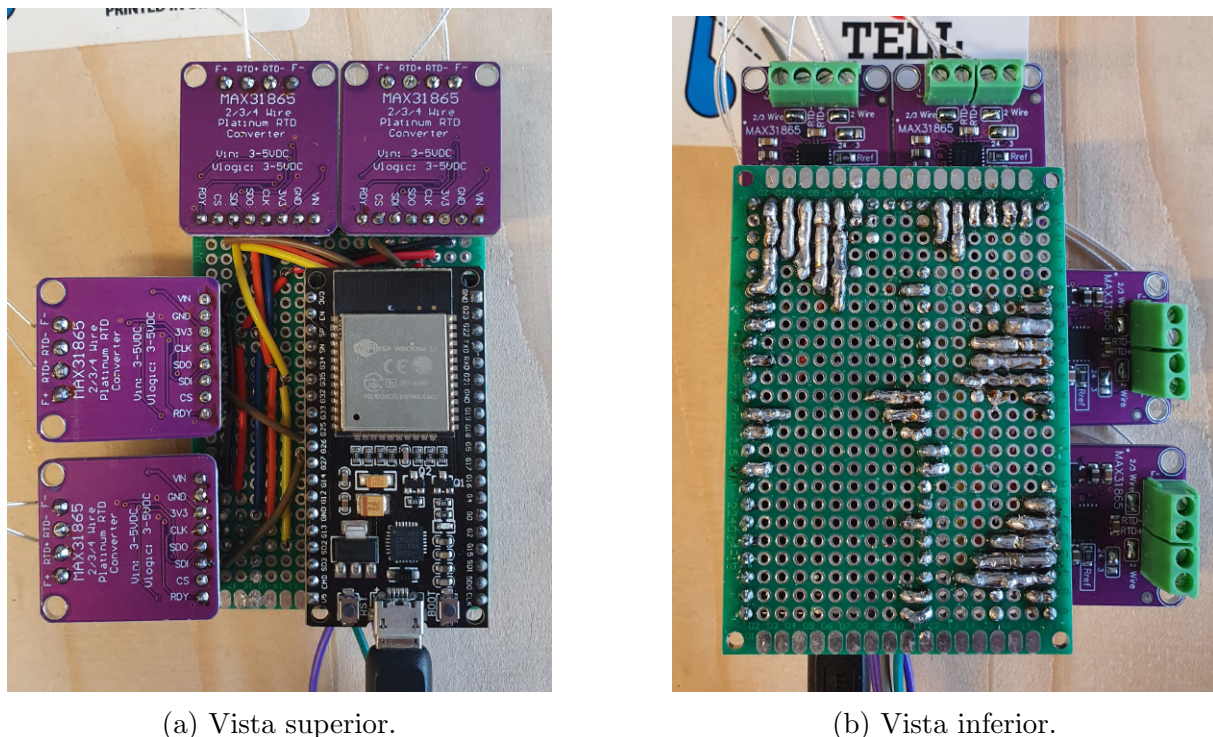
Por otro lado, en la Figura 38, se puede revisar el montaje que incluye las resistencias con sus respectivas PT100, en la parte superior, conectadas a la placa que se acaba de mostrar, en la esquina inferior izquierda, y al módulo de relés, en la esquina inferior derecha.

Una vez acabada la parte física de la electrónica, se puede comenzar a desarrollar el código necesario para la lectura y control de las temperaturas. Este código puede consultarse en su totalidad en la sección 13.

Comenzando por la lectura de temperaturas, Adafruit, la empresa encargada de fabricar los amplificadores MAX31865, proporciona una librería con una serie de funciones que se encargan de transformar las señales recibidas en temperatura. Para ello, es necesario definir el tipo de sensor que se está usando, en este caso un PT100 de 2 cables, y los pines a los que se conecta cada una de las MAX31865. A lo largo del código en la sección 13, se encuentra comentado tras los símbolos “\” o “%” cual es el fin de cada una de las funciones usadas. Una vez realizada esta parte del código, se ha constatado que las lecturas obtenidas por cada una de las PT100 sean correctas usando un termómetro láser.

Posteriormente se usan las funciones especificadas en la librería *ESP32 AnalogWrite* [44] para poder usar PWM como señal de salida, lo que ayuda a controlar la cantidad de corriente que circula por las resistencias. Para ello, se define en el código qué pines se van a usar para este cometido y el momento en el que se manda la señal.

Con lo expuesto hasta ahora se consigue mandar una señal que permita o impida la



(a) Vista superior.

(b) Vista inferior.

Figura 37: Vistas de la placa de electrónica donde se pueden ver los componentes y las conexiones. Fuente Propia

circulación de electricidad hasta los calentadores, además de una lectura de la temperatura de estos. Sin embargo, para conseguir un control automático de los valores del PWM necesarios para que la temperatura de las resistencias se ajuste a una determinada por el usuario, es necesario el uso de otra librería. Aquí es donde entra en juego la librería de control PID [45], que permite programar un controlador individualizado para cada una de las resistencias. Para ello, es necesario hacer una llamada a las funciones encargadas de crear un nuevo PID por cada resistencia y definir los valores de una serie de argumentos:

- *Input*: señal de entrada, en este caso, la lectura de temperatura de la PT100.
- *Output*: señal de salida, calculada en base a las constantes K_p , K_i y K_d , al *input* y al *setpoint*, usada para controlar la señal PWM y, con ello, la temperatura de las resistencias.
- *Setpoint*: Valor definido por el usuario, en este caso, la temperatura objetivo del calentador.
- K_p : Constante proporcional.
- K_i : Constante integral.
- K_d : Constante derivativa.

Una vez definidos los PID, igualando el valor de cada uno de los *outputs* a su PWM correspondiente se consigue el control de la temperatura. Sin embargo, para ello es necesario realizar primero un ajuste de las constantes K_p , K_i y K_d . Con la finalidad de

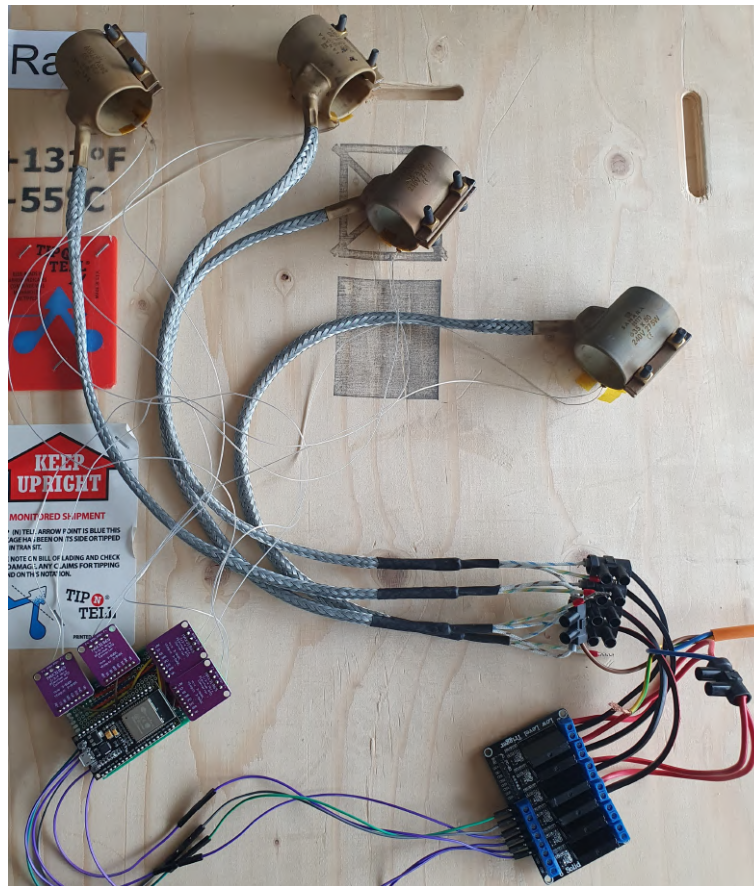


Figura 38: Vista general de la electrónica antes de instalarla. Fuente Propia.

entender mejor el funcionamiento de estas constantes, se va explicar el funcionamiento de un controlador PID.

Este se trata de un controlador de retroalimentación, es decir, es un método que utiliza la salida del sistema, en este caso la temperatura medida por el sensor PT100, para ajustar la entrada, en el caso de la inyectora, la cantidad de corriente que circula por la resistencia (es importante recalcar que no es lo mismo la entrada, o *input*, y la salida, o *output*, del PID, que se mencionaba en el párrafo anterior, y las del sistema, de las que se habla en este). Además, es uno de los métodos de control más usados en la industria [46].

El controlador PID funciona midiendo la variable controlada, comparándola con el valor deseado, y luego calculando una señal de salida que se utiliza para ajustar la variable controlada. Esta señal se obtiene en base a las tres constantes expuestas con anterioridad, su función es la siguiente:

- **Constante proporcional:** La acción proporcional es la parte más simple del controlador PID. Es directamente proporcional al error actual, lo que significa que cuanto mayor sea el error, mayor será la señal de salida. Es responsable además de conseguir una respuesta rápida del sistema al error. Sin embargo, también puede causar inestabilidad si su valor es demasiado alto.
- **Constante integral:** La acción integral es responsable de eliminar el error tendien-

do al valor deseado, lo que ocurre cuando la señal de salida es estable pero queda en un valor constante por encima o por debajo del *setpoint*. Esto se consigue gracias a que esta acción es proporcional al área bajo la curva de error. Si el error persiste, la acción integral aumentará indefinidamente en un valor proporcional al de la constante que se haya definido, lo que eventualmente conducirá a que el sistema alcance el valor deseado. La acción integral es más lenta que la acción proporcional, pero es más eficaz para eliminar el error asintótico.

- **Constante derivativa:** La acción derivativa es responsable de reducir los cambios bruscos en la señal de salida. Esto se debe a que es proporcional a la tasa de cambio de error, ya que se calcula en base a la pendiente de su curva y a K_p . Si el error está aumentando, la acción derivativa será positiva, y si está disminuyendo, será negativa. Esto ayuda a suavizar los cambios bruscos en la señal de salida, lo que puede ayudar a estabilizar el sistema.

En resumen, la parte proporcional se encarga de conseguir que el sistema se acerque rápidamente al *setpoint*, la integral a que el valor sobre el que oscila la temperatura sea más cercano al objetivo y la derivativa es la responsable de reducir las oscilaciones alrededor de este [46].

Un buen ajuste de estas constantes marca la diferencia entre un sistema que no se estabilice con una precisión suficiente, que no llegue a la temperatura deseada o que incluso se des controle, como se puede ver en la Figura 39a, u otro que se acerque más al que sería un controlador ideal, en la Figura 39b. En ambas imágenes, la curva rosa se corresponde con la salida del sistema, mientras que la línea azul a trazos se refiere al *setpoint*.

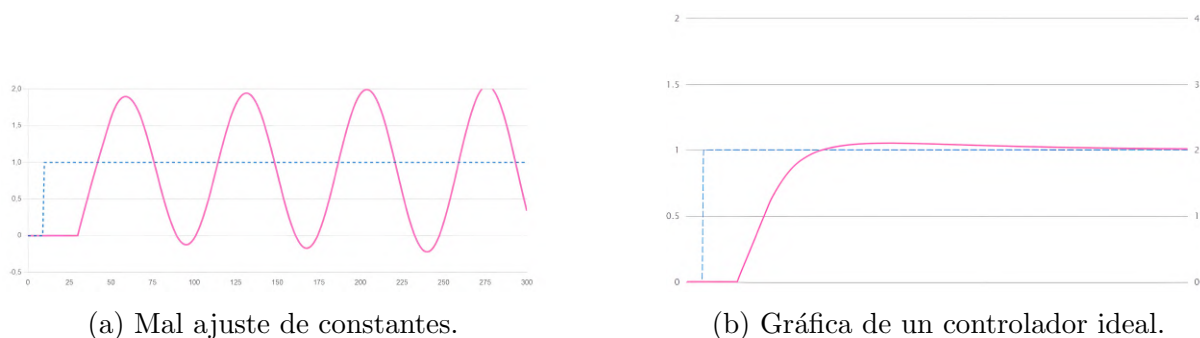


Figura 39: Ejemplos de gráficas de un controlador PID con constantes mal y bien ajustadas, respectivamente. Fuente Propia

Para realizar un primer acercamiento a la sintonización de estas constantes, se aborda cada resistencia de manera individual, comenzando por la más cercana a la tolva. Para ello, se aplica el método *Ziegler-Nichols* [47], ampliamente usado y caracterizado por su facilidad de usar y aplicabilidad en una gran variedad de situaciones. Además, este método es bastante útil cuando no se conoce la dinámica del sistema, o lo que es lo mismo, la manera en la que este responde a un cambio en la señal de entrada [48].

El procedimiento que se ha seguido ha sido el descrito en [49], que consiste en igualar el valor de las constantes integral y derivativa a cero e incrementar paulatinamente la proporcional hasta que se obtiene una oscilación estable de la salida alrededor del *set-*

point. De esta forma se obtienen la ganancia y el período de oscilación críticos, K_u y T_u respectivamente, mediante los cuales se pueden obtener las distintas constantes usando las fórmulas descritas en [49]. En la Figura 40 se muestra una gráfica correspondiente a un PID en el que la salida (línea rosa) oscila alrededor del valor objetivo (línea de trazos azul). En este momento, se toma el valor de la ganancia que provoca este efecto como K_u y se mide T_u , también marcados en la imagen.

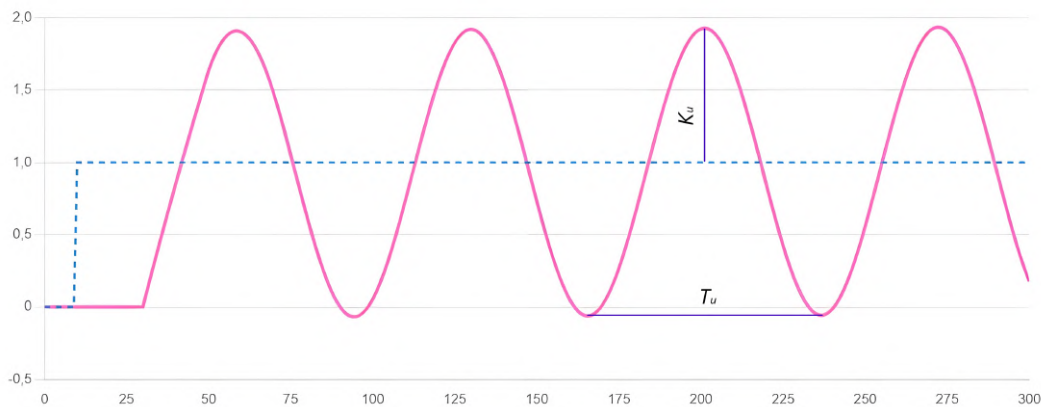


Figura 40: Medida de los valores de K_u y T_u . Fuente Propia.

Al aplicar este método, se obtienen las constantes que se exponen en la Tabla 6, que proporcionan una precisión de $\pm 0.20^{\circ}\text{C}$. Es importante recordar que estos valores únicamente son válidos para el uso individual de cada una de las resistencias.

Resistencia	K_u	T_u (s)	K_p	K_i	K_d
R1	13	106	6.9	0.5	13.25
R2	5	94	3	0.06	11.75
R3	15	95	9	0.25	11.875
R4	35	72	21	0.5	9

Tabla 6: Valor de las constantes obtenidas aplicando el método *Ziegler-Nichols*. Fuente propia.

Si bien con este ajuste se obtiene una precisión bastante alta, no refleja un funcionamiento real, puesto que al conectar los cuatro calentadores a la vez las condiciones de contorno son distintas y no consiguen la misma precisión. Sin embargo, proporcionan una base de partida para realizar la sintonización final.

Tras realizar diversas pruebas con otros métodos expuestos en [49] con las que no se han llegado a resultados concluyentes, se toma la decisión de realizar un ajuste manual de las constantes. Para ello, es necesario analizar cómo actúa la señal de salida, la temperatura en nuestro caso, respecto a la temperatura objetivo. Desviaciones en cada constante respecto a su valor óptimo generan comportamientos característicos. Por ejemplo, una temperatura estable, pero por debajo de la temperatura objetivo, es indicativo de una K_p demasiado baja, oscilaciones muy grandes alrededor de la temperatura objetivo pueden

verse provocadas por un valor de K_i más grande del necesario y si se observa un comportamiento anómalo e inestable de la señal mientras se va acercando al *setpoint*, algo conocido como *porpoising*, que se puede observar en la Figura 41, es que se ha usado un K_d muy grande. Todos estos efectos pueden superponerse y hay que saber distinguirlos para, mediante un proceso iterativo, ir aumentando o disminuyendo de forma manual las distintas constantes hasta obtener las correctas.

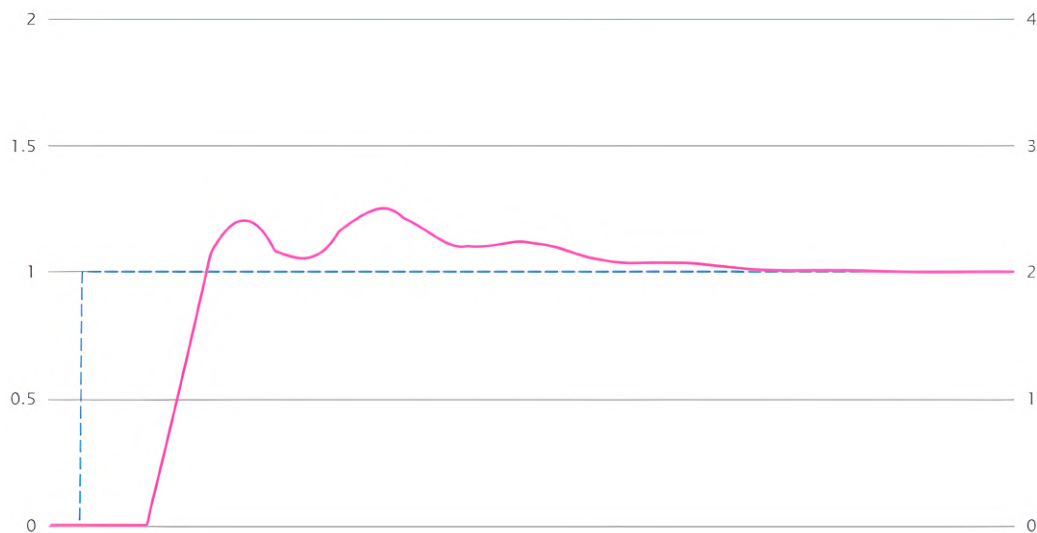


Figura 41: Gráfica que presenta *porpoising*. Fuente Propia.

Una vez realizada la sintonización final aplicando este proceso, se llega a las constantes presentadas en la Tabla 7, que coinciden con las usadas en el código presentado en la sección 13.

Resistencia	K_p	K_i	K_d
R1	5.9	1.5	15
R2	8	2.25	23.25
R3	9	2.25	28.25
R4	21	2.25	44.75

Tabla 7: Valor de las constantes finales tras la sintonización manual. Fuente propia.

Tras acabar este proceso se obtiene una precisión de $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$, mucho mayor a la reportada por los usuarios de la máquina de *Precious Plastic*, que mencionan variaciones en la temperatura de $\pm 10^{\circ}\text{C}$, además de un control independiente para cada una de las resistencias, a diferencia de en la máquina original, en la que los tres calentadores superiores deben situarse a la misma temperatura.

8.4.2. Incorporación de la pantalla táctil Nextion

Hasta este punto se ha conseguido un control preciso de las temperaturas. No obstante, sigue siendo necesario un método de comunicación entre el usuario y la máquina sencillo, eficiente y que disminuya la probabilidad de fallos para poder definir estos valores.

Para ello, se opta por incorporar una pantalla táctil, que se ha convertido en un método de interacción con máquinas que resulta natural, debido al uso extendido de teléfonos inteligentes [50] y, además, ofrece una gran capacidad de personalización y versatilidad a la hora de incorporar nuevas funciones.

De entre las disponibles en el mercado, se opta por la marca Nextion, ya que ofrece un software propio llamado Nextion Editor en el que se puede diseñar la interfaz haciendo uso de una serie de elementos que se presentan de forma gráfica [51].

Para conseguir la comunicación entre la pantalla y Arduino, es necesario realizar la conexión tanto de la alimentación como de los pines de puerto serie. Es importante destacar que el pin RX de la pantalla debe conectarse con el TX de la ESP32 y viceversa, y que el número de GPIO con el que se corresponden en la placa se determina en la propia biblioteca de Nextion para Arduino [52]. En este caso, se ha usado el puerto serie 2 de la ESP32, correspondiente con los pines 16 y 17 [42]. La conexión se muestra en la Tabla 8.

Pin Nextion	Pin ESP32
V5	V5
GND	GND
RX	GPIO 17
TX	GPIO 16

Tabla 8: Pines para la conexión entre la pantalla Nextion y el chip ESP32. Fuente propia.

Una vez enlazados ambos componentes, es necesario definir en Arduino todos los elementos de Nextion entre los que vaya a existir una comunicación. A este respecto, serán las temperaturas resultado de las lecturas de los sensores PT100 y las objetivo. Posteriormente, es preciso definir las distintas funciones según el uso que se le vaya a dar a la pantalla y, por último, realizar las llamadas en lugares adecuados. Todo el código se puede consultar en la sección 13, sin embargo, en el siguiente párrafo se desarrolla un resumen de las distintas funcionalidades programadas.

La pantalla de inicio, que se muestra en la Figura 42, cuenta con cuatro botones distintos:

- Guía de uso.
- Modo manual.
- Información de plásticos.
- Plásticos predefinidos.

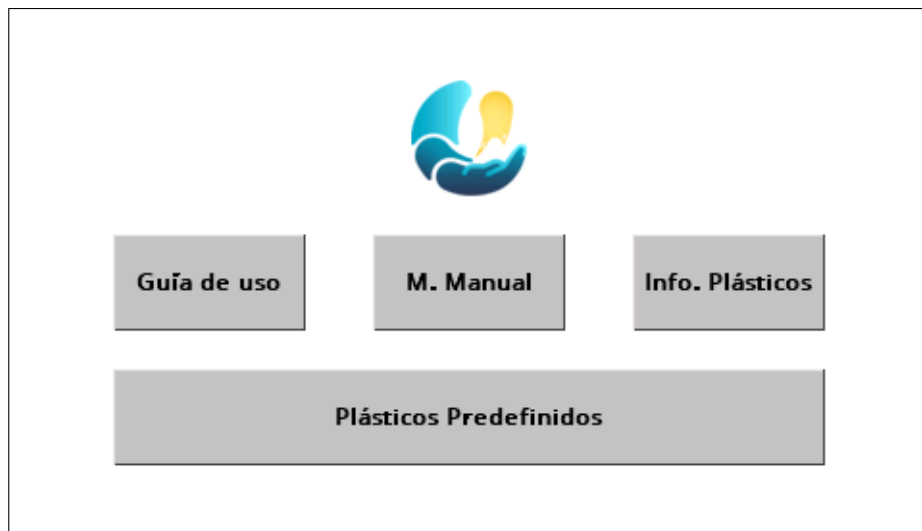


Figura 42: Página de inicio de la pantalla táctil. Fuente Propia.

Al pulsar cualquiera de estos botones, la pantalla cambia a la seleccionada. Comenzando por la guía de uso (véase Figura 43), se le proporciona al usuario toda la información adecuada para operar la máquina sin que dé lugar a fallos. Se encuentra dividida en varias páginas, por lo que en la parte inferior se han incorporado dos botones para navegar entre ellas. Además del botón de la parte superior con el que se puede volver al inicio en cualquier instante. El texto completo de la guía de uso se puede consultar en la sección 14.

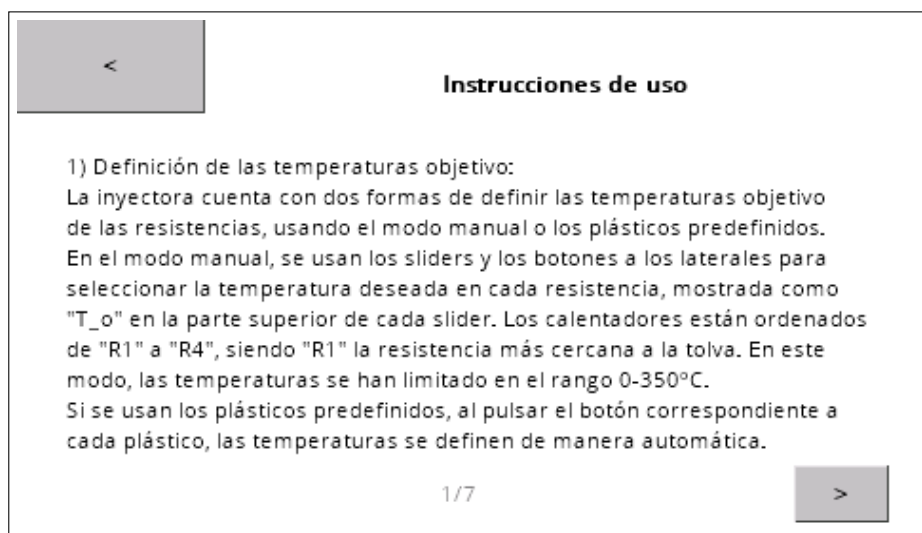


Figura 43: Primera página de la guía de uso en pantalla táctil. Fuente Propia.

Continuando con el material de ayuda y didáctico, se tienen las páginas de información de plásticos en las Figuras 44, donde se puede seleccionar el plástico sobre el que se quiere consultar información, y 45, que muestra la información proporcionada para cada uno de los plásticos, como puede ser su código de identificación, los objetos donde se suele encontrar o su temperatura de fundición. La información mostrada para cada uno de los plásticos, nuevamente, puede consultarse en la sección 14.



Figura 44: Página de selección de información de los distintos plásticos. Fuente Propia.

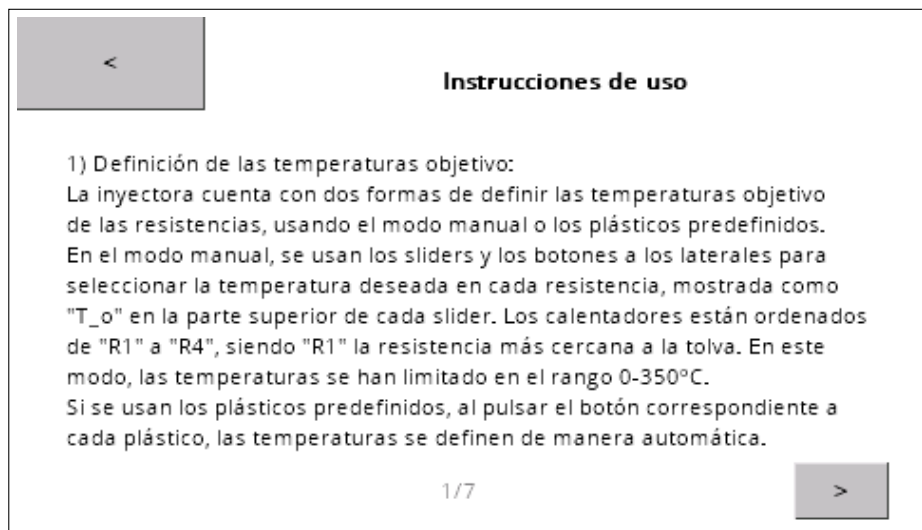


Figura 45: Página de información del PP. Fuente Propia.

Prosiguiendo con la selección de temperaturas objetivo, como se ha comentado anteriormente, se busca automatizar este proceso. Para ello, se ha creado una página, que aparece en la Figura 46, en la cual se ofrecen una serie de botones de los distintos plásticos con los que puede trabajar la máquina. Al pulsar cualquiera de estos botones, la temperatura de cada una de las resistencias se ajusta automáticamente a los valores adecuados y predefinidos, guardados en forma de *array* en Arduino. La obtención de estos valores se desarrolla en el punto 9.

Una vez seleccionado alguno de los plásticos, se puede pulsar el botón de inicio de funcionamiento, situado en la zona central superior de la pantalla. Al presionarlo, todos los botones quedan bloqueados a excepción de este mismo y el de vuelta a inicio. Pulsar cualquiera de estos dos botones interrumpe el funcionamiento de la máquina. De esta manera, se evitan pulsaciones accidentales que puedan resultar en cambios de temperatura no deseados. Inmediatamente después de esto, aparece un temporizador activo hasta 20

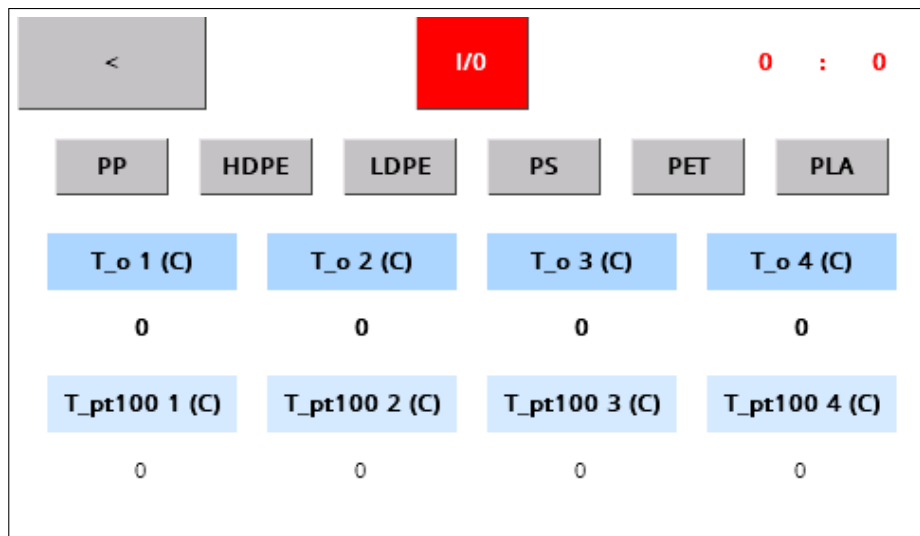


Figura 46: Página de selección de temperaturas predefinidas según el tipo de plástico. Fuente Propia.

minutos en la esquina superior izquierda, además de una señal que indica “ESPERAR”, ambos en rojo. Durante este tiempo, las temperaturas objetivo aumentan los 20°C necesarios que se explicaban en el punto 6.2 de manera automática. Una vez transcurrido este tiempo, las temperaturas vuelven a disminuir 20°C por sí solas, el temporizador se detiene y el texto cambia a “LISTO”, indicando al operario que puede proceder. De esta manera, se automatiza todo el proceso y se disminuye la posibilidad de errores humanos. Sin embargo, es importante destacar que en el momento de escritura de este documento, esta última funcionalidad produce fallos ocasionales, por lo que es necesario revisarla en vista al prototipo final.

Por último, también se ha añadido la posibilidad de definir las temperaturas objetivo de modo manual, para lo que se ha programado la página que se puede ver en la Figura 47.

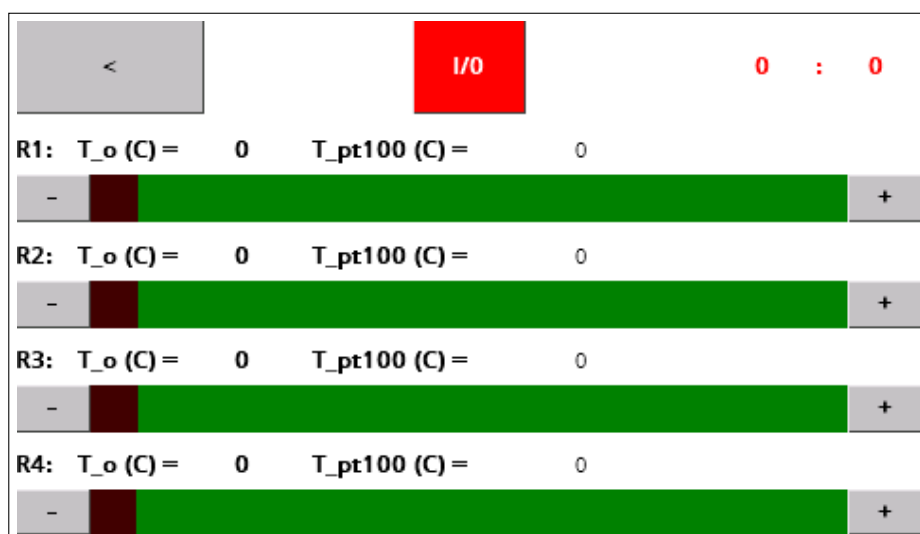


Figura 47: Página de selección manual de las temperaturas. Fuente Propia.

En ella, se le ha asignado a cada resistencia un deslizador y dos botones, con los que se puede aumentar o disminuir la temperatura en 1^oC. Para cada calentador se muestra, además, la lectura del sensor PT100. Una vez seleccionadas las temperaturas se pulsa el botón de inicio, que cuenta con las mismas funcionalidades que en el caso de los plásticos predefinidos.

9. Resultados del prototipo

Al finalizar todos los procesos hasta ahora descritos, se llega a un prototipo funcional, capaz de fundir plástico e inyectarlo en el molde. Consecuentemente, se comienzan a realizar las pruebas con los distintos plásticos disponibles en el taller de *MAREA Plastic*, lo que incluye todos los materiales que *Precious Plastic* indica como adecuados para la máquina original, siendo estos: PP, HDPE, LDPE y PS.

Aparte de estos, se testean igualmente el PET y PLA. Por último, también se tratan dos pruebas concretas, una de ellas en conjunto con otra máquina del taller, para comprobar los efectos del lavado previo a la inyección del material, mientras que la segunda se realiza para estudiar la posibilidad del procesamiento de garrafas contenedoras de detergente, fabricadas en HDPE y producidas por la empresa Winterhalter.

9.1. Pruebas con los distintos plásticos

Las primeras pruebas efectuadas tienen como finalidad determinar las temperaturas adecuadas para cada resistencia según el tipo de plástico. Para ello, se ha partido de las temperaturas propuestas tanto en [31] como en [53], se ha comprobado la consistencia obtenida, estudiando si es demasiado sólida, líquida o adecuada, lo que va a determinar si se produce un llenado correcto del molde o no, como se mostraba en la Figura 9b.

En las tablas siguientes, desde la 9 a la 14, se tratan las temperaturas (T_{Rx}) estudiadas para, respectivamente, PP, HDPE, LDPE, PS, PET y PLA. Se indica la consistencia obtenida para cada una de ellas, donde “S” indica una consistencia demasiado sólida, “L” demasiado líquida y “A” adecuada, por otro lado, la letra “Q” señala que, para esas temperaturas, el material se ha quemado. Por último, se añade la Tabla 15, donde se hace una recopilación de las temperaturas objetivo finales para cada una de las resistencias, en base a las pruebas anteriores, que coinciden con las implementadas en el código.

Comenzando por el PP, ha sido el plástico que menos problemas ha presentado, ya que se ha conseguido una consistencia adecuada en la primera prueba de temperaturas (véase Tabla 9).

El siguiente material con el que se han realizado pruebas se trata del HDPE, para el que se han precisado ensayos con dos temperaturas distintas (comprobar Tabla 10). En este caso, al igual que en el anterior, la temperatura toma un valor igual para los dos calentadores más cercanos a la tolva, mientras que la otra pareja presentan un valor distinto.

PP				
T_{R1} (°C)	T_{R2} (°C)	T_{R3} (°C)	T_{R4} (°C)	Consistencia
170	170	180	180	A

Tabla 9: Resultados obtenidos tras las pruebas con PP. Fuente propia.

HDPE				
T_{R1} (°C)	T_{R2} (°C)	T_{R3} (°C)	T_{R4} (°C)	Consistencia
140	140	150	150	S
150	150	160	160	A

Tabla 10: Resultados obtenidos tras las pruebas con HDPE. Fuente propia.

Pasando al LDPE, en una primera prueba, se acaba con un estado demasiado sólido, posteriormente, al aumentar un poco las temperaturas, esta situación mejora, pero el molde continúa sin rellenarse al completo. En un tercer incremento, más ligero que el anterior, se alcanza la consistencia adecuada (ver Tabla 11).

LDPE				
T_{R1} (°C)	T_{R2} (°C)	T_{R3} (°C)	T_{R4} (°C)	Consistencia
110	110	120	130	S
120	120	130	140	S
125	125	135	145	A

Tabla 11: Resultados obtenidos tras las pruebas con LDPE. Fuente propia.

En el caso del PS, tras quemar el material en las dos primeras pruebas, se lleva a cabo una bajada acusada de las temperaturas, que provoca un llenado incompleto del molde. Incrementar T ligeramente respecto a esta última configuración permite obtener resultados satisfactorios (véase Tabla 12).

Hasta ahora se han tratado únicamente plásticos cuya capacidad de ser inyectados por la máquina original es conocida [3]. Los dos siguientes que se presentan a continuación son novedosos, y la posibilidad de ser inyectados usando este prototipo podría deberse a las mejoras implementadas como, por ejemplo, la mayor precisión en el control de temperaturas o la capacidad de manejarlas de forma individualizada en cada calentador.

El primero de los dos que se va a tratar es el PET, un plástico conocido por su difícil procesamiento, debido a su alta resistencia mecánica y a la temperatura [31]. De hecho, los propios usuarios de *Precious Plastic* contraindican su uso tanto en la inyectora como en la extrusora, ya que puede dar lugar a obturaciones en la máquina difíciles de solucionar [17]. Sin embargo, conseguir ser capaz de procesarlo resulta bastante interesante, ya que es uno de los plásticos de uso más extendido de las dos últimas décadas [54].

PS				
T_{R1} (°C)	T_{R2} (°C)	T_{R3} (°C)	T_{R4} (°C)	Consistencia
200	200	210	210	Q
180	180	190	190	Q
150	150	160	170	S
150	160	170	180	A

Tabla 12: Resultados obtenidos tras las pruebas con PS. Fuente propia.

En las dos primeras pruebas, se obtiene una consistencia demasiado líquida, que provoca un desbordamiento del material fundido del molde. Sin embargo, al bajar la temperatura ligeramente, el plástico de la zona de la boquilla llega incluso a no fundirse, con lo cual es imposible realizar la inyección. Esto es indicativo de que es necesaria una buena precisión en el control de las temperaturas para poder procesar este material, lo que puede ser el motivo que impide reciclarlo usando la máquina original. Finalmente, en la cuarta prueba, se llega a la consistencia adecuada para llenar el molde sin que este se desborde (consultar Tabla 13). Sin embargo, en este caso se ha notado que las piezas inyectadas resultan más frágiles de lo esperado. Sería interesante, para un trabajo futuro, llevar a cabo un estudio de porqué se produce este fenómeno y cómo solucionarlo.

PET				
T_{R1} (°C)	T_{R2} (°C)	T_{R3} (°C)	T_{R4} (°C)	Consistencia
240	240	240	250	L
235	240	240	245	L
220	225	230	235	S
237	238	239	240	A

Tabla 13: Resultados obtenidos tras las pruebas con PET. Fuente propia.

Por último, el último plástico disponible para llevar a cabo pruebas ha resultado ser el PLA, ampliamente usado en impresión 3D. En este caso, no se han presentado ningún tipo de contratiempos, obteniendo la consistencia adecuada en el segundo ensayo (ver Tabla 14)

PET				
T_{R1} (°C)	T_{R2} (°C)	T_{R3} (°C)	T_{R4} (°C)	Consistencia
160	160	170	170	L
150	150	160	160	A

Tabla 14: Resultados obtenidos tras las pruebas con PLA. Fuente propia.

La recopilación de todas las temperaturas que resultan en la consistencia adecuada para cada plástico, y usadas en el código para el control automático de estas, se presenta en la Tabla 15.

Material	T_{R1} (°C)	T_{R2} (°C)	T_{R3} (°C)	T_{R4} (°C)
PP	170	170	180	180
HDPE	150	150	160	160
LDPE	125	125	135	145
PS	150	160	170	180
PET	237	238	239	240
PLA	150	150	160	160

Tabla 15: Recopilación de la configuración de temperaturas correctas para cada resistencia según el material. Fuente propia.

Usando estas configuraciones, se asegura obtener un llenado correcto del molde y un buen producto final, tal y como los mostrados en la Figura 48.



(a) Molde llenado correctamente.



(b) Producto final obtenido.

Figura 48: Resultados obtenidos con un buen ajuste de las temperaturas. Fuente Propia

9.2. Otras Pruebas

Para finalizar esta sección, se van a mencionar dos pruebas concretas que se han realizado a petición de otros miembros del proyecto.

La primera de ellas, solicitada por el encargado de la lavadora de plásticos consistió en realizar dos pruebas de inyección con el mismo material y a la misma temperatura, estando en el primer de los casos el plástico sin lavar y en el segundo lavado. La finalidad de este ensayo radicó en realizar una inspección visual durante el proceso de fundido y en los productos obtenidos para analizar posibles diferencias tras llevar a cabo el proceso de lavado. Durante este, se notó una gran cantidad humos emitidos en el caso del plástico lavado, probablemente vapor de agua. Esto ayudó al encargado de la lavadora a determinar la necesidad de añadir un paso de secado intermedio previo a la inyección para evitar este acontecimiento.

La segunda de ellas, llevada a cabo con la finalidad de estudiar la posibilidad de crear un convenio de aportación de material por parte de la empresa Winterhalter, encargada de fabricar y distribuir detergentes industriales, se basó en investigar la capacidad de reciclar sus garrafas contenedoras, realizadas en HDPE. Tras efectuar las inyecciones habiendo llevado a cabo un lavado ligero del material, sin usar la lavadora, debido la indisponibilidad de esta en el momento de realización de la prueba, se observó como este HDPE, una vez fundido y extruido, aumentó de tamaño a prácticamente el doble del HDPE disponible en el taller, como aparece representado en la Figura 49.



(a) HDPE proporcionado por Winterhalter



(b) HDPE disponible en el taller.

Figura 49: Comparación de los resultados obtenidos al fundir el material proporcionado por Winterhalter y el disponible en el taller. Fuente Propia

Este aumento de tamaño fue el causante de no conseguir llenados completos en el molde, y se llegó a la conclusión de que podía deberse a la existencia de gas ocluido dentro del propio material, debido a la presencia de burbujas en la propia superficie, así como que este suceso podría estar producido por la existencia de restos de detergente en el material, que una vez introducidos en el tubo de inyección, a muy alta temperatura, cambiasen de estado. Con ello se determinó que un lavado completo haciendo uso de la nueva máquina desarrollada ayudaría a paliar este fenómeno, al eliminar estos residuos. En el momento de escritura de este documento, esta última prueba está pendiente de realizar.

10. Difusión

MAREA Plastic, como proyecto de la Universidad de Málaga, ha llevado a cabo un amplio proceso de difusión, participando en cantidad de visitas a facultades, congresos y entrevistas de prensa. Como máquina integrante del taller, la inyectora ha participado en varios de estos eventos, que se comentan a continuación:

- Visitas a las Facultad de Economía, Escuela de Ingenierías Industriales y Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática y Telecomunicación de la UMA, para dar a conocer el proyecto a los alumnos.
- Asistencia al Foro *Transfiere* 2022, con finalidad de difusión y conexión con proyectos similares y entidades interesada.
- Asistencia y presentación en el 31 Congreso *Ingeggraf*, incluyendo ponencia sobre la inyectora y publicación de su artículo en *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, que se puede consultar en [55].
- Participación en *Café con ciencia* 2023, para dar a conocer el proyecto y los procesos de reciclaje de plásticos a alumnos de distintos institutos de la provincia de Málaga.
- Entrevista de prensa publicada en distintas plataformas, como *La Opinión de Málaga* o *Europapress*.
- Entrevista televisada en el programa *Tesis* de *Canal Sur Andalucía*, que puede consultarse en [56].

En la Figura 50 se muestran fotografías de algunos de estos eventos.

11. Comparación con la máquina de inyección original y conclusiones

Una vez obtenido un prototipo funcional, sobre el que se han realizado las pruebas mencionadas en la sección 9, se puede llevar a cabo la comparación entre este y el diseño de partida. Una de las diferencias más notables consiste en el aumento de precisión en el control de las temperaturas, que ha pasado de $\pm 10^{\circ}\text{C}$ [17] a $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$, lo que supone una precisión cerca de 7 veces mayor. Con esto se ha alcanzado, además, la capacidad de procesar dos tipos de plásticos adicionales a los mencionados por *Precious Plastic*: PET y PLA.

Adicionalmente, esto último se consigue con una disminución en el costo de la electrónica encargada del control de temperatura: la máquina inicial necesita dos controladores PID, dos termopares y dos relés de estado sólido, cuyo precio actual asciende a 97.36 €, mientras que el coste de la parte dedicada únicamente al control de la nueva electrónica es de 33.98 €, un 65.1 % menor. Si se tiene en cuenta para el gasto de la electrónica el valor de la pantalla Nextion, el coste se eleva a 76.62 €, que continúa siendo un 21.3 % menor. El desglose de estos costes se puede consultar en el Documento N^o4.



(a) Ponencia en el 31 Congreso *Ingegraf*.



(b) Exposición en el Foro *Transfiere* 2022.



(c) Maquinaria expuesta en la EII.

Figura 50: Fotografías de eventos de *MAREA Plastic* en los que ha participado la máquina de inyección. Fuente Propia

Asimismo, la incorporación de esta pantalla ayuda a facilitar el proceso de inyección, al automatizar el ajuste de temperaturas según el tipo de plásticos y proporcionar indicaciones al usuario sobre cuándo puede comenzar a alimentar la máquina con material, de esta manera que se consigue disminuir la posibilidad de fallos. Igualmente, los nuevos menús de guía de uso e información sobre plásticos ayudan a aumentar la carga didáctica del procedimiento.

Respecto a las modificaciones estructurales y mecánicas, se ha conseguido mantener la visibilidad de todos los componentes, importante para que el público sea capaz de comprender de manera sencilla el funcionamiento, a la vez que se ha aumentado la seguridad añadiendo la protección contra quemaduras para el tubo de inyección.

Por otro lado, la introducción del nuevo mecanismo para el bloqueo del émbolo consigue un uso más cómodo y seguro, lo que a su vez permite operar la máquina a una sola persona fácilmente al hacer posible efectuar los procesos de alimentación de material y conexión del molde sin ayuda externa.

Se ha conseguido, adicionalmente, un desempeño sin obstrucciones desde el cambio al émbolo actual, que reduce la zona de fricción y, además, posibilita una reparación más sencilla y menos costosa en caso de deterioro debido al uso.

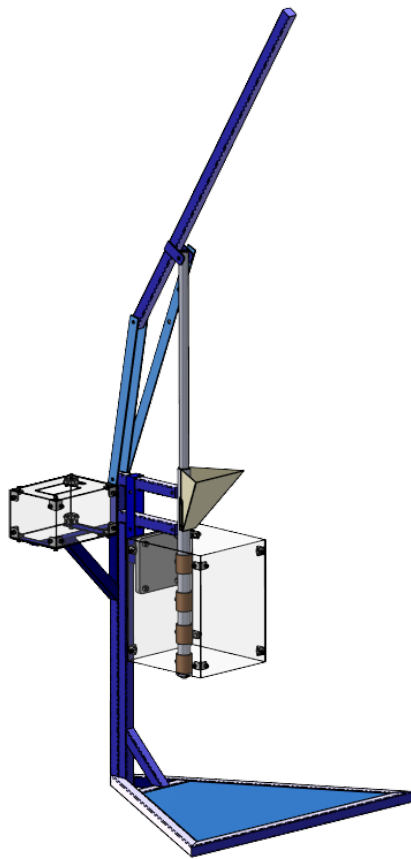
Por último, el pintado siguiendo el código de colores definido por *MAREA Plastic* aumenta la seguridad, debido a la utilización de colores luminosos en zonas de peligro, y refuerza la identidad corporativa del proyecto, al adaptarse a los colores usados en el resto de elementos del mismo. Igualmente, el uso de materiales reutilizados o en desuso para la mayor cantidad de partes posibles del prototipo contribuyen a impulsar los valores que se quieren transmitir.

En vista a lo expuesto hasta ahora, se pueden considerar cumplidos los objetivos definidos en la sección 1.1, que, para recordar, consistían en:

- Usar la mayor cantidad de material reutilizado posible.
- Impulsar los valores del reciclaje y sostenibilidad.
- Aumentar la capacidad didáctica del prototipo.
- Conseguir un uso más sencillo, libre de fallos.
- Adaptar el prototipo al entorno de *MAREA Plastic*.
- Incrementar la seguridad durante el proceso.

Sin embargo, al tratarse de un prototipo, este se encuentra en desarrollo constante, ya que siempre hay lugar para integrar nuevas mejoras o profundizar en las ya existentes. Para ello, en el punto siguiente se tratan algunas de las posibles líneas de trabajo futuras.

En la Figura 51a se representa un modelo de la máquina de inyección en el estado actual, mientras que en la Figura 51b se muestra una fotografía de la misma.



(a) Modelo 3D realizado con SolidWorks.



(b) Fotografía de la inyectora.

Figura 51: Estado de la máquina de moldeo por inyección para plásticos en el momento de escritura de este documento. Fuente Propia

12. Líneas futuras

Los planteamientos de trabajo más directos consisten en implementar los mecanismos sobre los que se ha hablado a lo largo del documento pero en los que no se ha podido trabajar aún. Uno de los más importantes consiste en la incorporación de un extractor de humo, debido a la alta toxicidad que pueden presentar los gases emitidos [30]. Este dispositivo debería estar enlazado con el chip ESP32, de manera que comenzase a trabajar en el momento que se pulsase el botón de inicio de funcionamiento en la pantalla. Con esto se enlaza con el siguiente punto, que reside en revisar el código encargado de la definición de este botón, para corregir los fallos que se mencionaban en el apartado 8.4.2.

Continuando con temas relacionados con la seguridad, queda pendiente el diseño de un mecanismo de compuerta para la tolva capaz de reducir el peligro de cizallamiento con el émbolo, para el que se propone, como idea de partida, una placa trapezoidal de metacrilato conectada al mecanismo de bloqueo de la palanca. De este modo, la tolva únicamente sería accesible en el momento en el que el émbolo se encuentre bloqueado en su postura más alta, dejando el orificio de entrada de material completamente libre.

De igual forma, resulta imperativo crear una pieza que se coloque entre la parte superior del protector contra quemaduras y el tubo de inyección para impedir totalmente el alcance a esta zona. Este diseño debe ser en forma de rejilla, para impedir la acumulación de calor que puede afectar a los materiales plásticos. Asimismo, se debe usar un elemento con baja conductividad térmica, para evitar que adquiera la temperatura emitida por el tubo de inyección y se convierta en una nueva zona propensa a provocar quemaduras. En línea con lo desarrollado en el punto 8.3.4, se propone realizar esta pieza en impresión 3D usando el mismo filamento de PETG reciclado, debido a su buena resistencia a la temperatura y baja conductividad, unido a un fragmento de material aislante circular en la zona de contacto entre esta pieza y el tubo, donde se producirían las temperaturas más altas.

Por otro lado, sería interesante realizar nuevos ensayos con plásticos de uso muy extendido, pero que no se encontraban disponibles en el laboratorio en el momento de realizar las pruebas, y que, por tanto, no se ha podido comprobar si es posible procesarlos empleando el prototipo desarrollado. Algunos de estos consisten en:

- Policarbonato (PC).
- Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).
- Cloruro de polivinilo (PVC).
- Poliuretano (PU).

Con el fin de automatizar el proceso en mayor medida, se plantea la incorporación de una nueva estructura, consistente en una tolva secundaria, una báscula y un motor, con la que se conseguiría automatizar el proceso de alimentación de material. De esta manera, al seleccionar en pantalla el material y el molde con el que se está trabajando, se podría controlar de forma autónoma la cantidad de plástico necesario, además de verterlo a la tolva principal automáticamente mediante un nuevo controlador PID programado en el chip ESP32. Igualmente, se podría añadir un segundo motor encargado de empujar el émbolo, conectado a toda la electrónica y controlado desde la pantalla. Sería necesario un estudio de las características de estos dos motores.

Por último, se proponen mejoras en la estética de la máquina. Entre ellos, sería interesante un nuevo código de colores, con zonas de mayor contraste para las zonas de peligro. Otro ámbito de mejora para la estética se encuentra en la aplicación de embellecedores en los bordes tanto del tubo de inyección como del nuevo espacio para la electrónica, así como piezas de sujeción para los componentes electrónicos dentro del nuevo espacio diseñado para estos, lo que permitiría disponerlos de manera más ordenada. El método de fabricación que se propone para estas es, de nuevo, la impresión 3D. Igualmente, sería interesante profundizar en el diseño de los distintos menús existentes en la pantalla, ya que en el prototipo actual se ha tomado un enfoque totalmente funcional. Un nuevo diseño podría, además de mejorar la estética, facilitar la navegación.

Una vez aplicadas todas las mejoras planteadas, el paso final consistiría en compartir estos nuevos diseños con la comunidad de *Precious Plastic* en código abierto, con el objetivo de hacerlas accesibles para cualquier persona interesada y continuar promoviendo el reciclaje de plásticos.

13. Anexo A. Código desarrollado

En este anexo, se va a exponer el código desarrollado para el control de las temperaturas y la comunicación con la pantalla Nextion. Se presenta en tres secciones distintas. La primera de ellas se corresponde con el código principal, donde se definen todos los elementos necesarios y se hacen las llamadas a las funciones. En la segunda, se trata la definición de las distintas funciones y, por último, en la tercera, se muestra la definición de la función que permite controlar el programa a través del monitor serie, en caso de que se necesite ejecutarlo desde un ordenador.

A lo largo del código se incluyen comentarios para aclarar la finalidad de cada elemento. En estos comentarios, no se han usado acentos ya que provocan incompatibilidades con el paquete de Latex encargado de mostrar el código.

13.1. Código principal

```
1
2 //A lo largo de los comentarios no se han usado acentos ya que ...
   provocan errores con el paquete de Latex.
3
4 // Definicion de las bibliotecas que se van a usar.
5 #include <Nextion.h>
6 #include <Adafruit_MAX31865.h>
7 #include <PID_v1.h>
8 #include <analogWrite.h>
9
10
11
12
13 // Definicion de los pines a los que se va a conectar cada ...
   amplificador MAX31865. El orden de los argumentos es (CS, SDI, ...
   SDO, SCK).
14 // El pin CS debe ser individual para cada placa, el resto son ...
   comunes. El numero 1 se refiere a la resistencia 1, mas cercana ...
   a la tolva.
15 Adafruit_MAX31865 thermo1 = Adafruit_MAX31865(26,23,19,18);
16 Adafruit_MAX31865 thermo2 = Adafruit_MAX31865(5,23,19,18);
17 Adafruit_MAX31865 thermo3 = Adafruit_MAX31865(22,23,19,18);
18 Adafruit_MAX31865 thermo4 = Adafruit_MAX31865(27,23,19,18);
19
20
21
22
23 // Valor de referencia para la resistencia del sensor de ...
   temperatura. Si se usa PT100 debe ser 430.
24 #define RREF      430.0
25
26 // Valor nominal de la resistencia del sensor a 0 C . Para PT100 ...
   debe ser 100.
27 #define RNOMINAL  100.0
```

```
28
29
30
31
32 // Definicion de las variables que se van a usar en los ...
    controladores PID.
33 double Setpoint1, Input1, Setpoint2, Input2, Setpoint3, Input3, ...
    Setpoint4, Input4;
34 double Output1=1023;
35 double Output2=1023;
36 double Output3=1023;
37 double Output4=1023;
38
39 // Definicion de las constantes proporcional, integral y derivativa...
    de cada PID.
40 double Kp1=5.9, Ki1=1.5, Kd1=15;
41 double Kp2=8, Ki2=2.25, Kd2=21;
42 double Kp3=9, Ki3=2.25, Kd3=23;
43 double Kp4=21, Ki4=2.25, Kd4=51;
44
45
46
47
48 //Array con las temperaturas objetivo de cada resistencia adecuadas...
    para fundir los distintos plasticos predefinidos.
49 const int temperaturas[6][4] = {
50     {170, 170, 180, 180}, // PP.
51     {150, 150, 160, 160}, // HDPE.
52     {125, 125, 135, 145}, // LDPE.
53     {150, 160, 170, 180}, // PS.
54     {237, 238, 239, 240}, // PET.
55     {150, 150, 160, 160} // PLA.
56 };
57
58 // Variables para controlar la actualizacion de las temperaturas.
59 unsigned long previousMillis = 0; // Tiempo anterior.
60 const long interval = 1000; // Intervalo de actualizacion ...
    en milisegundos.
61
62 unsigned long tiempoInicial_PlaPre = 0;
63 const unsigned long tiempoEspera = 20 * 60 * 1000; // 20 minutos en...
    milisegundos.
64
65
66
67
68 // Variables para controlar el cambio de temperaturas autom tico ...
    en los primeros 20 minutos de calentamiento.
69 bool heat_PlaPre = false;
70 bool sumarealizada = false;
71 bool veintemin = false;
72
73 bool heat_MManual = false;
74
75
76
```

```
77
78 // Limites para el valor del output de los controladores PID. Deben...
    coincidir con los limites del PWM.
79 void SetOutputLimits(double OutputMin, double OutputMax);
80 double OutputMin = 0;
81 double OutputMax = 1023;
82
83 // Definicion de los 4 controladores PID. REVERSE significa que ...
    para un Output de 1023, el mayor posible ,
84 // los calentadores no reciben corriente , mientras que para Output...
    =0 funcionan a maxima potencia.
85 PID myPID1(&Input1, &Output1, &Setpoint1, Kp1, Ki1, Kd1, REVERSE);
86 PID myPID2(&Input2, &Output2, &Setpoint2, Kp4, Ki4, Kd4, REVERSE);
87 PID myPID3(&Input3, &Output3, &Setpoint3, Kp4, Ki4, Kd4, REVERSE);
88 PID myPID4(&Input4, &Output4, &Setpoint4, Kp4, Ki4, Kd4, REVERSE);
89
90
91
92
93 //Definicion de los pines que emiten la se al PWM y, por tanto, se...
    deben conectar al modulo de relees .
94 #define LED1 25
95 #define LED2 32
96 #define LED3 33
97 #define LED4 21
98
99 // Propiedades del PWM necesarias para el funcionamiento.
100 int brightness = 0;
101 int fadeAmount = 5;
102
103 const int freq1 = 20000;
104 const int freq2 = 20000;
105 const int freq3 = 20000;
106 const int freq4 = 20000;
107
108 // Los canales deben ser distintos para cada se al PWM y ...
    condicionan los pines usados.
109 const int ledChannel1 = 0;
110 const int ledChannel2 = 2;
111 const int ledChannel3 = 4;
112 const int ledChannel4 = 6;
113
114 const int resolution1 = 10;
115 const int resolution2 = 10;
116 const int resolution3 = 10;
117 const int resolution4 = 10;
118
119 // Definicion de variables para controlar las temperaturas.
120 int pwm1 = 0, pwm2 = 0, pwm3 = 0, pwm4 = 0;
121 int temp1 = 0, temp2 = 0, temp3 = 0, temp4 = 0;
122 float pt1001 = 0, pt1002 = 0, pt1003 = 0, pt1004 = 0;
123
124
125
126
127 // Definicion de los elementos Nextion.
```

```
128 NexButton Pl_Pre = NexButton(0, 3, "PlaPre"); // Bot n en la ...
    pagina 0, n 3 llamado "PlaPre".
129
130 NexNumber Pl_Pre_o1 = NexNumber(3, 26, "x4"); // Elemento de tipo "...
    xfloat" en la pagina 3, n 26 llamado "n1".
131 NexNumber Pl_Pre_o2 = NexNumber(3, 27, "x5"); // Elemento de tipo "...
    xfloat" en la pagina 3, n 27 llamado "n2".
132 NexNumber Pl_Pre_o3 = NexNumber(3, 28, "x6"); // Elemento de tipo "...
    xfloat" en la pagina 3, n 28 llamado "n3".
133 NexNumber Pl_Pre_o4 = NexNumber(3, 29, "x7"); // Elemento de tipo "...
    xfloat" en la pagina 3, n 29 llamado "n4".
134
135 NexNumber Pl_Pre_PT1 = NexNumber(3, 11, "x0"); // Elemento de tipo ...
    "xfloat" en la pagina 3, n 11 llamado "x0".
136 NexNumber Pl_Pre_PT2 = NexNumber(3, 12, "x1");
137 NexNumber Pl_Pre_PT3 = NexNumber(3, 13, "x2");
138 NexNumber Pl_Pre_PT4 = NexNumber(3, 14, "x3");
139
140 NexButton PP = NexButton(3, 15, "PP");
141 NexButton HDPE = NexButton(3, 16, "HDPE");
142 NexButton LDPE = NexButton(3, 17, "LDPE");
143 NexButton PPS = NexButton(3, 18, "PS");
144 NexButton PET = NexButton(3, 19, "PET");
145 NexButton PLA = NexButton(3, 20, "PLA");
146
147 NexDSButton DS_PlaPre = NexDSButton(3, 2, "bt0");
148
149 NexButton Volver_PlaPre = NexButton(3, 1, "b0");
150
151 NexDSButton DS_MManual = NexDSButton(2, 26, "bt0");
152
153 NexNumber MManual_o1 = NexNumber(2, 36, "x4");
154 NexNumber MManual_o2 = NexNumber(2, 37, "x5");
155 NexNumber MManual_o3 = NexNumber(2, 38, "x6");
156 NexNumber MManual_o4 = NexNumber(2, 39, "x7");
157
158 NexNumber MManual_PT1 = NexNumber(2, 32, "x0");
159 NexNumber MManual_PT2 = NexNumber(2, 33, "x1");
160 NexNumber MManual_PT3 = NexNumber(2, 34, "x2");
161 NexNumber MManual_PT4 = NexNumber(2, 35, "x3");
162
163 NexButton Volver_MManual = NexButton(2, 1, "b0");
164
165 // Definicion de los elementos Nextion cuya pulsacion provoca una ...
    comunicacion entre
166 // la pantalla y Arduino.
167 NexTouch *nex_listen_list [] =
168 {
169     &PP,
170     &HDPE,
171     &LDPE,
172     &PPS,
173     &PET,
174     &PLA,
175     &DS_PlaPre ,
176     &DS_MManual,
```

```
177     &Volver_PlaPre ,
178     &Volver_MManual ,
179     NULL
180 };
181
182
183
184
185 // Configuracion del programa
186 void setup() {
187
188
189 // Ajuste del numero de baudios del puerto serie a 115200.
190 Serial.begin(115200);
191 Serial.println("Adafruit MAX31865 PT100 Sensor Test!");
192
193
194
195
196
197 // Inicio de la comunicacion con Nextion.
198 nexInit();
199
200 // Asociacion de la funci n al evento de pulsar el boton ...
    correspondiente.
201 PP.attachPop(PPPopCallback);
202 HDPE.attachPop(HDPEPopCallback);
203 LDPE.attachPop(LDPEPopCallback);
204 PPS.attachPop(PPSPopCallback);
205 PET.attachPop(PETPopCallback);
206 PLA.attachPop(PLAPopCallback);
207 DS_PlaPre.attachPop(DS_PlaPrePopCallback , &DS_PlaPre);
208 DS_MManual.attachPop(DS_MManualPopCallback , &DS_MManual);
209 Volver_PlaPre.attachPop(Volver_PlaPrePopCallback);
210 Volver_MManual.attachPop(Volver_MManualPopCallback);
211
212
213
214
215 // Ajuste de los limites de los PID.
216 myPID1.SetOutputLimits(0, 1023);
217 myPID2.SetOutputLimits(0, 1023);
218 myPID3.SetOutputLimits(0, 1023);
219 myPID4.SetOutputLimits(0, 1023);
220
221 // Inicializacion de los PID.
222 myPID1.SetMode(AUTOMATIC);
223 myPID2.SetMode(AUTOMATIC);
224 myPID3.SetMode(AUTOMATIC);
225 myPID4.SetMode(AUTOMATIC);
226
227
228
229
230 // Inicializacion de la lectura de temperaturas segun el tipo de ...
    PT100 que se esta usando.
```

```
231 // En este caso, al ser de dos hilos se usa "2WIRE".
232 thermo1.begin(MAX31865_2WIRE); // set to 2WIRE or 4WIRE as ...
    necessary
233 thermo2.begin(MAX31865_2WIRE);
234 thermo3.begin(MAX31865_2WIRE);
235 thermo4.begin(MAX31865_2WIRE);
236
237
238
239
240 // Ajuste de los pines para PWM como pin de salida.
241 pinMode(LED1,OUTPUT);
242 pinMode(LED2,OUTPUT);
243 pinMode(LED3,OUTPUT);
244 pinMode(LED4,OUTPUT);
245
246 // Ajuste del PWM segun las variables definidas anteriormente.
247 ledcSetup(ledChannel1, freq1, resolution1);
248 ledcSetup(ledChannel2, freq2, resolution2);
249 ledcSetup(ledChannel3, freq3, resolution3);
250 ledcSetup(ledChannel4, freq4, resolution4);
251
252 // Acople de los pines con los canales definidos anteriormente.
253 ledcAttachPin(LED1, ledChannel1);
254 ledcAttachPin(LED2, ledChannel2);
255 ledcAttachPin(LED3, ledChannel3);
256 ledcAttachPin(LED4, ledChannel4);
257
258
259 }
260
261
262
263
264 // Bucle del programa que se ejecuta continuamente.
265 void loop() {
266
267 // Llamada a la funcion para la lectura de los sensores PT100.
268 calculo_pt100();
269
270 // Comprobacion sobre si existe alguna comunicacion con Nextion.
271 nexLoop(nex_listen_list);
272
273 // Llamada a las funciones para comprobar y escribir en el ...
    monitor serie.
274 ver_tecla();
275
276 imprime();
277
278 PT100_Pantalla();
279
280
281
282
283 // Ajuste de las temperaturas objetivo. Se coloca en el loop para...
    poder modificarlo mientras
```

```
284 // el programa se esta ejecutando.
285 Setpoint1 = temp1;
286 Setpoint2 = temp2;
287 Setpoint3 = temp3;
288 Setpoint4 = temp4;
289
290 // Las lecturas de los sensores PT100 se igualan constantemente ...
    al input del PID para conseguir un control correcto.
291 Input1 = pt1001;
292 Input2 = pt1002;
293 Input3 = pt1003;
294 Input4 = pt1004;
295
296
297
298
299 // Tras definir las nuevas variables en la iteracion actual del ...
    bucle , se ejecuta el PID.
300 myPID1.Compute();
301 myPID2.Compute();
302 myPID3.Compute();
303 myPID4.Compute();
304
305
306
307
308 // Llamada a las funciones que comprueban si se ha pulsado el ...
    bot n de inicio en Nextion e inician el temporizador.
309 heatOff_On();
310 temp20();
311
312
313
314
315 // Tras ejecutar los 4 PID, se lanza la se al PWM a traves de los...
    pines definidos que provocan la apertura o cierre de los reles.
316 ledcWrite(ledChannel1,pwm1);
317 ledcWrite(ledChannel2,pwm2);
318 ledcWrite(ledChannel3,pwm3);
319 ledcWrite(ledChannel4,pwm4);
320
321
322
323
324 // Llamada a la funcion que comprueba si los sensores PT100 ...
    funcionan correctamente.
325 errores_pt100();
326
327
328 }
```

Listado 1.1: Código principal. Fuente propia.

13.2. Funciones

```
1
2 // Funcion encargada de transformar la se al enviada por los ...
   sensores PT100 en lecturas de temperatura.
3 void calculo_pt100(){
4
5
6   uint16_t rtd1 = thermo1.readRTD();
7   uint16_t rtd2 = thermo2.readRTD();
8   uint16_t rtd3 = thermo3.readRTD();
9   uint16_t rtd4 = thermo4.readRTD();
10  float ratio1 = rtd1, ratio2 = rtd2, ratio3 = rtd3, ratio4 = rtd4;
11  ratio1 /= 32768;
12  ratio2 /= 32768;
13  ratio3 /= 32768;
14  ratio4 /= 32768;
15  pt1001 = thermo1.temperature(RNOMINAL, RREF);
16  pt1002 = thermo2.temperature(RNOMINAL, RREF);
17  pt1003 = thermo3.temperature(RNOMINAL, RREF);
18  pt1004 = thermo4.temperature(RNOMINAL, RREF);
19
20
21 }
22
23
24
25
26 // Funcion encargada de imprimir todos los valores obtenidos en el ...
   monitor serie.
27 void imprime(){
28
29
30  Serial.print("PT100 1 = "); Serial.print(thermo1.temperature(...
   RNOMINAL, RREF)); Serial.print("\t");
31  Serial.print(" Temperatura 1 = "); Serial.print(temp1); Serial....
   print("\t");
32  Serial.print("PT100 2 = "); Serial.print(thermo2.temperature(...
   RNOMINAL, RREF)); Serial.print("\t");
33  Serial.print(" Temperatura 2 = "); Serial.print(temp2); Serial....
   print("\t");
34  Serial.print("PT100 3 = "); Serial.print(thermo3.temperature(...
   RNOMINAL, RREF)); Serial.print("\t");
35  Serial.print(" Temperatura 3 = "); Serial.print(temp3); Serial....
   print("\t");
36  Serial.print("PT100 4 = "); Serial.print(thermo4.temperature(...
   RNOMINAL, RREF)); Serial.print("\t");
37  Serial.print(" Temperatura 4 = "); Serial.print(temp4); Serial....
   print("\t");
38  Serial.print("PWM = "); Serial.print(pwm1); Serial.print("\t");
39  Serial.print(" output= "); Serial.println(Output1); Serial.print(...
   "\t");
40  Serial.print("PWM = "); Serial.print(pwm2); Serial.print("\t");
```

```

41  Serial.print(" output= "); Serial.println(Output2); Serial.print(...
    "\t");
42  Serial.print("PWM = "); Serial.print(pwm3); Serial.print("\t");
43  Serial.print(" output= "); Serial.println(Output3); Serial.print(...
    "\t");
44  Serial.print("PWM = "); Serial.print(pwm4); Serial.print("\t");
45  Serial.print(" output= "); Serial.println(Output4); Serial.print(...
    "\t");
46
47
48 }
49
50
51
52
53 // Funcion encargada de enviar las lecturas de temperatura a la ...
    pantalla tactil en cada iteracion del bucle.
54 void PT100_Pantalla () {
55
56
57  unsigned long currentMillis = millis();
58  if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
59      previousMillis = currentMillis;
60
61
62  Pl_Pre_PT1.setValue(pt1001); // Mostramos la primera temperatura ...
    PT100 en pl sticos predefinidos.
63  Pl_Pre_PT2.setValue(pt1002); // Mostramos la segunda temperatura ...
    PT100 en pl sticos predefinidos.
64  Pl_Pre_PT3.setValue(pt1003); // Mostramos la tercera temperatura ...
    PT100 en pl sticos predefinidos.
65  Pl_Pre_PT4.setValue(pt1004); // Mostramos la cuarta temperatura ...
    PT100 en pl sticos predefinidos.
66
67  MManual_PT1.setValue(pt1001); // Mostramos la primera temperatura...
    PT100 en el modo manual.
68  MManual_PT2.setValue(pt1002); // Mostramos la segunda temperatura...
    PT100 en el modo manual.
69  MManual_PT3.setValue(pt1003); // Mostramos la tercera temperatura...
    PT100 en el modo manual.
70  MManual_PT4.setValue(pt1004); // Mostramos la cuarta temperatura ...
    PT100 en el modo manual.
71  }
72
73
74 }
75
76
77
78
79 // Funciones que comprueban si el boton de funcionamiento esta ...
    pulsado en las pantallas de
80 // plasticos predefinidos o modo manual.
81 void DS_PlaPrePopCallback(void *ptr)
82 {
83

```

```
84
85     uint32_t dual_state;
86     NexDSButton *btn = (NexDSButton *)ptr;
87     dbSerialPrintln("b0PopCallback");
88     dbSerialPrint(" ptr=");
89     dbSerialPrintln((uint32_t)ptr);
90
91     DS_PlaPre.getValue(&dual_state);
92     if(dual_state)
93     {
94         heat_PlaPre = true;
95     }
96     else
97     {
98         heat_PlaPre = false;
99         sumarealizada = false;
100        veintemin = false;
101    }
102
103
104 }
105
106
107 void DS_MManualPopCallback(void *ptr)
108 {
109
110
111     uint32_t dual_state;
112     NexDSButton *btn = (NexDSButton *)ptr;
113     dbSerialPrintln("b0PopCallback");
114     dbSerialPrint(" ptr=");
115     dbSerialPrintln((uint32_t)ptr);
116
117     DS_PlaPre.getValue(&dual_state);
118     if(dual_state)
119     {
120
121         uint32_t t1, t2, t3, t4;
122         MManual_o1.getValue(&t1);
123         MManual_o2.getValue(&t2);
124         MManual_o3.getValue(&t3);
125         MManual_o4.getValue(&t4);
126         temp1 = t1;
127         temp2 = t2;
128         temp3 = t3;
129         temp4 = t4;
130         heat_MManual = true;
131
132     }
133     else
134     {
135         heat_MManual = false;
136         sumarealizada = false;
137         veintemin = false;
138     }
139
```

```
140
141 }
142
143
144
145
146 // Funcion que impide el funcionamiento de los calentadores si no ...
    se ha pulsado el boton de inicio.
147 void heatOff_On(){
148
149
150     if (heat_MManual == heat_PlaPre == false)
151     {
152         pwm1 = 1023;
153         pwm2 = 1023;
154         pwm3 = 1023;
155         pwm4 = 1023;
156     }
157     else
158     {
159         pwm1 = Output1;
160         pwm2 = Output2;
161         pwm3 = Output3;
162         pwm4 = Output4;
163     }
164
165
166 }
167
168
169
170
171 // Funcion que actualiza las temperaturas automaticamente los ...
    primeros 20 minutos.
172 void temp20(){
173
174
175     if (heat_PlaPre == true || heat_MManual == true){
176
177         if(sumarealizada == false){
178
179             tiempoInicial_PlaPre = millis();
180             temp1 += 20;
181             temp2 += 20;
182             temp3 += 20;
183             temp4 += 20;
184             sumarealizada = true;
185         }
186
187     else{
188         // Verifica si han pasado los 20 minutos
189         if (millis() - tiempoInicial_PlaPre >= tiempoEspera & ...
veintemin == false) {
190             // Vuelve al valor inicial
191             temp1 -= 20;
192             temp2 -= 20;
```

```
193     temp3 -= 20;
194     temp4 -= 20;
195     veintemin = true;
196     }
197 }
198 }
199
200
201 }
202
203
204
205
206 // Funciones que ajustan la temperatura automaticamente segun el ...
    plastico que se haya seleccionado.
207 void PPPopCallback(void *ptr) { // Funci n a llamar cuando se ...
    pulse el bot n .
208
209     temp1 = temperaturas[0][0]; // Asignar el valor de la primera ...
        temperatura objetivo.
210     temp2 = temperaturas[0][1]; // Asignar el valor de la segunda ...
        temperatura objetivo.
211     temp3 = temperaturas[0][2]; // Asignar el valor de la tercera ...
        temperatura objetivo.
212     temp4 = temperaturas[0][3]; // Asignar el valor de la cuarta ...
        temperatura objetivo.
213
214     Pl_Pre_o1.setValue(temp1); // Mostramos la primera temperatura ...
        objetivo.
215     Pl_Pre_o2.setValue(temp2); // Mostramos la segunda temperatura ...
        objetivo.
216     Pl_Pre_o3.setValue(temp3); // Mostramos la tercera temperatura ...
        objetivo.
217     Pl_Pre_o4.setValue(temp4); // Mostramos la cuarta temperatura ...
        objetivo.
218
219 }
220
221 void HDPEPopCallback(void *ptr) { // Funcion a llamar cuando se ...
    pulse el boton.
222
223     temp1 = temperaturas[1][0]; // Asignar el valor de la primera ...
        temperatura objetivo.
224     temp2 = temperaturas[1][1]; // Asignar el valor de la segunda ...
        temperatura objetivo.
225     temp3 = temperaturas[1][2]; // Asignar el valor de la tercera ...
        temperatura objetivo.
226     temp4 = temperaturas[1][3]; // Asignar el valor de la cuarta ...
        temperatura objetivo.
227
228     Pl_Pre_o1.setValue(temp1); // Mostramos la primera temperatura ...
        objetivo.
229     Pl_Pre_o2.setValue(temp2); // Mostramos la segunda temperatura ...
        objetivo.
230     Pl_Pre_o3.setValue(temp3); // Mostramos la tercera temperatura ...
        objetivo.
```

```
231 Pl_Pre_o4.setValue(temp4); // Mostramos la cuarta temperatura ...
    objetivo.
232
233 }
234
235 void LDPEPopCallback(void *ptr) { // Funcion a llamar cuando se ...
    pulse el boton.
236
237 temp1 = temperaturas[2][0]; // Asignar el valor de la primera ...
    temperatura objetivo.
238 temp2 = temperaturas[2][1]; // Asignar el valor de la segunda ...
    temperatura objetivo.
239 temp3 = temperaturas[2][2]; // Asignar el valor de la tercera ...
    temperatura objetivo.
240 temp4 = temperaturas[2][3]; // Asignar el valor de la cuarta ...
    temperatura objetivo.
241
242 Pl_Pre_o1.setValue(temp1); // Mostramos la primera temperatura ...
    objetivo.
243 Pl_Pre_o2.setValue(temp2); // Mostramos la segunda temperatura ...
    objetivo.
244 Pl_Pre_o3.setValue(temp3); // Mostramos la tercera temperatura ...
    objetivo.
245 Pl_Pre_o4.setValue(temp4); // Mostramos la cuarta temperatura ...
    objetivo.
246
247 }
248
249 void PPSPopCallback(void *ptr) { // Funcion a llamar cuando se ...
    pulse el boton.
250
251 temp1 = temperaturas[3][0]; // Asignar el valor de la primera ...
    temperatura objetivo.
252 temp2 = temperaturas[3][1]; // Asignar el valor de la segunda ...
    temperatura objetivo.
253 temp3 = temperaturas[3][2]; // Asignar el valor de la tercera ...
    temperatura objetivo.
254 temp4 = temperaturas[3][3]; // Asignar el valor de la cuarta ...
    temperatura objetivo.
255
256 Pl_Pre_o1.setValue(temp1); // Mostramos la primera temperatura ...
    objetivo.
257 Pl_Pre_o2.setValue(temp2); // Mostramos la segunda temperatura ...
    objetivo.
258 Pl_Pre_o3.setValue(temp3); // Mostramos la tercera temperatura ...
    objetivo.
259 Pl_Pre_o4.setValue(temp4); // Mostramos la cuarta temperatura ...
    objetivo.
260
261 }
262
263 void PETPopCallback(void *ptr) { // Funcion a llamar cuando se ...
    pulse el boton.
264
265 temp1 = temperaturas[4][0]; // Asignar el valor de la primera ...
    temperatura objetivo.
```

```
266 temp2 = temperaturas[4][1]; // Asignar el valor de la segunda ...
    temperatura objetivo.
267 temp3 = temperaturas[4][2]; // Asignar el valor de la tercera ...
    temperatura objetivo.
268 temp4 = temperaturas[4][3]; // Asignar el valor de la cuarta ...
    temperatura objetivo.
269
270 Pl_Pre_o1.setValue(temp1); // Mostramos la primera temperatura ...
    objetivo.
271 Pl_Pre_o2.setValue(temp2); // Mostramos la segunda temperatura ...
    objetivo.
272 Pl_Pre_o3.setValue(temp3); // Mostramos la tercera temperatura ...
    objetivo.
273 Pl_Pre_o4.setValue(temp4); // Mostramos la cuarta temperatura ...
    objetivo.
274
275 }
276
277 void PLAPopCallback(void *ptr) { // Funcion a llamar cuando se ...
    pulse el boton.
278
279 temp1 = temperaturas[5][0]; // Asignar el valor de la primera ...
    temperatura objetivo.
280 temp2 = temperaturas[5][1]; // Asignar el valor de la segunda ...
    temperatura objetivo.
281 temp3 = temperaturas[5][2]; // Asignar el valor de la tercera ...
    temperatura objetivo.
282 temp4 = temperaturas[5][3]; // Asignar el valor de la cuarta ...
    temperatura objetivo.
283
284 Pl_Pre_o1.setValue(temp1); // Mostramos la primera temperatura ...
    objetivo.
285 Pl_Pre_o2.setValue(temp2); // Mostramos la segunda temperatura ...
    objetivo.
286 Pl_Pre_o3.setValue(temp3); // Mostramos la tercera temperatura ...
    objetivo.
287 Pl_Pre_o4.setValue(temp4); // Mostramos la cuarta temperatura ...
    objetivo.
288
289 }
290
291
292
293
294 // Funcion que interrumpe el funcionamiento si se pulsa el boton de...
    vuelta a inicio.
295 void Volver_PlaPrePopCallback(void *ptr) {
296
297     temp1 = 0;
298     temp2 = 0;
299     temp3 = 0;
300     temp4 = 0;
301
302     heat_PlaPre = false;
303     sumarealizada = false;
304     veintemin = false;
```

```

305 }
306 }
307
308
309 void Volver_MManualPopCallback(void *ptr) {
310
311     temp1 = 0;
312     temp2 = 0;
313     temp3 = 0;
314     temp4 = 0;
315
316     heat_MManual = false;
317     sumarealizada = false;
318     veintemin = false;
319
320 }
321
322
323
324
325 // Funcion que comprueba si las PT100 funcionan correctamente e ...
    imprimen el error correspondiente , si existe .
326 void errores_pt100(){
327
328     uint8_t fault1 = thermo1.readFault();
329     if (fault1) {
330         Serial.print(" Fault 0x"); Serial.println(fault1, HEX);
331         if (fault1 & MAX31865.FAULT_HIGHTHRESH) {
332             Serial.println("RTD High Threshold");
333         }
334         if (fault1 & MAX31865.FAULT_LOWTHRESH) {
335             Serial.println("RTD Low Threshold");
336         }
337         if (fault1 & MAX31865.FAULT_REFINLOW) {
338             Serial.println("REFIN- > 0.85 x Bias");
339         }
340         if (fault1 & MAX31865.FAULT_REFINHIGH) {
341             Serial.println("REFIN- < 0.85 x Bias - FORCE- open");
342         }
343         if (fault1 & MAX31865.FAULT_RTDLINLOW) {
344             Serial.println("RTDLIN- < 0.85 x Bias - FORCE- open");
345         }
346         if (fault1 & MAX31865.FAULT_OVUV) {
347             Serial.println("Under/Over voltage");
348         }
349         thermo1.clearFault();
350     }
351
352     uint8_t fault2 = thermo2.readFault();
353     if (fault2) {
354         Serial.print(" Fault 0x"); Serial.println(fault2, HEX);
355         if (fault2 & MAX31865.FAULT_HIGHTHRESH) {
356             Serial.println("RTD High Threshold");
357         }
358         if (fault2 & MAX31865.FAULT_LOWTHRESH) {
359             Serial.println("RTD Low Threshold");

```

```
360     }
361     if (fault2 & MAX31865.FAULT.REFINLOW) {
362         Serial.println("REFIN- > 0.85 x Bias");
363     }
364     if (fault2 & MAX31865.FAULT.REFINHIGH) {
365         Serial.println("REFIN- < 0.85 x Bias - FORCE- open");
366     }
367     if (fault2 & MAX31865.FAULT.RTDINLOW) {
368         Serial.println("RTDIN- < 0.85 x Bias - FORCE- open");
369     }
370     if (fault2 & MAX31865.FAULT.OVUV) {
371         Serial.println("Under/Over voltage");
372     }
373     thermo2.clearFault();
374 }
375
376 uint8_t fault3 = thermo3.readFault();
377 if (fault3) {
378     Serial.print("Fault 0x"); Serial.println(fault3, HEX);
379     if (fault3 & MAX31865.FAULT.HIGHTHRESH) {
380         Serial.println("RTD High Threshold");
381     }
382     if (fault3 & MAX31865.FAULT.LOWTHRESH) {
383         Serial.println("RTD Low Threshold");
384     }
385     if (fault3 & MAX31865.FAULT.REFINLOW) {
386         Serial.println("REFIN- > 0.85 x Bias");
387     }
388     if (fault3 & MAX31865.FAULT.REFINHIGH) {
389         Serial.println("REFIN- < 0.85 x Bias - FORCE- open");
390     }
391     if (fault3 & MAX31865.FAULT.RTDINLOW) {
392         Serial.println("RTDIN- < 0.85 x Bias - FORCE- open");
393     }
394     if (fault3 & MAX31865.FAULT.OVUV) {
395         Serial.println("Under/Over voltage");
396     }
397     thermo3.clearFault();
398 }
399
400 uint8_t fault4 = thermo4.readFault();
401 if (fault4) {
402     Serial.print("Fault 0x"); Serial.println(fault4, HEX);
403     if (fault4 & MAX31865.FAULT.HIGHTHRESH) {
404         Serial.println("RTD High Threshold");
405     }
406     if (fault4 & MAX31865.FAULT.LOWTHRESH) {
407         Serial.println("RTD Low Threshold");
408     }
409     if (fault4 & MAX31865.FAULT.REFINLOW) {
410         Serial.println("REFIN- > 0.85 x Bias");
411     }
412     if (fault4 & MAX31865.FAULT.REFINHIGH) {
413         Serial.println("REFIN- < 0.85 x Bias - FORCE- open");
414     }
415     if (fault4 & MAX31865.FAULT.RTDINLOW) {
```

```
416     Serial.println("RTDIN < 0.85 x Bias - FORCE open");  
417     }  
418     if (fault4 & MAX31865.FAULT_OVUV) {  
419         Serial.println("Under/Over voltage");  
420     }  
421     thermo4.clearFault();  
422 }  
423  
424 }
```

Listado 1.2: Distintas funciones definidas. Fuente propia.

13.3. Función monitor serie

```
1
2 // Funcion para interactuar con el programa desde el ordenador a ...
  // traves del monitor serie.
3 // Si se pulsan los botones definidos a la izquierda , ocurre lo ...
  // escrito a la derecha.
4 void ver_tecla(){
5
6   if (Serial.available() > 0) {
7
8     char inChar = Serial.read();
9
10
11    if( inChar== 'q' )    { temp1 = temp1 + 100;
12                          }
13    if( inChar== 'w' )    { temp1= temp1 - 100;
14                          }
15    if( inChar== 'e' )    { temp2 = temp2 + 100;
16                          }
17    if( inChar== 'r' )    { temp2= temp2 - 100;
18                          }
19    if( inChar== 't' )    { temp3 = temp3 + 100;
20                          }
21    if( inChar== 'y' )    { temp3= temp3 - 100;
22                          }
23    if( inChar== 'u' )    { temp4 = temp4 + 100;
24                          }
25    if( inChar== 'i' )    { temp4= temp4 - 100;
26                          }
27
28
29    if( inChar== 'a' )    { temp1 = temp1 + 10;
30                          }
31    if( inChar== 's' )    { temp1= temp1 - 10;
32                          }
33    if( inChar== 'd' )    { temp2 = temp2 + 10;
34                          }
35    if( inChar== 'f' )    { temp2= temp2 - 10;
36                          }
37    if( inChar== 'g' )    { temp3 = temp3 + 10;
38                          }
39    if( inChar== 'h' )    { temp3= temp3 - 10;
40                          }
41    if( inChar== 'j' )    { temp4 = temp4 + 10;
42                          }
43    if( inChar== 'k' )    { temp4= temp4 - 10;
44                          }
45
46
47    if( inChar== 'z' )    { temp1 = temp1 + 1;
48                          }
49    if( inChar== 'x' )    { temp1= temp1 - 1;
50                          }
```

```
51  if( inChar== 'c' )    { temp2 = temp2 + 1;
52                        }
53  if( inChar== 'v' )    { temp2= temp2 - 1;
54                        }
55  if( inChar== 'b' )    { temp3 = temp3 + 1;
56                        }
57  if( inChar== 'n' )    { temp3= temp3 - 1;
58                        }
59  if( inChar== 'm' )    { temp4 = temp4 + 1;
60                        }
61  if( inChar== 'l' )    { temp4= temp4 - 1;
62                        }
63
64
65
66
67
68  /*
69  if( inChar== 'p' )    { Kp2 = Kp2 + 0.1;
70                        }
71  if( inChar== 'o' )    { Kp2= Kp2 - 0.1;
72                        }
73  if( inChar== 'i' )    { Ki2 = Ki2 + 0.01;
74                        }
75  if( inChar== 'u' )    { Ki2= Ki2 - 0.01;
76                        }
77  if( inChar== 'd' )    { Kd2 = Kd2 + 0.1;
78                        }
79  if( inChar== 'f' )    { Kd2= Kd2 - 0.1;
80                        }
81  */
82
83  }
84  }
```

Listado 1.3: Función para controlar el programa a través del monitor serie. Fuente propia.

14. Anexo B. Información mostrada en pantalla

En este anexo se presenta el texto completo ofrecido a los usuarios en la guía de uso y en las páginas de información de cada plástico. Las Figuras 52 a 57 representan los símbolos correspondientes con cada tipo de plástico.

14.1. Guía de uso

1) Definición de las temperaturas objetivo:

La inyectora cuenta con dos formas de definir las temperaturas objetivo de las resistencias, usando el modo manual o los plásticos predefinidos. En el modo manual, se usan los sliders y los botones a los laterales para seleccionar la temperatura deseada en cada resistencia, mostrada como “T_o” en la parte superior de cada slider. Los calentadores están ordenados de “R1” a “R4”, siendo “R1” la resistencia más cercana a la tolva. En este modo, las temperaturas se han limitado en el rango 0-350°C.

Si se usan los plásticos predefinidos, al pulsar el botón correspondiente a cada plástico, las temperaturas se definen de manera automática.

2) Etapa de calentamiento:

Una vez seleccionadas las temperaturas objetivo deseadas, se debe pulsar el botón de encendido situado en la parte superior de la pantalla para que los calentadores comiencen a funcionar. Una vez pulsado, este cambiará a color verde, aparecerá un temporizador que cuenta hasta 20 minutos y un texto que indica “Esperar”. Durante estos primeros 20 minutos, se busca que todos los componentes alcancen la temperatura de funcionamiento. Para ello, “T_o” aumenta de manera interna y automática en 20°C. Además, es necesario asegurarse de que la palanca se encuentre en su posición más baja durante este período.

La temperatura real de cada resistencia puede consultarse en todo momento en “T_pt100”, que muestra las lecturas de los sensores situados en cada calentador.

Pasados los 20 minutos, “T_o” vuelve a disminuir 20°C de manera automática, el texto cambia a “Listo” y el color de este y del temporizador cambian a verde. En este punto, la máquina está lista para fundir plástico.

Para evitar pulsaciones accidentales, mientras el botón de encendido se encuentre pulsado, el resto de elementos táctiles se bloquean, a excepción del botón para volver a la página de inicio. Si se pulsa este botón, los calentadores se apagan de forma automática por seguridad.

3) Limpieza del tubo de inyección:

Para limpiar el tubo de inyecciones anteriores, la primera carga de plástico fundido es descartada. Para ello, se coloca la palanca en su posición más alta y se usa el brazo de bloqueo para mantenerla en esa postura.

Posteriormente, se introduce el plástico para el que se hayan configurado las temperaturas a través de la tolva (es muy importante usar un solo tipo de plástico a la vez), se desbloquea

la palanca y se dejan pasar 15 minutos hasta que el plástico se encuentre totalmente fundido, momento en el que se desenrosca el cierre en el extremo inferior del tubo y se extruye esta primera carga al exterior.

4) Producción:

Una vez finalizado el paso anterior, la inyectora se encuentra lista para producir.

Para ello, se introduce el plástico triturado ayudándose del brazo de bloqueo. Al fundirse, las virutas reducen su volumen, por lo que se puede volver a introducir plástico cada 5-10 minutos hasta que el tubo se encuentre lleno. Es necesario esperar 10 minutos entre la última carga de plástico y la inyección. Al pasar este tiempo, se desenrosca el cierre inferior y se conecta el molde. Es importante bloquear la palanca durante este proceso para evitar que esta empuje el plástico fuera del tubo.

Inmediatamente después de conectar el molde, se desbloquea la palanca y se empuja para inyectar el plástico.

A continuación, se desenrosca el molde, se vuelve a colocar el cierre del tubo y se deja enfriar el molde antes de extraer el contenido.

El punto 4) se puede repetir las veces que sean necesarias.

5) Enfriamiento y apagado:

Cuando se haya acabado de producir y se quiera apagar la máquina, se debe extruir el plástico sobrante al exterior y dejar la palanca en su posición más baja para evitar posibles bloqueos al volver a utilizarla. Una vez hecho esto, se pueden apagar las resistencias usando el botón en pantalla y esta última usando el botón físico.

14.2. Información sobre plásticos

PP - Polipropileno



Figura 52: Símbolo correspondiente con el PP.

- Plástico de fácil inyección debido a su fluidez y baja viscosidad.
- Temperatura de inyección: 180°C.
- Buena resistencia química y térmica.
- Alta rigidez, dureza y resistencia al impacto.
- Suele encontrarse en recipientes, envases, componentes de automóviles y textiles.

HDPE - Polietileno de alta densidad



Figura 53: Símbolo correspondiente con el HDPE.

- Fácil inyección gracias a su alta fluidez y baja viscosidad.
- Temperatura de inyección: 160°C
- Robusto y duradero.
- Buena resistencia química, térmica y al impacto.
- Se puede encontrar en botellas, recipientes para productos químicos, juguetes, tuberías, contenedores industriales y embalajes.

LDPE - Polietileno de baja densidad



Figura 54: Símbolo correspondiente con el LDPE.

- Temperatura de inyección: 145°C
- Plástico flexible y transparente.
- Resistente a la humedad y de fácil procesamiento.
- Ampliamente usado en bolsas de plástico, envoltorios, películas protectoras, revestimientos y embalajes flexibles.

PS - Poliestireno



Figura 55: Símbolo correspondiente con el PS.

- Temperatura de inyección: 180°C.
- Plástico rígido y transparente.
- De uso extendido en industria alimentaria, electrónica y de papelería.
- También suele encontrarse como poliestireno expandido (EPS), usado en embalajes protectores y como aislante térmico.

PET - Polietileno tereftalato



Figura 56: Símbolo correspondiente con el PET.

- Plástico de inyección más dificultosa, debido a necesitar un control de temperatura más preciso y una temperatura de inyección mayor al resto.
- Temperatura de inyección: 240°C.
- Se caracteriza por su dureza, rigidez y resistencia.
- Proporciona una buena barrera contra humedad y oxígeno.
- Ampliamente utilizado en la industria alimenticia para fabricar botellas, envases de alimentos y bandejas.

PLA - Ácido poliláctico



Figura 57: Símbolo correspondiente con el PLA.

- Bioplástico derivado de recursos naturales. Es importante evitar temperaturas por encima de la recomendada para su inyección para evitar su degradación.
- Temperatura de inyección: 160°C.
- Buena rigidez.
- Usado en productos y envases biodegradables y desechables, así como en filamentos de impresión 3D.

Bibliografía

- [1] MAREA Plastic. *MAREA Plastic - Málaga Reaction Against Plastic*. <https://www.mareaplastic.uma.es/>. Última consulta: 28/07/2023.
- [2] Precious Plastic. *A Big Bang for Plastic Recycling*. <https://preciousplastic.com/>. Última consulta: 28/07/2023.
- [3] Precious Plastic. *Build an Injection Machine*. <https://community.preciousplastic.com/academy/build/injection>. Última consulta: 28/07/2023.
- [4] Anne PM Velenturf y Phil Purnell. «Principles for a sustainable circular economy». En: *Sustainable Production and Consumption* 27 (2021), págs. 1437-1457.
- [5] OECD. «Plastic waste by end-of-life fate and region - projections». En: (2022). DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/e4e8c086-en>. URL: <https://www.oecd-ilibrary.org/content/data/e4e8c086-en>.
- [6] Roland Geyer, Jenna R Jambeck y Kara Lavender Law. «Production, use, and fate of all plastics ever made». En: *Science advances* 3.7 (2017), e1700782.
- [7] Hannah Ritchie y Max Roser. «Plastic Pollution». En: *Our World in Data* (2018). <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>.
- [8] Stephanie B Borrelle et al. «Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution». En: *Science* 369.6510 (2020), págs. 1515-1518.
- [9] Jenna R Jambeck et al. «Plastic waste inputs from land into the ocean». En: *Science* 347.6223 (2015), págs. 768-771.
- [10] Mohd Shah Nawaz et al. «Plastic waste disposal and reuse of plastic waste». En: *Bioremediation technology for plastic waste* (2019), págs. 21-30.
- [11] Carles Alabort Martínez et al. «iCAREPLAST Datasets». En: *Universitat Politècnica de València* (2022).
- [12] Multicycle. *Multicycle*. <https://multicycle-project.eu/>. Última consulta: 02/08/2023.
- [13] Polyinspire. *polynSPIRE — Innovative technologies for plastic recycling*. <https://www.polynspire.eu/>. Última consulta: 02/08/2023.
- [14] Andreas van Giezen y Bart Wiegman. «Spoilt-Ocean Cleanup: Alternative logistics chains to accommodate plastic waste recycling: An economic evaluation». En: *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* 5 (2020), pág. 100115.
- [15] David Katz. «Plastic bank: launching social plastic® revolution». En: *Field Actions Science Reports. The Journal of Field Actions Special Issue* 19 (2019), págs. 96-99.

- [16] The Recycling Partnership. *Solving for Circularity — The Recycling Partnership*. <https://recyclingpartnership.org/>. Última consulta: 02/08/2023.
- [17] Dave Hakkens. *Forums Archive - Dave Hakkens*. <https://davehakkens.nl/community/forums/index.html>. Última consulta: 02/08/2023.
- [18] Raymond J Mikulak, Robin McDermott y Michael Beauregard. *The basics of FMEA*. CRC press, 2017.
- [19] Shang Gao, Ruoyu Jin y Weisheng Lu. «Design for manufacture and assembly in construction: a review». En: *Building research & information* 48.5 (2020), págs. 538-550.
- [20] Joseph Fiksel. *Design for environment: a guide to sustainable product development*. McGraw-Hill Education, 2009. Cap. 6.
- [21] Changyu Shen, Lixia Wang y Qian Li. «Optimization of injection molding process parameters using combination of artificial neural network and genetic algorithm method». En: *Journal of materials processing technology* 183.2-3 (2007), págs. 412-418.
- [22] Dominick V Rosato y Marlene G Rosato. *Injection molding handbook*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [23] Rickey Dubay et al. «An investigation on the application of predictive control for controlling screw position and velocity on an injection molding machine». En: *Polymer Engineering & Science* 47.4 (2007), págs. 390-399.
- [24] J Zhao et al. «Effects of process parameters on the micro molding process». En: *Polymer Engineering & Science* 43.9 (2003), págs. 1542-1554.
- [25] Precious Plastic. *Precious Plastic Bazar – Injection*. <https://bazar.preciousplastic.com/machines/injection/>. Última consulta: 07/08/2023.
- [26] The Sea Monkey Project. *The Sea Monkey Project Advanced Design Plastic Injection Machine*. <https://bazar.preciousplastic.com/machines/injection/injection-fully-built/the-sea-monkey-project-plastic-injection-machine-clone/>. Última consulta: 07/08/2023.
- [27] Buster Beagle 3D. *Buster Beagle 3D Injection Molding Machine*. <https://www.busterbeagle3d.com/>. Última consulta: 07/08/2023.
- [28] LNS Technologies. *LNS Technologies Injection Molding Machine*. <https://www.lnstechnologies.com/>. Última consulta: 07/08/2023.
- [29] Galomb. *Galomb Injection Molding Machine*. <https://www.galomb.com/>. Última consulta: 07/08/2023.
- [30] Rinku Verma et al. «Toxic pollutants from plastic waste-a review». En: *Procedia Environmental Sciences* 35 (2016), págs. 701-708.
- [31] Douglas M Bryce. *Plastic injection molding: manufacturing process fundamentals*. Society of manufacturing engineers, 1996.
- [32] Precious Plastic Melbourne. *Parts - Temperature Control Kit - Precious Plastic Melbourne*. <https://www.plastic.org.au/products/temp-control-kit>. Última consulta: 09/08/2023.
- [33] Klas Weman y Gunnar Lindén. *MIG welding guide*. Woodhead Publishing, 2006.

- [34] Yuxi Chen et al. «Effect of weave frequency and amplitude on temperature field in weaving welding process». En: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 75 (2014), págs. 803-813.
- [35] Andrew J Elliot y Markus A Maier. «Color psychology: Effects of perceiving color on psychological functioning in humans». En: *Annual review of psychology* 65 (2014), págs. 95-120.
- [36] Ronald A Walsh y Denis R Cormier. *McGraw-Hill machining and metalworking handbook*. McGraw-Hill New York, 2006.
- [37] Rebecca B Dupaix y Mary C Boyce. «Finite strain behavior of poly (ethylene terephthalate)(PET) and poly (ethylene terephthalate)-glycol (PETG)». En: *Polymer* 46.13 (2005), págs. 4827-4838.
- [38] Walter D Pilkey, Deborah F Pilkey y Zhuming Bi. *Peterson's stress concentration factors*. John Wiley & Sons, 2020.
- [39] Sakata 3D. *RE-PETG*. <https://www.sakata3d.com/es/re-family/183-re-petg.html>. Última consulta: 14/08/2023.
- [40] Espressif Systems. *ESP32 Wi-Fi & Bluetooth MCU — Espressif Systems*. <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. Última consulta: 15/08/2023.
- [41] D Grahame Holmes y Thomas A Lipo. *Pulse width modulation for power converters: principles and practice*. Vol. 18. John Wiley & Sons, 2003.
- [42] Espressif Systems. *ESP32-S2-DevKitM-1*. <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32s2/hw-reference/esp32s2/user-guide-devkitm-1-v1.html>. Última consulta: 15/08/2023.
- [43] Adafruit. *Pinouts — Adafruit MAX31865 RTD PT100 or PT1000 Amplifier*. <https://learn.adafruit.com/adafruit-max31865-rtd-pt100-amplifier/pinouts>. Última consulta: 15/08/2023.
- [44] ERROPiX. *ESP32 AnalogWrite library - Arduino Reference*. <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/esp32-analogwrite/>. Última consulta: 15/08/2023.
- [45] Br3ttb. *Arduino-PID-Library*. <https://github.com/br3ttb/Arduino-PID-Library>. Última consulta: 15/08/2023.
- [46] Michael A Johnson y Mohammad H Moradi. *PID control*. Springer, 2005.
- [47] John G Ziegler y Nathaniel B Nichols. «Optimum settings for automatic controllers». En: *Transactions of the American society of mechanical engineers* 64.8 (1942), págs. 759-765.
- [48] Vishakha Vijay Patel. «Ziegler-Nichols Tuning Method: Understanding the PID Controller». En: *Resonance* 25.10 (2020), págs. 1385-1397.
- [49] Karl Johan Astrom. «Automatic tuning and adaptation for PID controllers-A survey». En: *Control Engineering Practice* 1.4 (1993), págs. 699-714.
- [50] Aisha T Langford et al. «Mobile phone ownership, health apps, and tablet use in US adults with a self-reported history of hypertension: cross-sectional study». En: *JMIR mHealth and uHealth* 7.1 (2019), e12228.

- [51] Nextion. *The Nextion Editor Guide - Nextion*. https://nextion.tech/editor_guide/. Última consulta: 16/08/2023.
- [52] Nextion. *Iteadlib Arduino Nextion Library - Nextion*. <https://nextion.tech/faq-items/iteadlib-arduino-nextion-library/>. Última consulta: 16/08/2023.
- [53] Precious Plastic. *Academy*. <https://community.preciousplastic.com/academy/plastic/basics>. Última consulta: 16/08/2023.
- [54] Firas Awaja y Dumitru Pavel. «Recycling of PET». En: *European polymer journal* 41.7 (2005), págs. 1453-1477.
- [55] Antonio Pérez-Rosa et al. «Assembly and Improvement of a Plastic Injector». En: *International conference on The Digital Transformation in the Graphic Engineering*. Springer. 2022, págs. 285-301.
- [56] Canal Sur Andalucía. *Tesis — En el camino de la economía circular*. <https://www.canalsur.es/television/programas/tesis/noticia/1933525.html>. Última consulta: 16/08/2023.

DOCUMENTO N^o
2

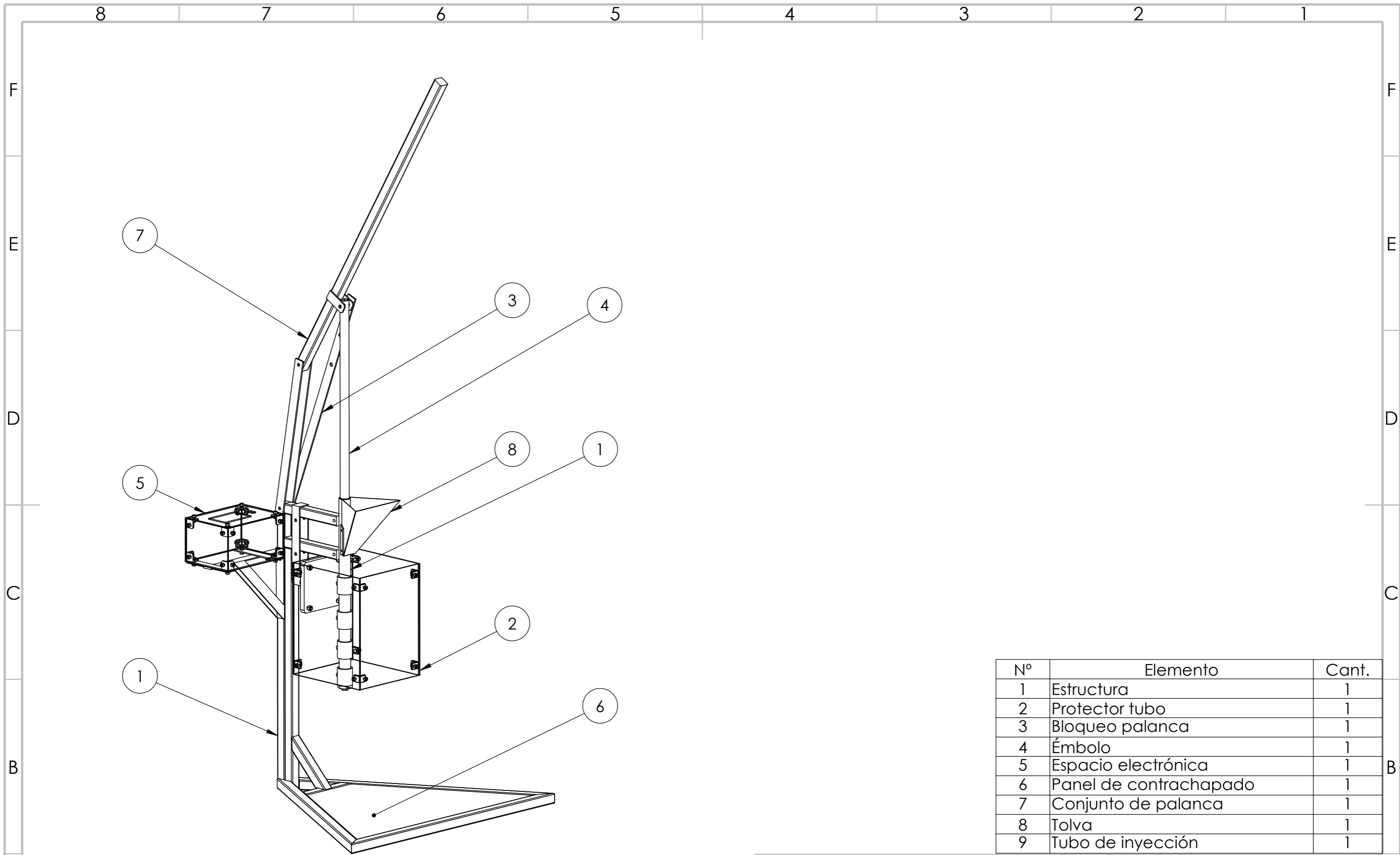
PLANOS

Esta página ha sido dejada en blanco

Índice

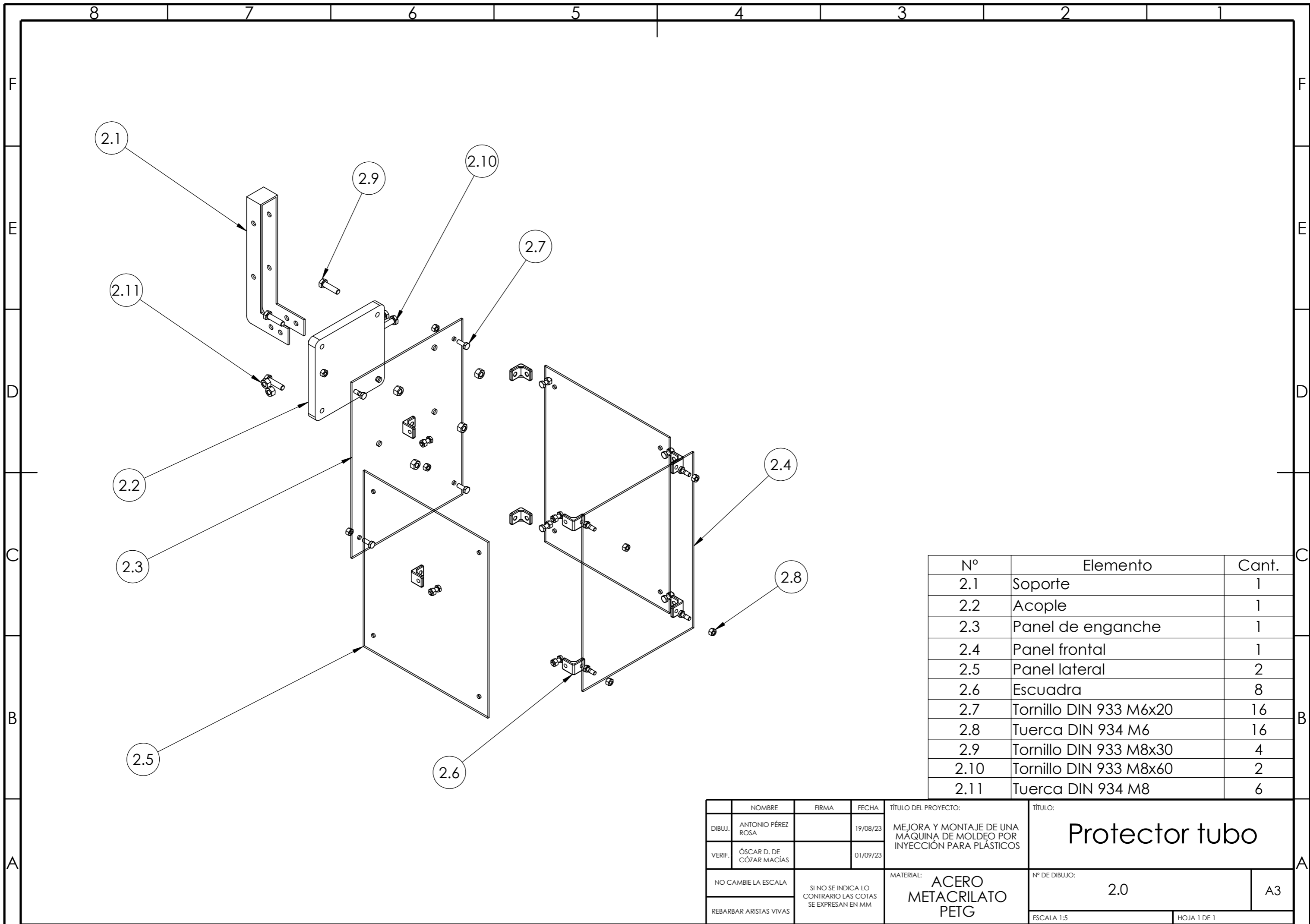
1. **Máquina de inyección**
2. **Protector tubo**
 - 2.1. Soporte protector
 - 2.2. Acople
 - 2.3. Panel enganche
 - 2.4. Panel frontal
 - 2.5. Panel lateral
 - 2.6. Escuadra
3. **Bloqueo palanca**
4. **Émbolo**
 - 4.1. Barra
 - 4.2. Casquillo
5. **Espacio electrónica**
 - 5.1. Soporte electrónica
 - 5.2. Panel inferior
 - 5.3. Panel frontal
 - 5.4. Panel lateral
 - 5.5. Panel superior
 - 5.6. Escuadra esquinera

Esta página ha sido dejada en blanco



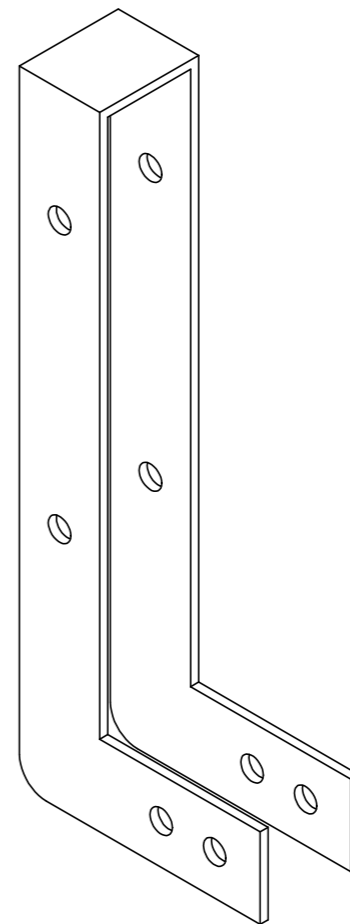
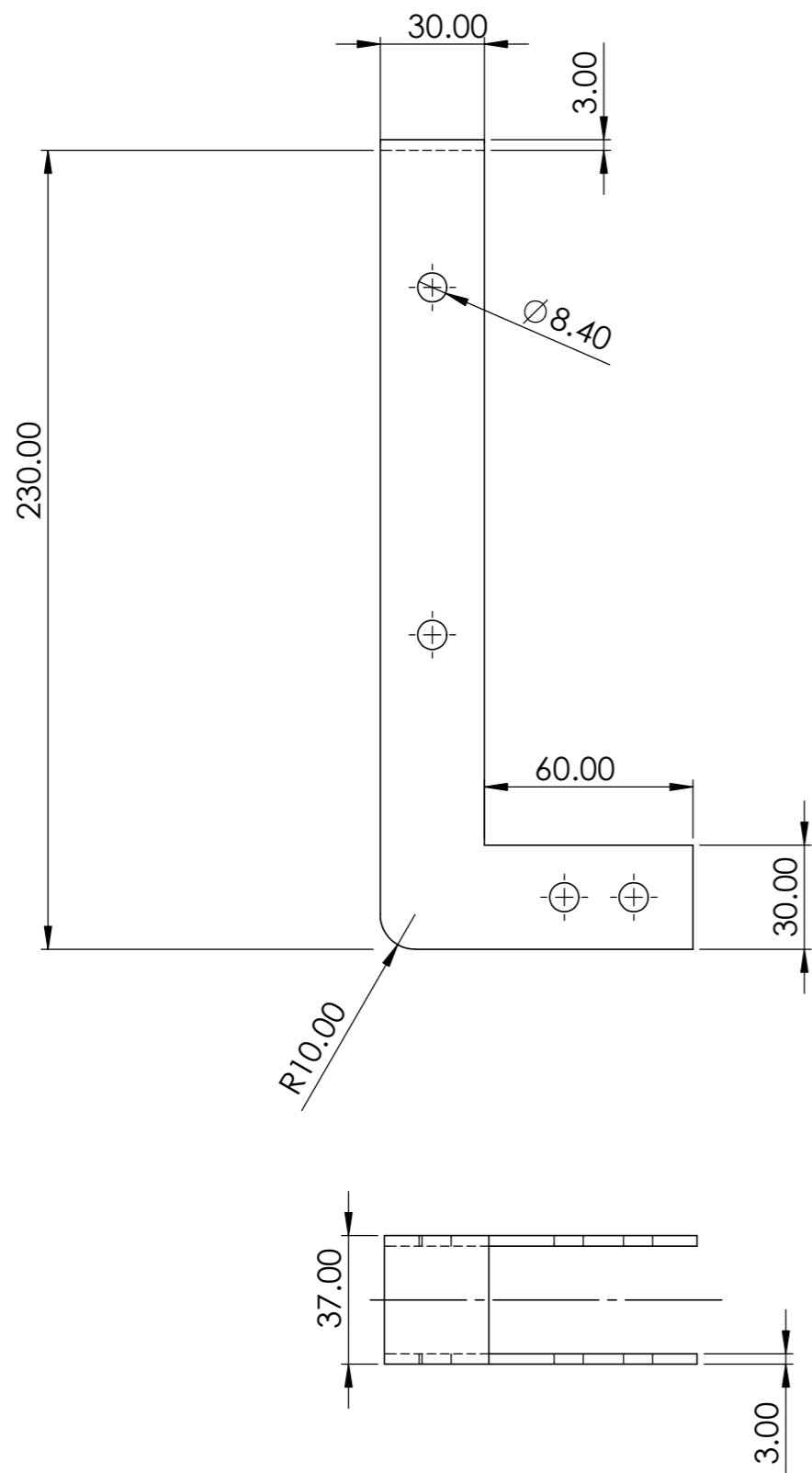
Nota: las piezas 1 y 6 a 9 son idénticas al diseño original de Precious Plastic, por lo que sus planos coinciden con los proporcionados en su página web y no se han incluido en este documento.

DIBUJ.	NOMBRE ANTONIO PÉREZ ROSA	FIRMA	FECHA 19/08/23	TÍTULO DEL PROYECTO: MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	TÍTULO: Máquina de inyección
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
NO CAMBIE LA ESCALA		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL: PETG ACERO MADERA METACRILATO CUPROALUMINIO	Nº DE DIBUJO: 1.0 A3
REBARBAR ARISTAS VIVAS				ESCALA 1:10	HOJA 1 DE 1

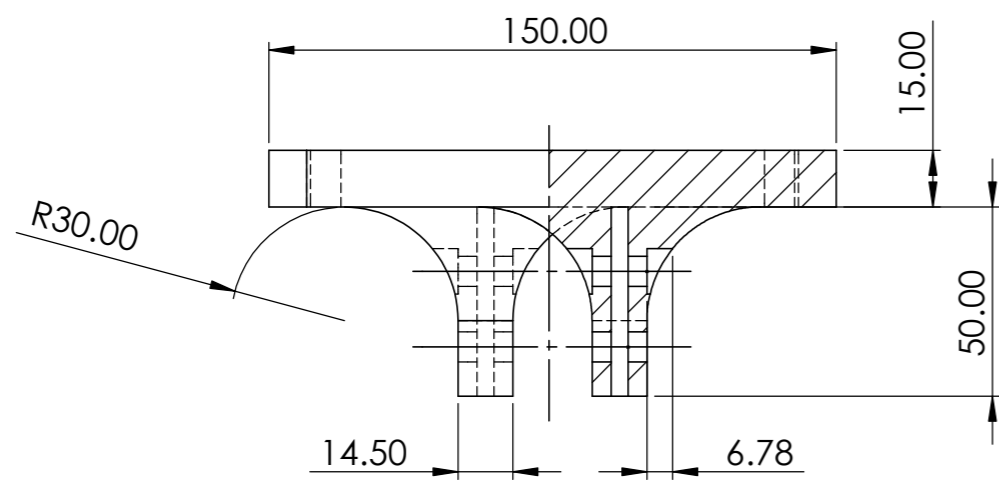
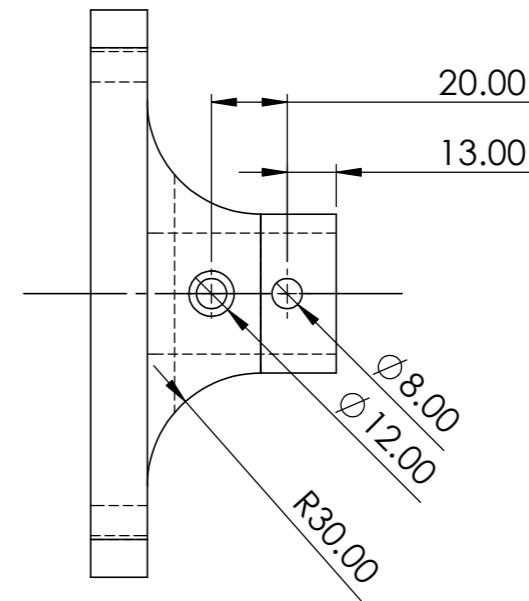
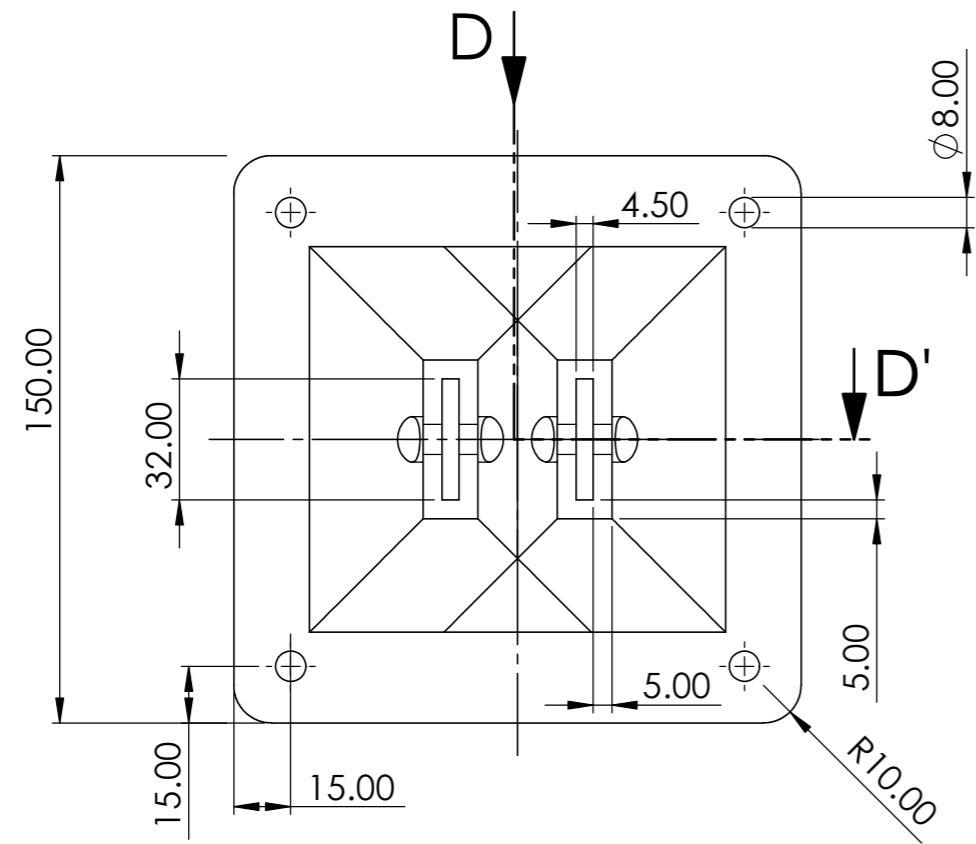


N°	Elemento	Cant.
2.1	Soporte	1
2.2	Acople	1
2.3	Panel de enganche	1
2.4	Panel frontal	1
2.5	Panel lateral	2
2.6	Escuadra	8
2.7	Tornillo DIN 933 M6x20	16
2.8	Tuerca DIN 934 M6	16
2.9	Tornillo DIN 933 M8x30	4
2.10	Tornillo DIN 933 M8x60	2
2.11	Tuerca DIN 934 M8	6

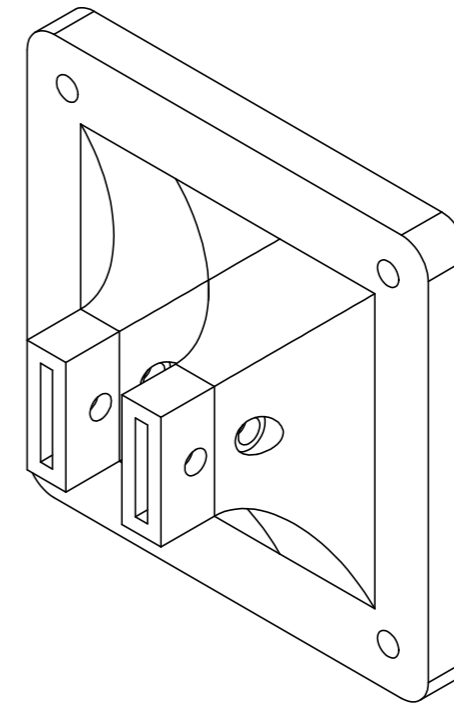
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Protector tubo
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
	NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
	REBARBAR ARISTAS VIVAS			ACERO METACRILATO PETG	2.0
				ESCALA 1:5	HOJA 1 DE 1



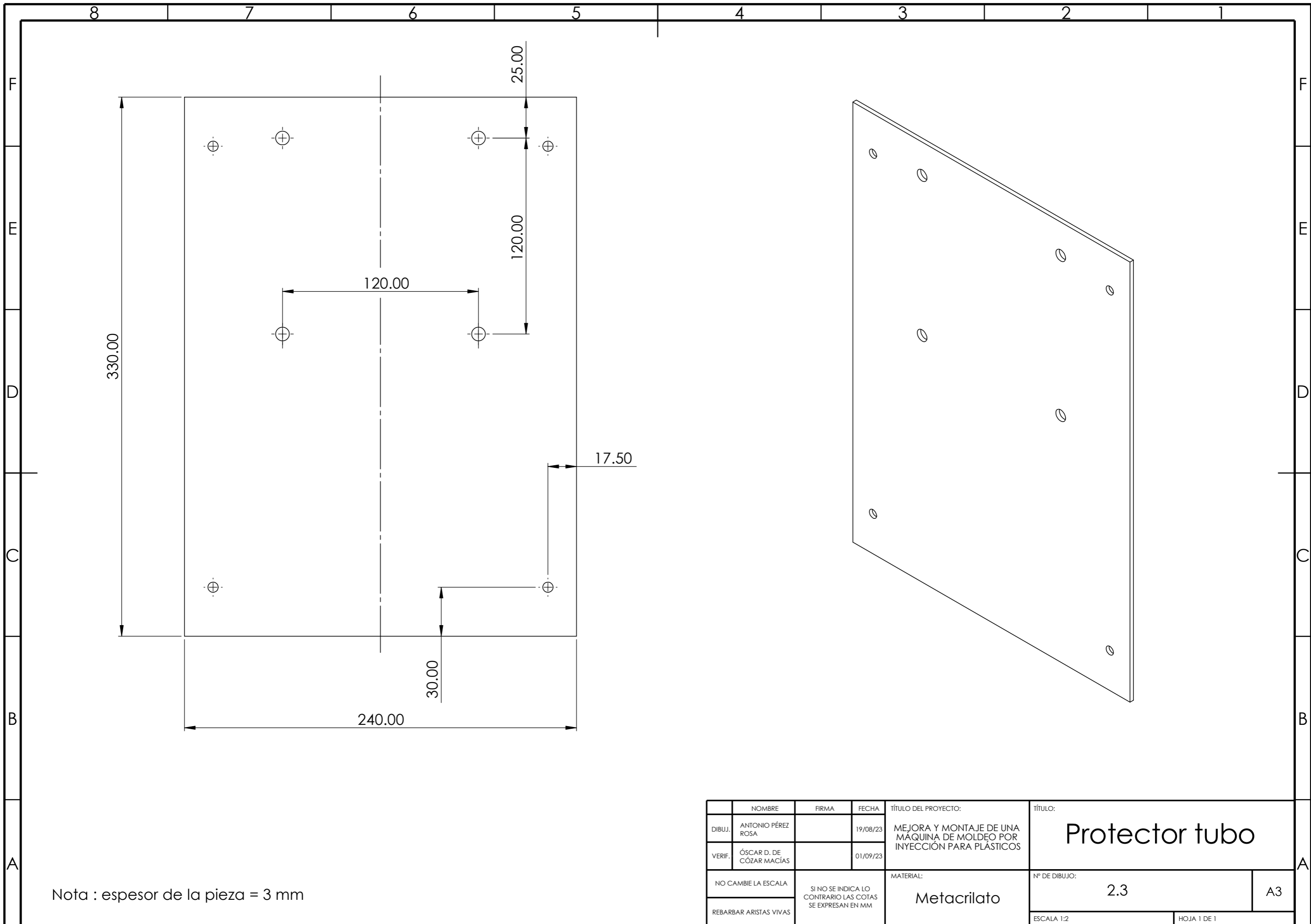
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Protector Tubo
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
	NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
	REBARBAR ARISTAS VIVAS			ACERO	2.1
				ESCALA 1:2	HOJA 1 DE 1
					A3



Corte D-D'

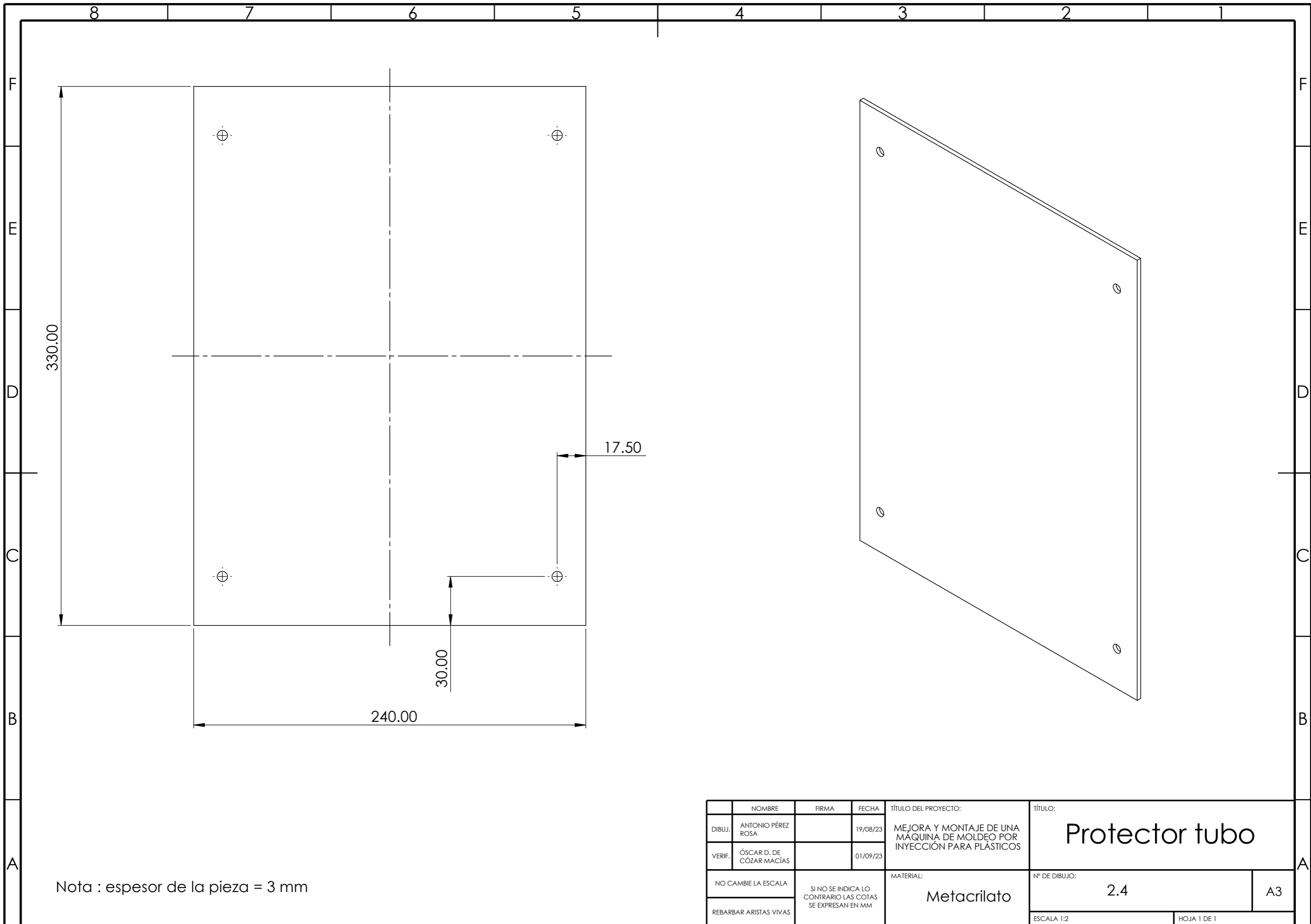


	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Protector tubo
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
	NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
	REBARBAR ARISTAS VIVAS			PETG	2.2
				ESCALA 1:2	HOJA 1 DE 1
					A3



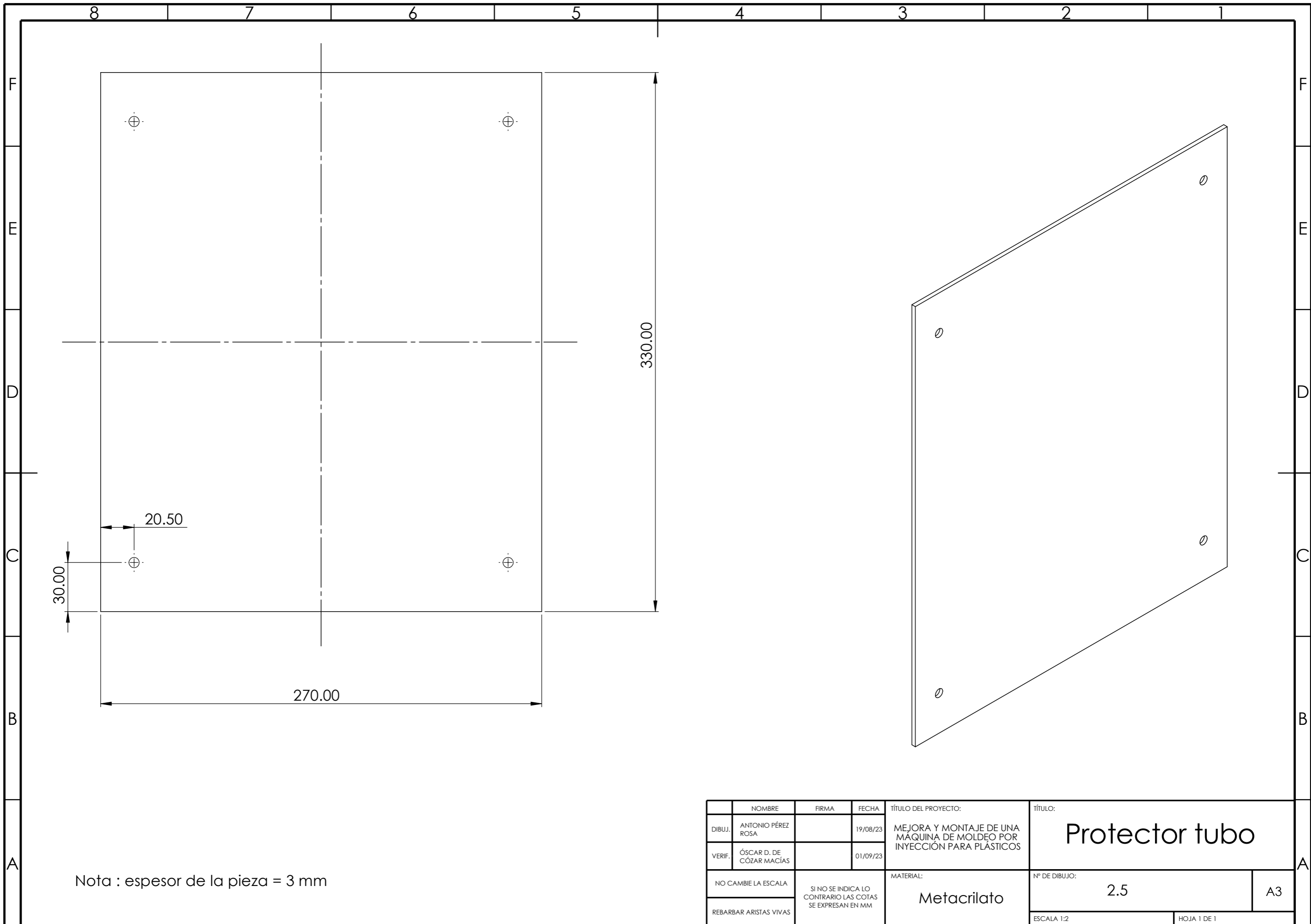
Nota : espesor de la pieza = 3 mm

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Protector tubo
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
NO CAMBIE LA ESCALA		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
REBARBAR ARISTAS VIVAS				Metacrilato	2.3
				ESCALA 1:2	HOJA 1 DE 1
					A3



Nota : espesor de la pieza = 3 mm

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Protector tubo
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
	NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
	REBARBAR ARISTAS VIVAS			Metacrilato	2.4
				ESCALA 1:2	HOJA 1 DE 1
					A3



30.00
20.50

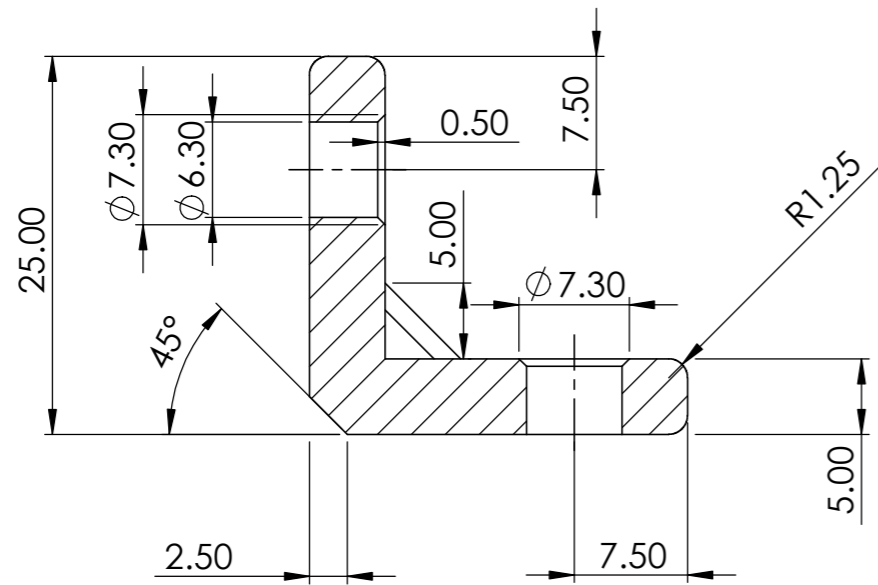
270.00

330.00

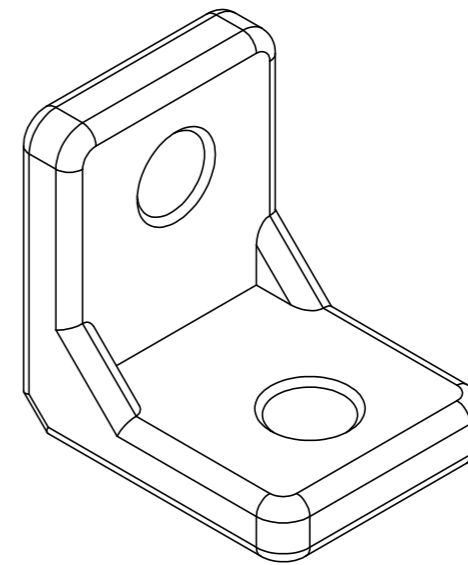
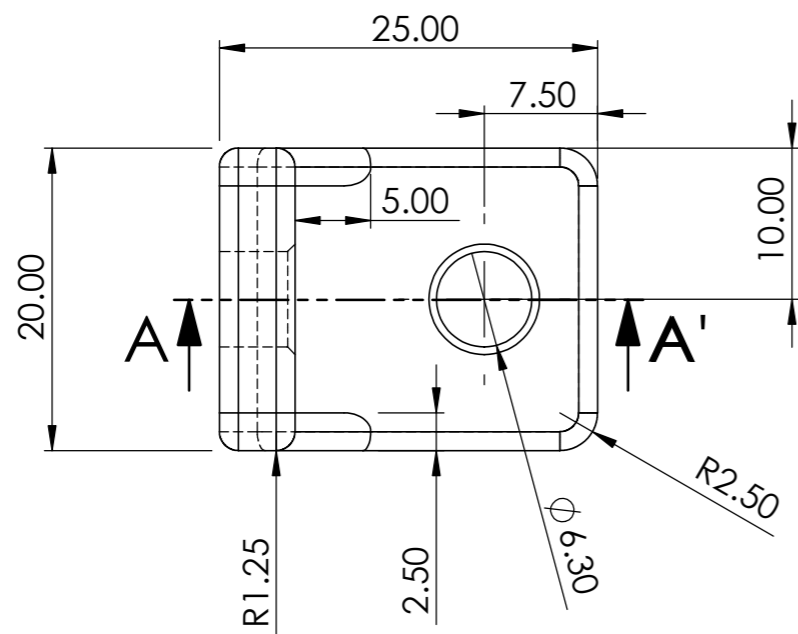
Nota : espesor de la pieza = 3 mm

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Protector tubo
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
	NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
	REBARBAR ARISTAS VIVAS			Metacrilato	2.5
				ESCALA 1:2	HOJA 1 DE 1

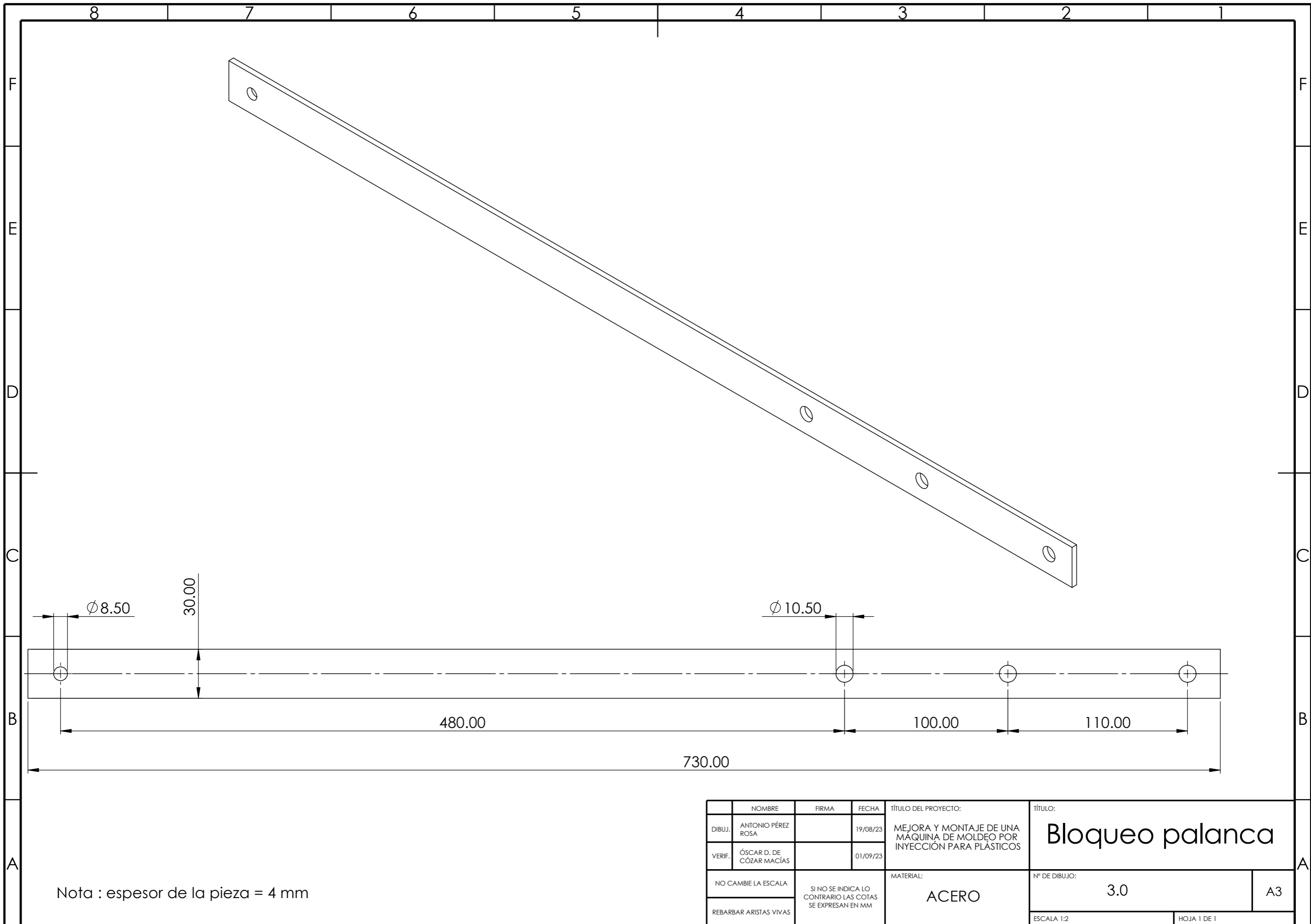
A3



Corte A-A'



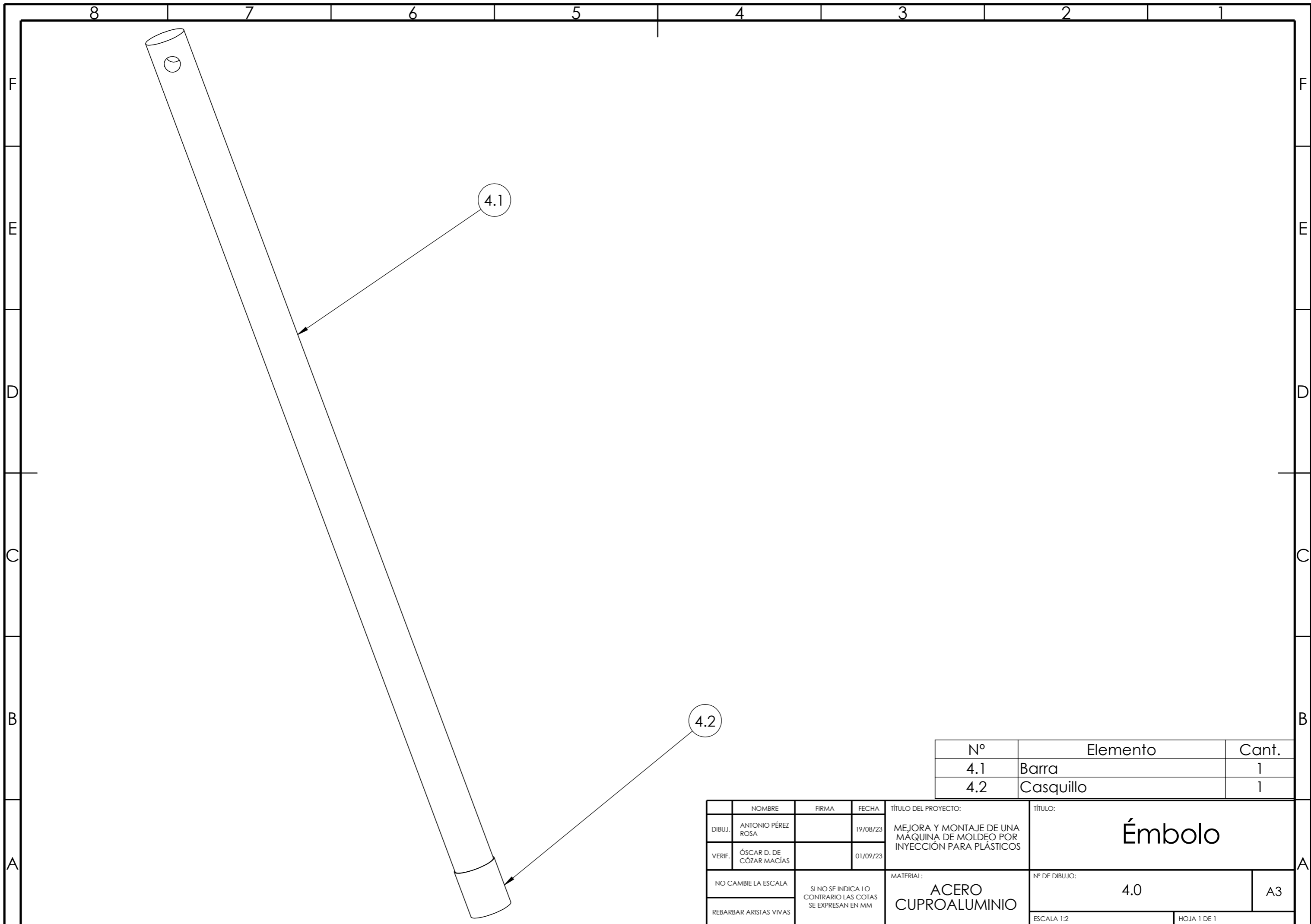
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Protector tubo
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
	NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
	REBARBAR ARISTAS VIVAS			PETG	2.6
					A3
				ESCALA 2:1	HOJA 1 DE 1



Nota : espesor de la pieza = 4 mm

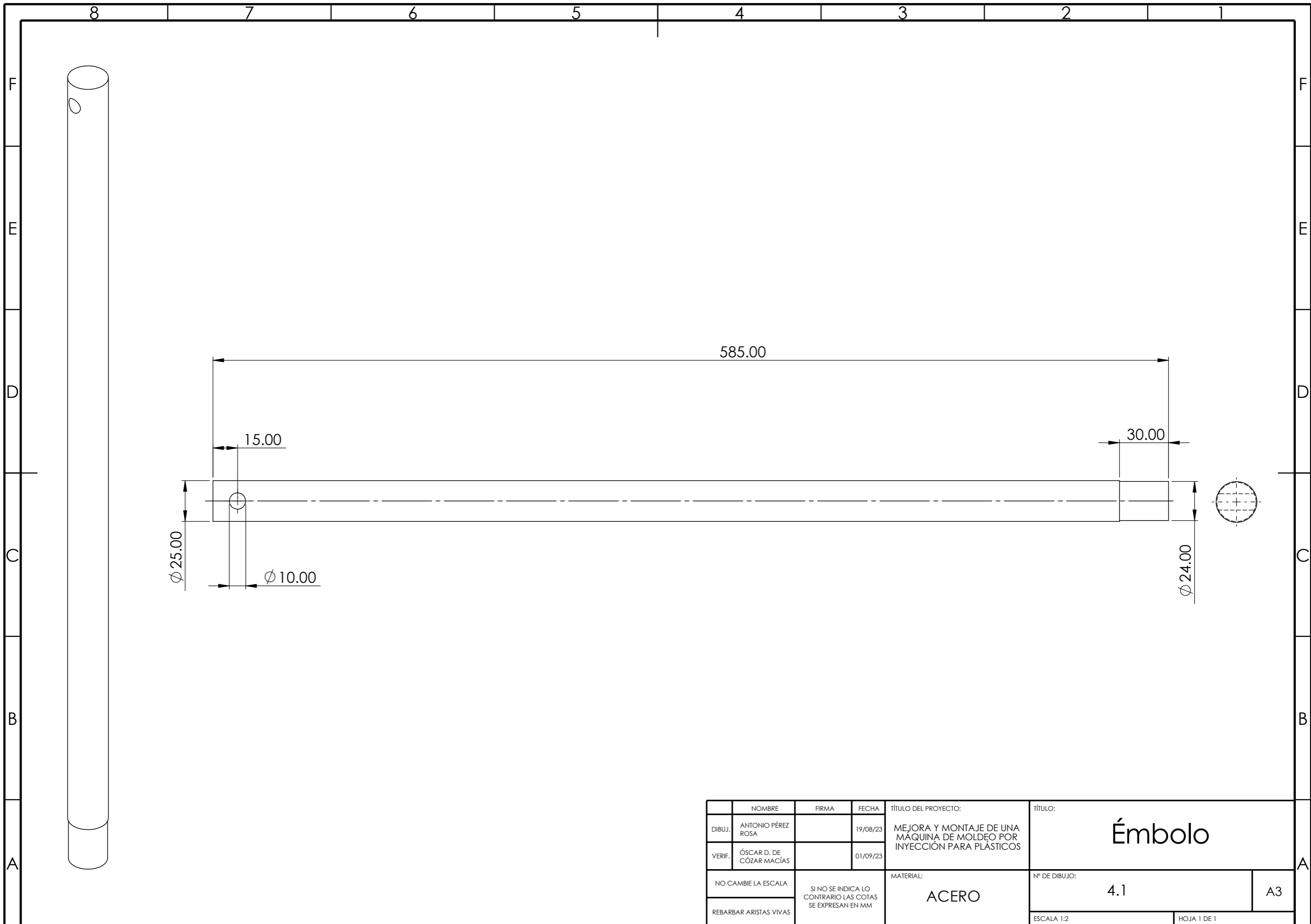
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Bloqueo palanca
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
NO CAMBIE LA ESCALA		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
REBARBAR ARISTAS VIVAS				ACERO	3.0
				ESCALA 1:2	HOJA 1 DE 1

A3

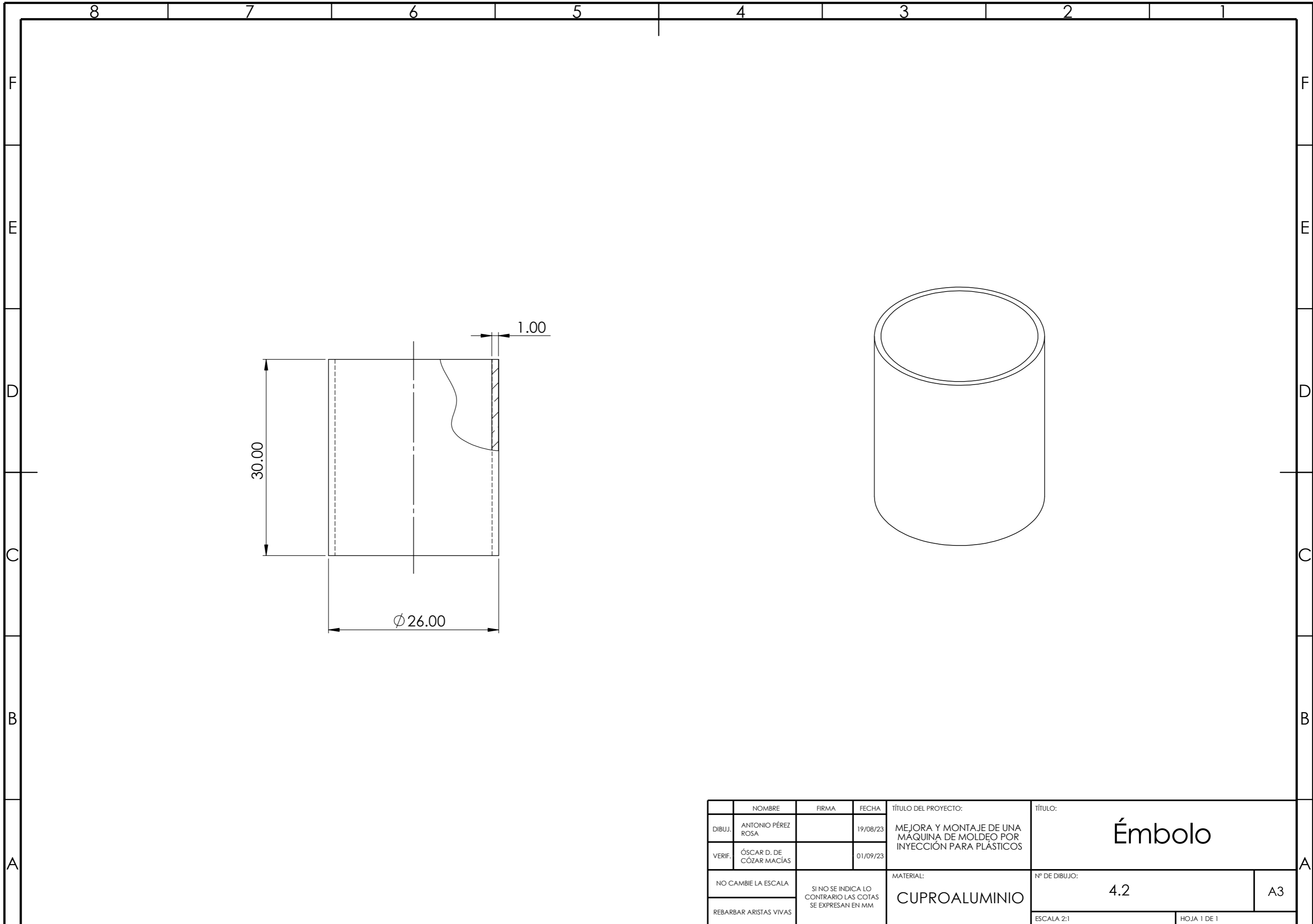


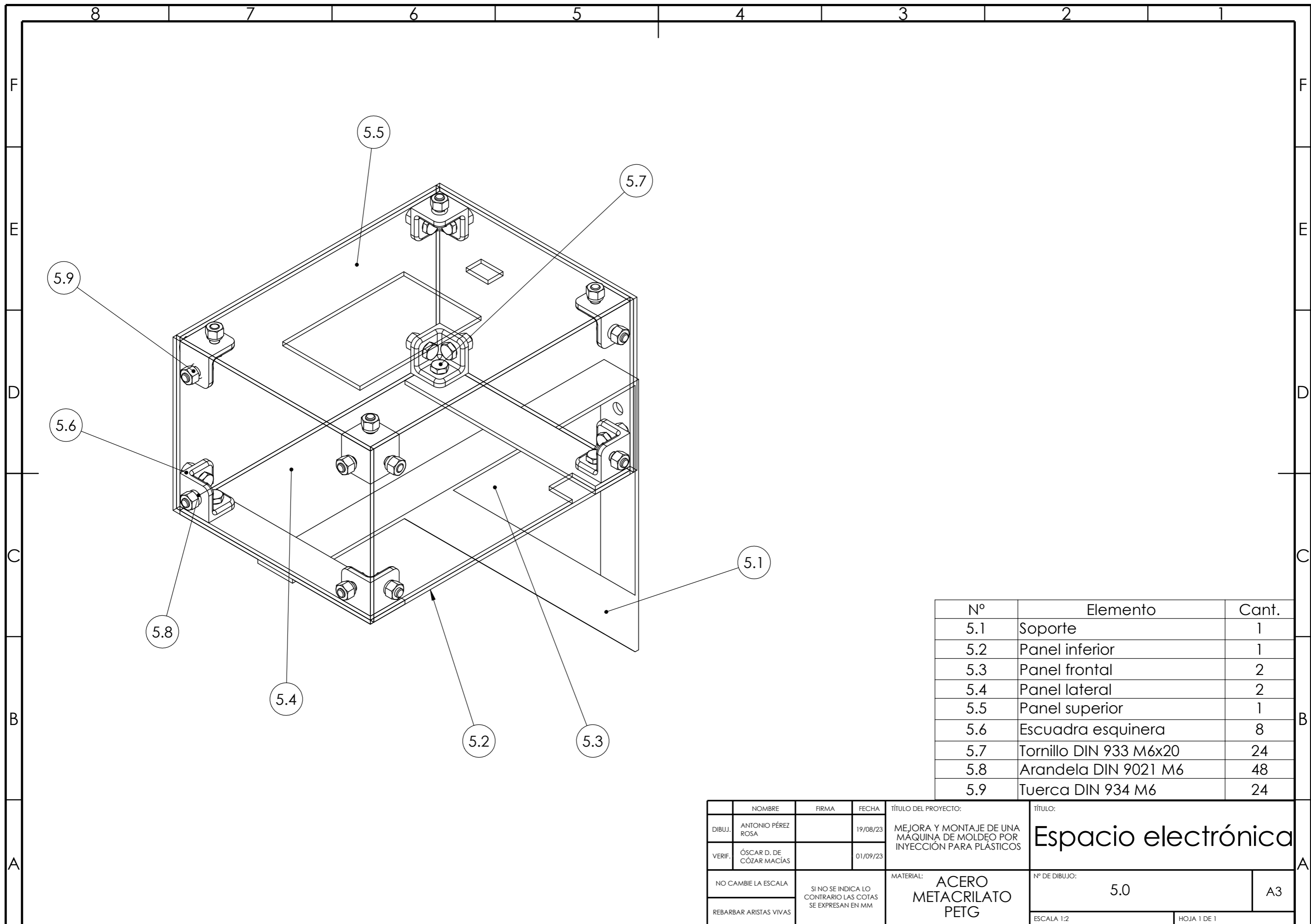
Nº	Elemento	Cant.
4.1	Barra	1
4.2	Casquillo	1

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Émbolo
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
NO CAMBIE LA ESCALA		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
REBARBAR ARISTAS VIVAS				ACERO CUPROALUMINIO	4.0
				ESCALA 1:2	HOJA 1 DE 1



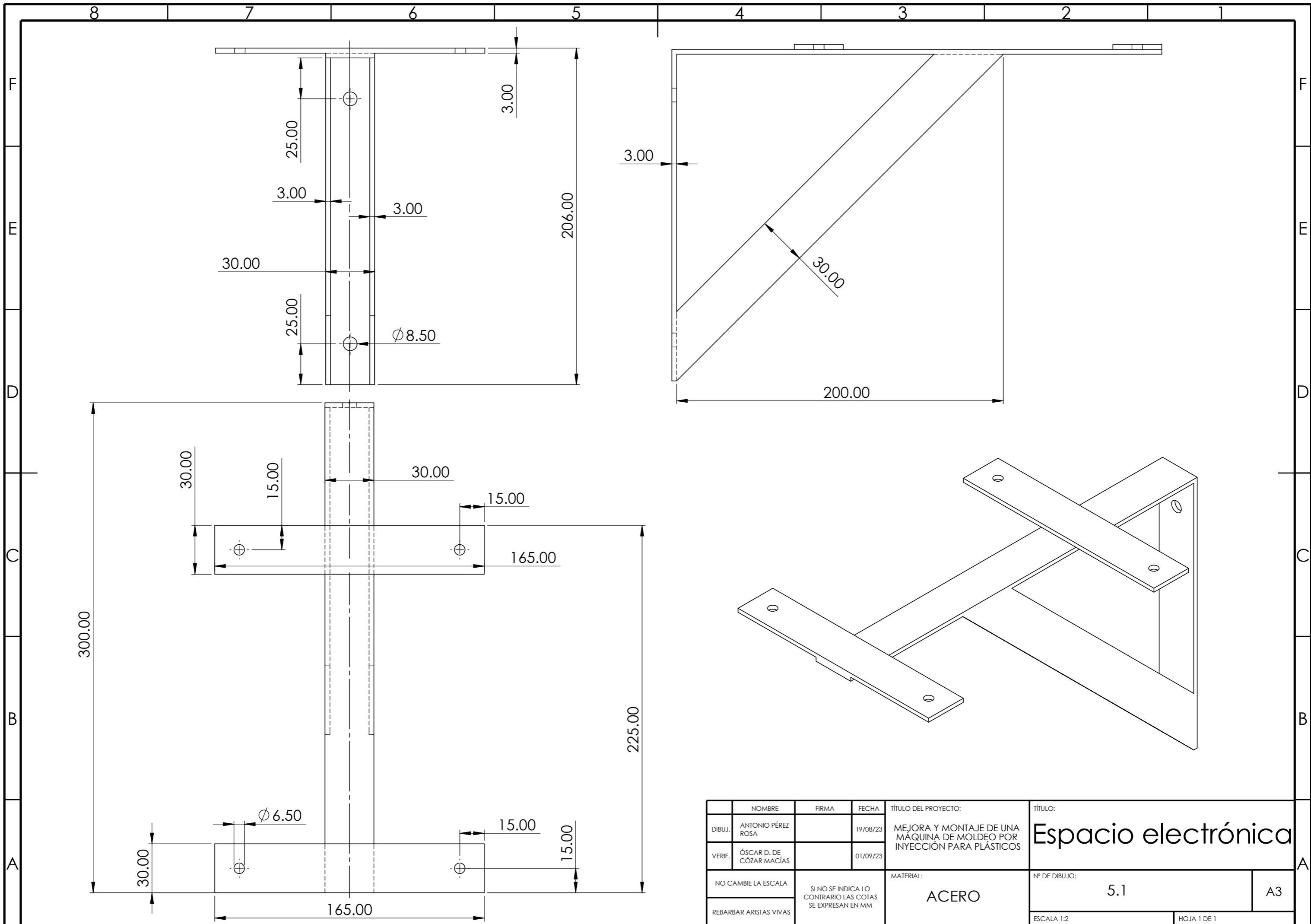
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:	
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Émbolo	
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23			
NO CAMBIE LA ESCALA		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:	A3
REBARBAR ARISTAS VIVAS				ACERO	4.1	
					ESCALA 1:2	HOJA 1 DE 1

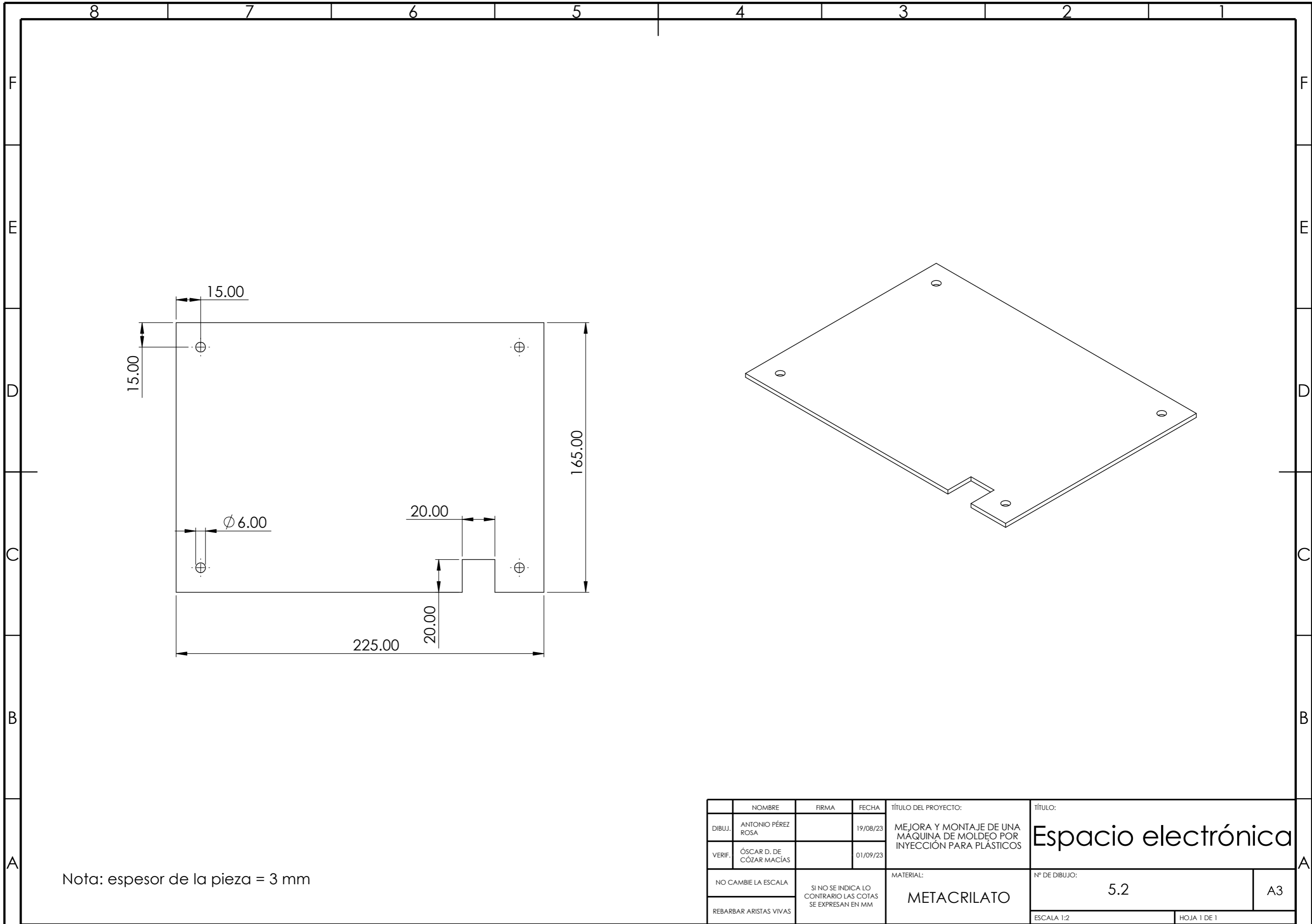




Nº	Elemento	Cant.
5.1	Soporte	1
5.2	Panel inferior	1
5.3	Panel frontal	2
5.4	Panel lateral	2
5.5	Panel superior	1
5.6	Escuadra esquinera	8
5.7	Tornillo DIN 933 M6x20	24
5.8	Arandela DIN 9021 M6	48
5.9	Tuerca DIN 934 M6	24

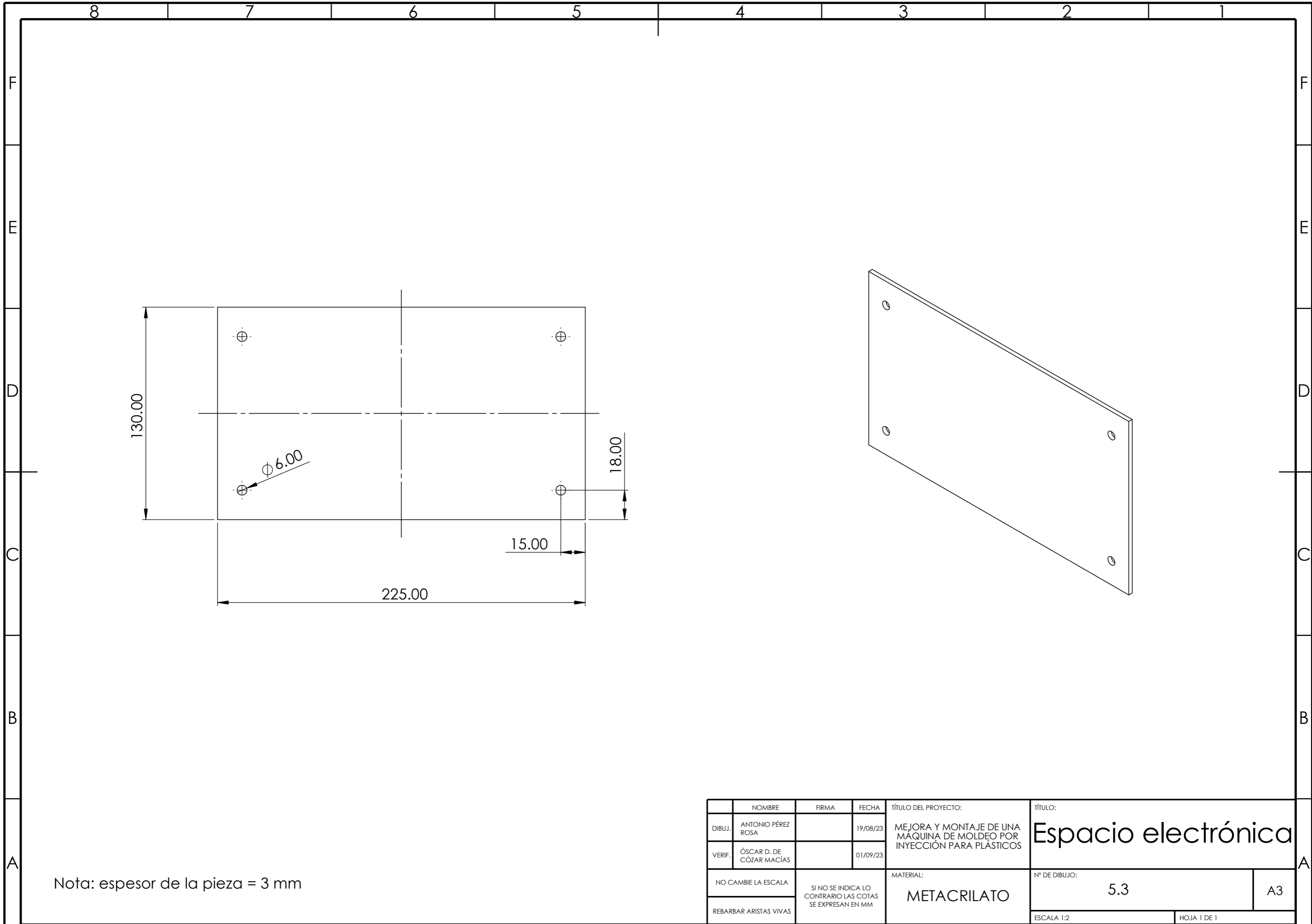
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Espacio electrónica
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
	NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
	REBARBAR ARISTAS VIVAS			ACERO METACRILATO PETG	5.0
				ESCALA 1:2	HOJA 1 DE 1





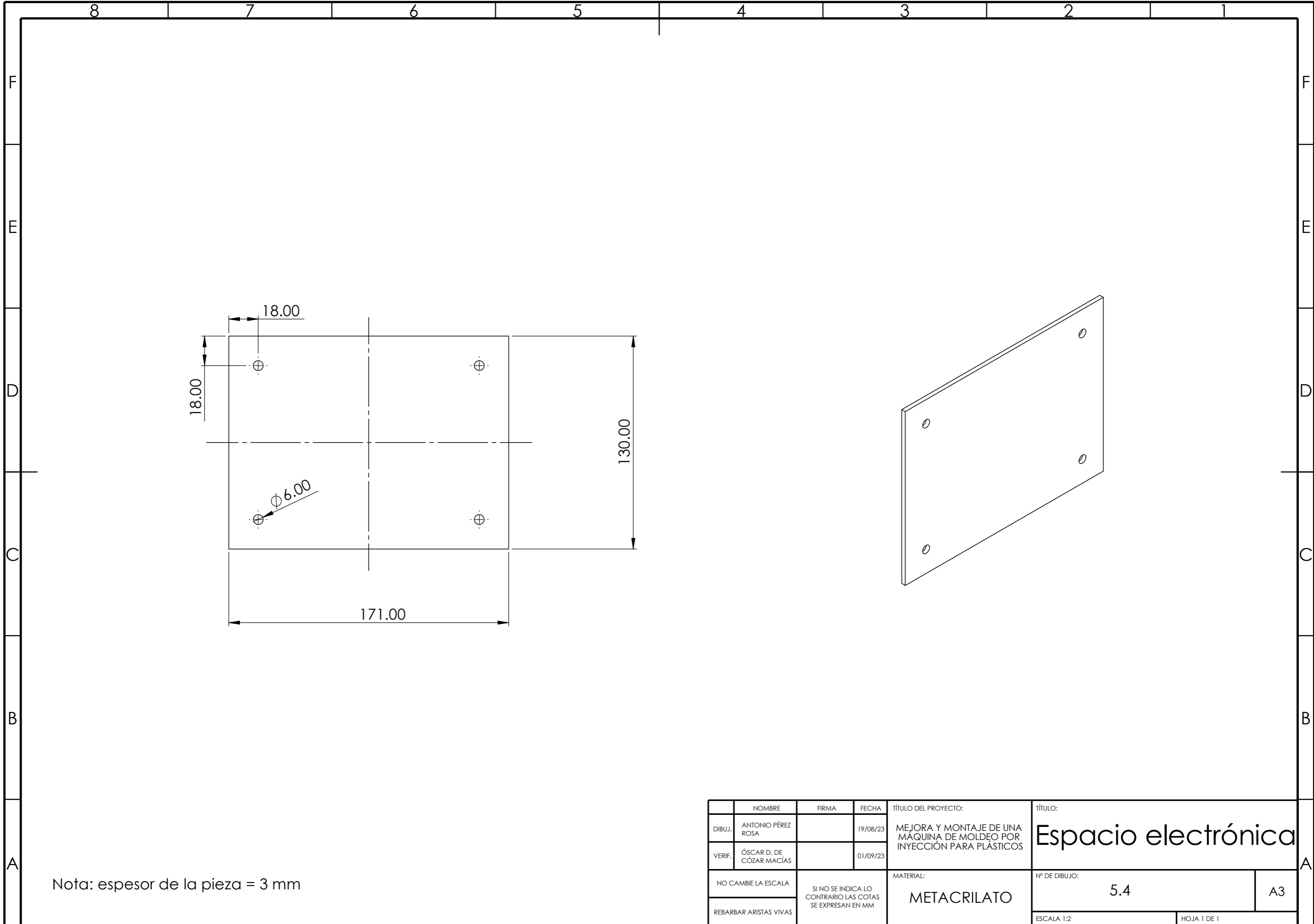
Nota: espesor de la pieza = 3 mm

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Espacio electrónica
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
	NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
	REBARBAR ARISTAS VIVAS			METACRILATO	5.2
				ESCALA 1:2	HOJA 1 DE 1
					A3



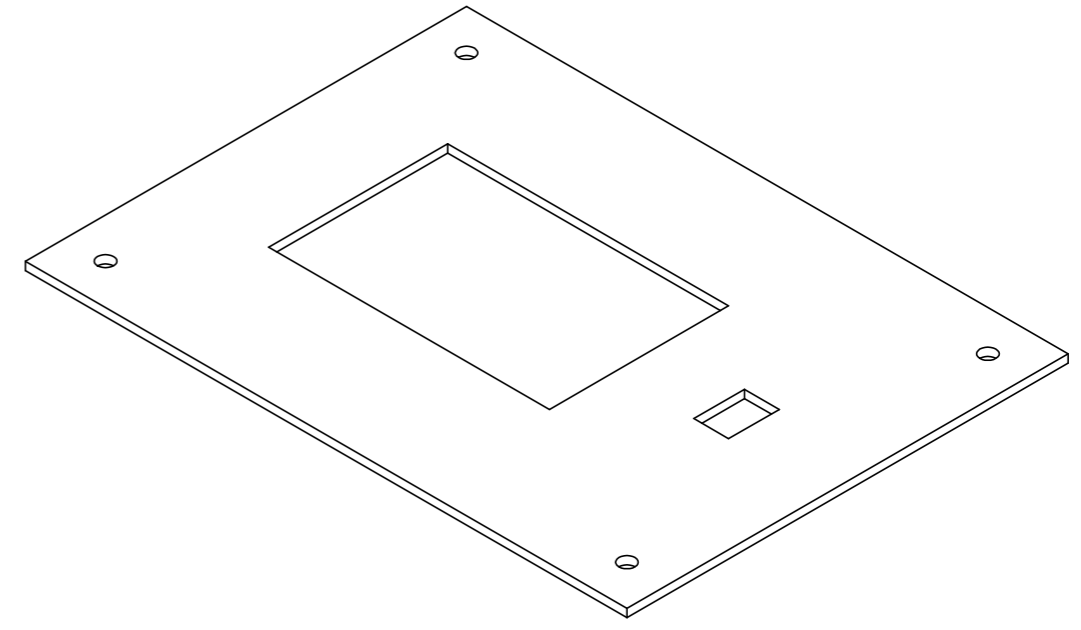
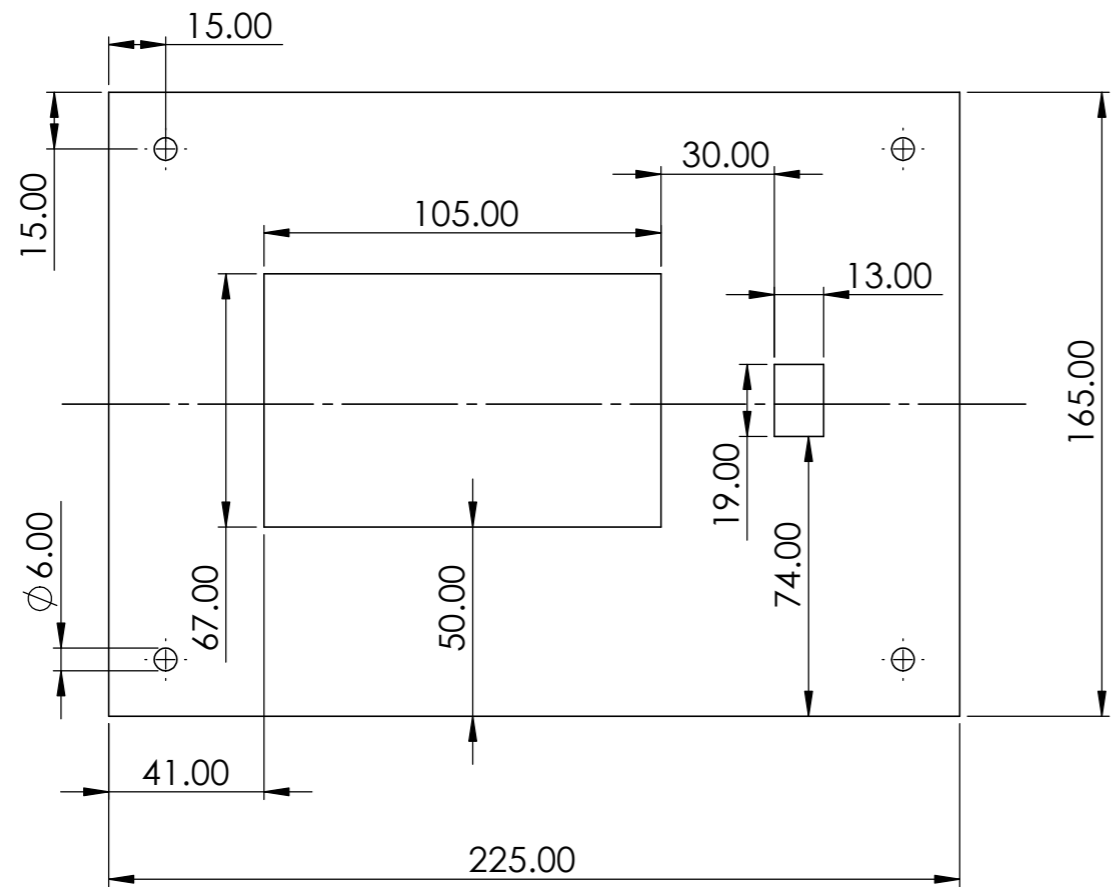
Nota: espesor de la pieza = 3 mm

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Espacio electrónica
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
	NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
	REBARBAR ARISTAS VIVAS			METACRILATO	5.3
				ESCALA 1:2	HOJA 1 DE 1
					A3



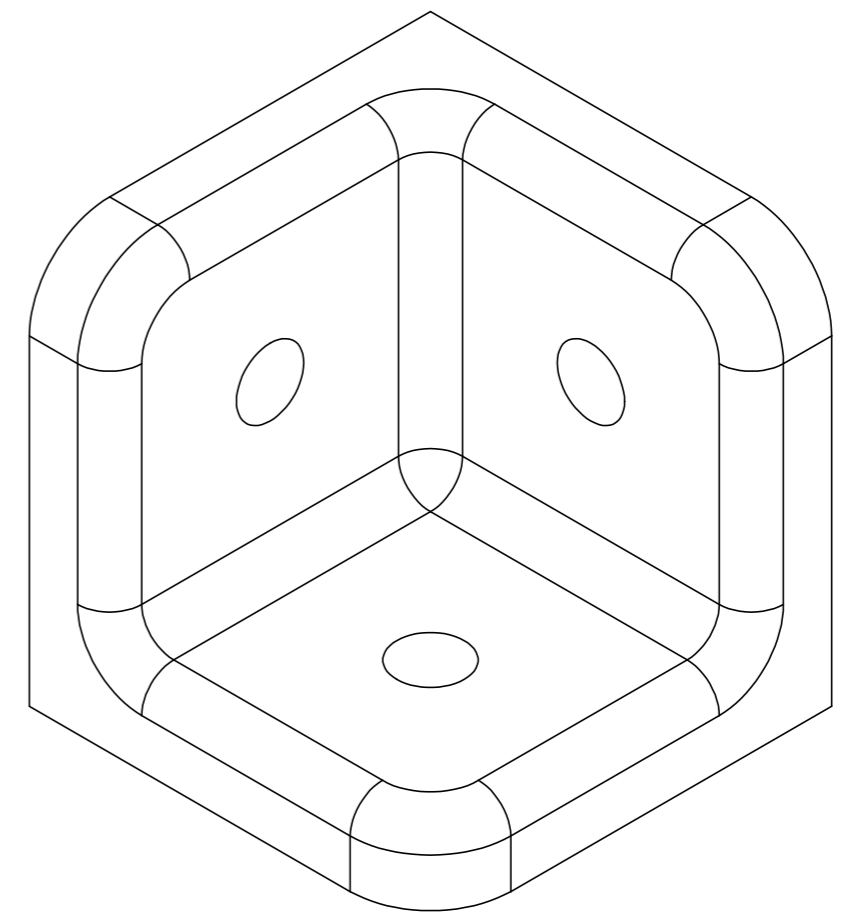
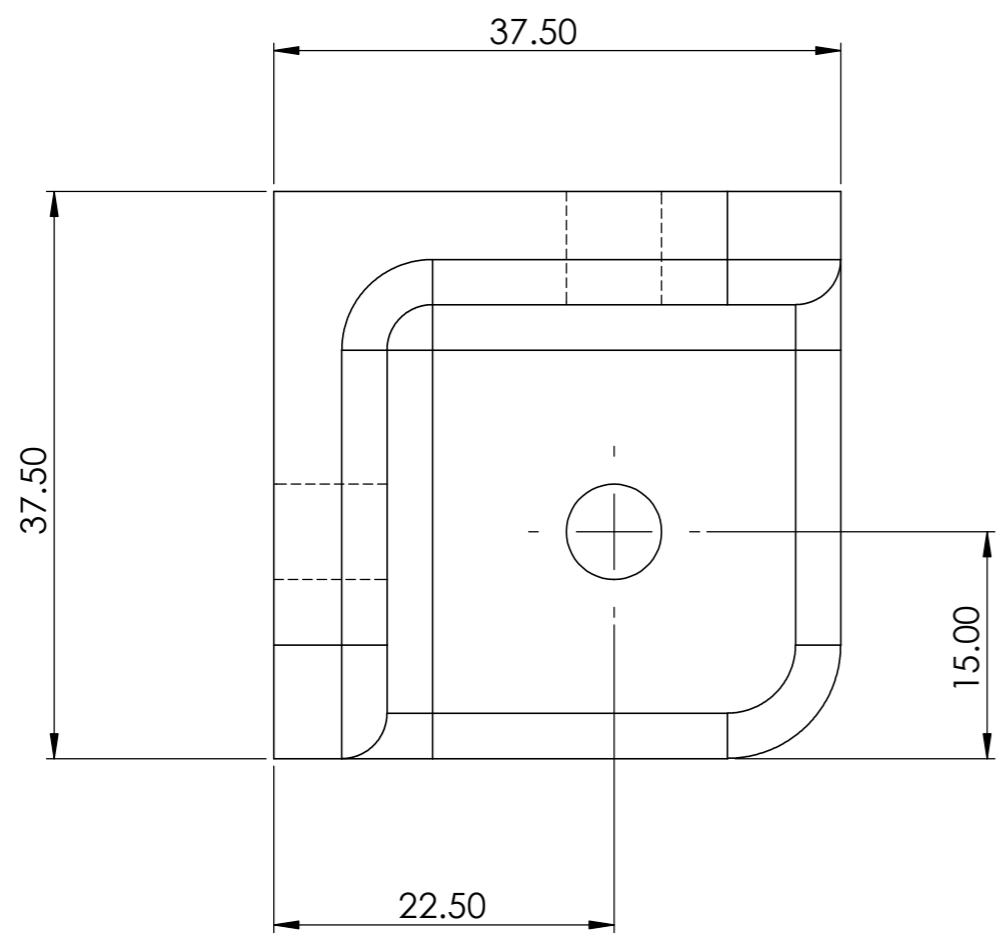
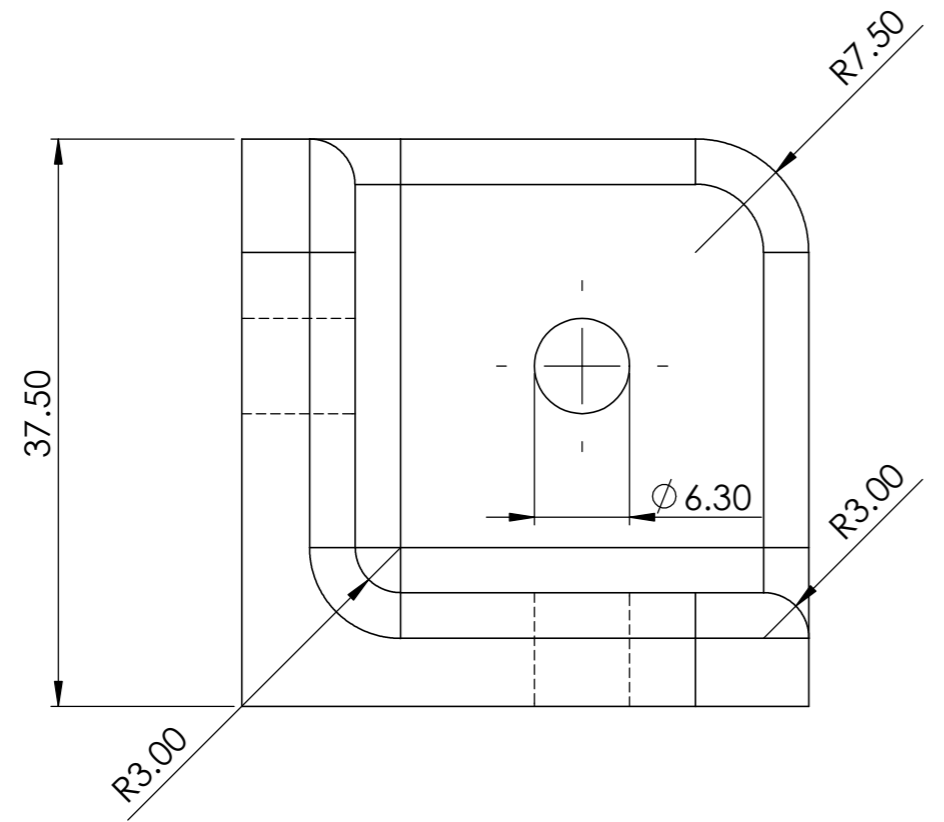
Nota: espesor de la pieza = 3 mm

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Espacio electrónica
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
	NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
	REBARBAR ARISTAS VIVAS			METACRILATO	5.4
				ESCALA 1:2	HOJA 1 DE 1
					A3



Nota: espesor de la pieza = 3 mm

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Espacio electrónica
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
	NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
	REBARBAR ARISTAS VIVAS			METACRILATO	5.5
				ESCALA 1:2	HOJA 1 DE 1
					A3



Nota: todos los taladros se encuentran situados como el acotado respecto a los bordes de la pieza.

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO DEL PROYECTO:	TÍTULO:
DIBUJ.	ANTONIO PÉREZ ROSA		19/08/23	MEJORA Y MONTAJE DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS	Espacio electrónica
VERIF.	ÓSCAR D. DE CÓZAR MACÍAS		01/09/23		
	NO CAMBIE LA ESCALA	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:
	REBARBAR ARISTAS VIVAS			PETG	5.6
				ESCALA 2:1	A3
				HOJA 1 DE 1	

DOCUMENTO N^o

3

PLIEGO DE CONDICIONES

Esta página ha sido dejada en blanco

Índice

1	Disposiciones generales	7
1.1	Objeto del pliego	7
1.2	Documentos del proyecto	7
1.3	Compatibilidad y prelación entre documentos	7
2	Pliego de Condiciones Técnicas	8
2.1	Documentación de soporte	8
2.1.1	Documento N ^o 1. Memoria	8
2.1.2	Documento N ^o 2. Anexos	9
2.1.3	Documento N ^o 3. Planos	9
2.1.4	Documento N ^o 4. Pliego de condiciones	9
2.1.5	Documento N ^o 5. Mediciones y Presupuesto	9
2.2	Materiales empleados	10
2.2.1	Acero al carbono	10
2.2.2	Polimetacrilato de metilo (PMMA)	10
2.2.3	Contrachapado	10
3	Pliego de Condiciones Facultativas	11
3.1	Obligaciones y derechos del Ingeniero Director	11
3.2	Obligaciones y derechos del Contratista	11
3.2.1	Reclamaciones contra las órdenes del Ingeniero Director	11
3.2.2	Despido por insubordinación, incapacidad y mala fe	12
3.2.3	Copia de documentos	12
3.3	Trabajos, materiales y medios auxiliares	12
3.3.1	Comienzo y plazos de fabricación	12
3.3.2	Condiciones generales de ejecución de los trabajos	12

3.3.3	Trabajos defectuosos	13
3.4	Recepción y liquidación	13
3.4.1	Recepción provisional	13
3.4.2	Plazo de garantía	13
3.4.3	Recepción definitiva	13
3.4.4	Liquidación final	14
3.4.5	Liquidación en caso de rescisión	14
4	Pliego de Condiciones Económicas	14
4.1	Base fundamental	14
4.2	Garantías de cumplimiento y fianzas	14
4.2.1	Garantía	14
4.2.2	Fianza	15
4.2.3	Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza	15
4.2.4	Devolución de la fianza	15
4.3	Gastos e impuestos	15
4.4	Precios y revisiones	16
4.4.1	Precios contradictorios	16
4.4.2	Reclamación por aumento de precios	16
4.4.3	Revisión de precios	16
4.5	Valoración y abono de los trabajos	17
4.5.1	Valoración de la máquina	17
4.5.2	Mediciones parciales y finales	17
4.5.3	Errores presupuestarios	17
4.5.4	Valoración de trabajos incompletos	17
4.5.5	Pagos	18
4.5.6	Suspensión por retrasos de pago	18
4.5.7	Indemnización por el retraso de los tra- bajos	18
4.5.8	Mejoras de fabricación	18
5	Pliego de Condiciones Legales	18

5.1	Marco jurídico	18
5.2	Arbitraje y jurisdicción	19
5.3	Accidentes laborales	19
5.4	Permisos y certificados	19
5.5	Rescisión del contrato	20
5.6	Normativa de índole general para la industria .	20

Esta página ha sido dejada en blanco

1. Disposiciones generales

1.1. Objeto del pliego

Este documento tiene como finalidad establecer de manera precisa las condiciones técnicas, facultativas, económicas y legales que deben ser consideradas en la ejecución del proyecto de la máquina de moldeo por inyección de plásticos. El objetivo es definir las responsabilidades de las partes involucradas en el proceso de fabricación y montaje, con el propósito de evitar malentendidos y garantizar la correcta implementación del proyecto.

Todas las disposiciones contenidas en este pliego tienen prioridad sobre otros documentos del proyecto y son de cumplimiento obligatorio por parte de todos los agentes participantes en la creación y ensamblaje del prototipo. Cualquier modificación no autorizada podría resultar en la pérdida de la garantía de un funcionamiento adecuado de la máquina.

1.2. Documentos del proyecto

El presente proyecto se compone de los siguientes documentos:

- Documento N^o1. Memoria.
- Documento N^o2. Planos.
- Documento N^o3. Pliego de condiciones.
- Documento N^o4. Mediciones y presupuestos.

De esta lista de documentos, aquellos que tendrán carácter contractual, y por ende serán de cumplimiento obligatorio, son: “Planos”, “Pliego de condiciones” y “Mediciones y presupuesto”. Los demás documentos son de naturaleza informativa.

No será posible alegar modificación alguna de las condiciones del contrato basándose en los datos proporcionados en los documentos informativos, a menos que dichos datos estén explícitamente presentes en algún documento contractual.

Por lo tanto, la responsabilidad recaerá sobre la persona encargada de llevar a cabo el proyecto (en adelante, el Contratista) por cualquier error que pueda surgir debido a la falta de obtención de información directa que corrija o ratifique el contenido de los documentos informativos del proyecto.

1.3. Compatibilidad y prelación entre documentos

La documentación presentada en este proyecto se encuentra diseñada para ser compatible y complementaria entre sí. La jerarquía y prelación entre los documentos variarán en función del enfoque que se esté considerando. Desde una perspectiva técnico-teórica, el documento de mayor relevancia es la “Memoria”, seguida de los “Planos”. Por otro lado,

desde una perspectiva legal y jurídica, el documento más significativo es el “Pliego de condiciones”.

En caso de que surja alguna contradicción entre los documentos, el orden de prioridad se establece de la siguiente manera:

- “Documento N^o3. PLANOS”.
- “Documento N^o4. PLIEGO DE CONDICIONES”.
- “Documento N^o5. MEDICIONES Y PRESUPUESTO”.
- “Documento N^o1. MEMORIA”.

2. Pliego de Condiciones Técnicas

Será responsabilidad del Contratista asegurar que las especificaciones estructurales necesarias para los análisis y el diseño estén a su disposición. Además, deberá proporcionar los datos esenciales de los elementos que requieren diseño.

Otra obligación que recae sobre el Contratista implica la presentación de informes periódicos sobre los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, así como un informe final detallando los pasos seguidos y los logros alcanzados en el curso del proyecto.

Es vital que los procedimientos de cálculo se ajusten a las directrices establecidas en el documento “Memoria”. No se permitirá la modificación de estos procedimientos sin la correspondiente autorización previa.

Por último, en el caso de subcontratar partes específicas de la ejecución del proyecto, el Contratista deberá demostrar la idoneidad de la entidad subcontratada y obtener la aprobación correspondiente.

2.1. Documentación de soporte

Al finalizar el proyecto deben entregarse los cinco documentos que se exponen a continuación.

2.1.1. Documento N^o1. Memoria

Este documento define los objetivos buscados (requerimientos y necesidades de funcionamiento), el proceso seguido (metodología aplicada) para la realización del proyecto “Mejora y montaje de una máquina de moldeo por inyección para plásticos”, y la solución final lograda con sus respectivas conclusiones.

En este documento se redacta toda la información esencial para entender el proyecto en su totalidad. Para ello, se aportan todos los procedimientos realizados para la comprobación y verificación del cumplimiento de los requisitos establecidos.

Por último, se incluyen también las propiedades y características de los elementos y materiales empleados en la construcción de la inyectora.

2.1.2. Documento N^o2. Anexos

Esta sección alberga una colección de elementos suplementarios que enriquecen la comprensión y ejecución del proyecto "Diseño y fabricación de una inyectora sostenible de plástico reciclado". Los anexos constituyen un compendio de detalles técnicos, esquemas visuales y datos adicionales que profundizan la visión global del diseño y la funcionalidad de la inyectora.

En esta categoría, se incluye una serie de códigos utilizados para la electrónica del proyecto. Estos códigos desvelan la complejidad de la interconexión electrónica y los mecanismos de control en la inyectora. Su incorporación permite una perspectiva técnica más profunda de la implementación y el funcionamiento integral de la máquina.

Es importante recalcar que, a pesar de ser una extensión adicional, los anexos tienen el propósito de complementar y enriquecer la información contenida en los documentos principales. Aportan una dimensión más profunda y técnica al proyecto en su conjunto.

La consideración de los anexos, en particular aquellos relacionados con los códigos electrónicos, es esencial para garantizar una comprensión precisa del diseño y la ejecución de la inyectora. Permiten a los involucrados explorar los detalles técnicos y funcionales de la solución propuesta.

2.1.3. Documento N^o3. Planos

En esta sección se presentan los planos técnicos de los componentes de la inyectora desarrollados en el proyecto. Estos planos son esenciales para definir geométricamente y representar visualmente lo proyectado. Su información es fundamental para la fabricación precisa del proyecto. Los planos proporcionan una guía visual detallada y precisa de cada componente, asegurando la coherencia en la fabricación y el ensamblaje.

2.1.4. Documento N^o4. Pliego de condiciones

Este documento establece las normas de comportamiento que rigen la realización del proyecto desde perspectivas facultativas, técnicas, económicas y legales. Define las pautas de interacción entre los agentes involucrados en la ejecución del proyecto.

2.1.5. Documento N^o5. Mediciones y Presupuesto

Este documento representa la cuantificación material y económica de la visión proyectada. Ofrece una perspectiva estimada de los costos y las mediciones generales del proyecto. Sirve como una guía orientativa para comprender los aspectos financieros y dimensionales del proyecto en su totalidad.

2.2. Materiales empleados

2.2.1. Acero al carbono

El acero al carbono es una aleación esencial en la industria, compuesta principalmente por hierro y carbono en proporciones variables. Su versatilidad radica en la capacidad de ajustar la cantidad de carbono para lograr diferentes grados de resistencia y dureza. Es ampliamente empleado en la fabricación de componentes estructurales debido a su resistencia a la tracción y compresión.

El acero al carbono es conocido por su asequibilidad y facilidad de manipulación en procesos de conformado y soldadura. Sin embargo, su susceptibilidad a la corrosión lo hace menos adecuado para entornos húmedos o corrosivos en comparación con otras aleaciones. Su amplia disponibilidad y propiedades mecánicas personalizables lo convierten en una opción destacada en una variedad de aplicaciones industriales y estructurales.

2.2.2. Polimetacrilato de metilo (PMMA)

Comúnmente conocido como metacrilato, acrílico o plexiglás, el PMMA es un polímero transparente que se emplea frecuentemente en forma de láminas como una alternativa liviana y resistente a roturas en comparación con el vidrio.

El polimetacrilato de metilo es un termoplástico resistente y rígido, que se deriva del ácido acrílico y su posterior polimerización. Destacado por sus propiedades ópticas sobresalientes, como un alto índice de refracción y una transparencia notable, muestra una buena resistencia frente a las condiciones climáticas y el paso del tiempo. Además, exhibe una mayor resistencia a impactos en comparación con el vidrio, incluso a igualdad de espesores, presentando una resistencia a la rotura siete veces superior a la del vidrio convencional.

2.2.3. Contrachapado

El contrachapado, también conocido como multilaminado, es un material compuesto formado por capas de madera superpuestas y pegadas entre sí. Cada capa, llamada lámina o chapa, se dispone en direcciones alternas para mejorar la resistencia y la estabilidad del material.

Este tipo de madera contrachapada ofrece una mayor resistencia a la deformación y la torsión en comparación con la madera sólida. Su estructura en capas le confiere una mayor estabilidad dimensional, reduciendo el riesgo de rajaduras y deformaciones debido a los cambios de humedad y temperatura. Además, el contrachapado es apreciado por su versatilidad y facilidad de trabajo, permitiendo cortes precisos y formas personalizadas.

El contrachapado se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, desde la construcción y la fabricación de muebles hasta la industria de embarcaciones y trabajos de carpintería, gracias a su capacidad para ofrecer un equilibrio entre resistencia, flexibilidad y durabilidad.

3. Pliego de Condiciones Facultativas

3.1. Obligaciones y derechos del Ingeniero Director

La supervisión del proceso de fabricación estará a cargo de un ingeniero previamente designado (en adelante Ingeniero Director). Será su responsabilidad verificar el desarrollo del proyecto, asegurando que las pautas y procedimientos establecidos se sigan adecuadamente por parte del Contratista.

El Ingeniero Director posee el derecho de acceder a toda la información necesaria y de estar al tanto de cualquier eventualidad que surja en los procesos ejecutados en el proyecto. Esta autoridad le permite mantener una visión integral y tomar decisiones informadas para asegurar el cumplimiento exitoso del proyecto.

3.2. Obligaciones y derechos del Contratista

El Contratista, ya sea una entidad o individuo, asume la responsabilidad de llevar a cabo la fabricación del proyecto. Su tarea consiste en asegurarse de disponer de los elementos esenciales para la realización del proyecto, en conformidad con la documentación proporcionada y dentro del plazo acordado.

En caso de que se produzcan retrasos en el cumplimiento del proyecto, el Contratista está obligado a informar al Ingeniero Director. La decisión final en relación con estos retrasos recae en la dirección del proyecto. Además, el Contratista debe facilitar cualquier certificado de calidad que sea necesario para los materiales, maquinaria y equipo utilizados en la fabricación.

Es fundamental que el Contratista participe en todas las reuniones convocadas por la dirección facultativa. En caso de que la asistencia no sea posible, debe justificarlo debidamente y designar a un representante en su lugar.

Una de las responsabilidades primordiales del Contratista es asegurar su presencia física en el lugar de fabricación durante su horario laboral. Esto garantiza la correcta ejecución de lo estipulado en el proyecto y contribuye al cumplimiento exitoso de los objetivos establecidos.

3.2.1. Reclamaciones contra las órdenes del Ingeniero Director

El Contratista tiene la prerrogativa de presentar reclamaciones dirigidas a las órdenes del Ingeniero Director únicamente si estas se relacionan con aspectos económicos y cumplen con los términos establecidos en el pliego de condiciones correspondiente.

En el caso de reclamaciones de naturaleza técnica o facultativa por parte del Ingeniero Director, estas no serán admitidas. No obstante, el Contratista puede resguardar su responsabilidad al proporcionar una exposición fundamentada y dirigida al Ingeniero Director, presentando argumentos razonados para sustentar su posición.

3.2.2. Despido por insubordinación, incapacidad y mala fe

El Contratista está obligado a reemplazar a sus trabajadores y colaboradores si el Ingeniero Director lo solicita debido a incumplimientos de las instrucciones, evidente incapacidad o conductas que interfieran o pongan en riesgo el progreso de las labores.

3.2.3. Copia de documentos

El Contratista tiene el derecho de solicitar y obtener copias de todos los elementos de la documentación relacionada con el proyecto. La autorización para obtener estas copias debe ser otorgada por el Ingeniero Director una vez que se haya formalizado el contrato de fabricación.

3.3. Trabajos, materiales y medios auxiliares

3.3.1. Comienzo y plazos de fabricación

Los plazos de ejecución y la fecha de inicio de la fabricación estarán claramente definidos en el contrato y serán de cumplimiento obligatorio por parte del Contratista. El Contratista debe notificar el inicio de la fabricación a la dirección facultativa y es el máximo responsable de cumplir con los plazos establecidos.

En caso de eventos imprevistos, el Contratista está obligado a informar a la dirección facultativa, dejando en manos de esta última la decisión a tomar. Si la fabricación requiere de plazos adicionales debido a circunstancias justificadas, el Contratista puede solicitar a la dirección facultativa una extensión de plazos.

Si el Contratista no puede iniciar la fabricación en la fecha acordada, la dirección facultativa, después de una reunión si es necesario, establecerá una nueva fecha de inicio.

Es responsabilidad del Contratista notificar por escrito al Ingeniero Director el comienzo de los trabajos en las primeras 24 horas posteriores al inicio de la fabricación.

3.3.2. Condiciones generales de ejecución de los trabajos

El Contratista está obligado a utilizar materiales y mano de obra que cumplan con los requisitos y demandas establecidos en el pliego de condiciones. Además, debe llevar a cabo todos los trabajos acordados de acuerdo con lo estipulado en dicho documento.

El Contratista tiene la única responsabilidad en relación con la ejecución de los trabajos y las posibles carencias o defectos que puedan surgir hasta la recepción definitiva de la obra. Esta responsabilidad persiste incluso si el Ingeniero Director no ha sido informado específicamente sobre el fallo en cuestión.

3.3.3. Trabajos defectuosos

Como resultado de lo establecido en la sección anterior, si el Ingeniero Director identifica deficiencias en los trabajos realizados, los materiales empleados o los componentes instalados, ya sea durante el proceso de ejecución o después de su conclusión (previo a la verificación de la recepción definitiva de la obra), tiene la facultad de ordenar la remoción de las partes defectuosas. Además, puede requerir que se reconstruyan conforme a los términos acordados. Los costos relacionados con estas acciones recaerán en la responsabilidad del Contratista.

3.4. Recepción y liquidación

3.4.1. Recepción provisional

Para llevar a cabo la recepción provisional de la máquina, es imprescindible contar con la presencia del Propietario, el Ingeniero Director y el Contratista, o su representante debidamente autorizado.

En caso de que la máquina se encuentre en un estado óptimo y haya sido ejecutada conforme a las condiciones estipuladas, se considerará aceptada provisionalmente, y se iniciará el periodo de garantía a partir de esa fecha.

Si la máquina no reúne las condiciones necesarias para ser recibida, se dejará constancia de esta situación en un acta, donde se detallarán las instrucciones para abordar las deficiencias observadas. Se establecerá un plazo para corregirlas, y una vez transcurrido este plazo, se llevará a cabo una nueva inspección en condiciones equivalentes para proceder a la recepción provisional de la máquina.

Después de llevar a cabo una minuciosa inspección y en caso de que la máquina cumpla con los requisitos de este documento, se redactará un acta en dos copias. Esta acta irá acompañada de los documentos que respalden la liquidación final. Una copia del acta quedará en manos del Propietario, mientras que la otra será entregada al Contratista.

3.4.2. Plazo de garantía

A partir de la fecha en que se lleva a cabo la recepción provisional, se inicia el periodo de garantía, el cual tendrá una duración de un año. Durante este lapso, el Contratista asumirá la responsabilidad de realizar todas las reparaciones necesarias para subsanar cualquier desperfecto atribuible a defectos.

3.4.3. Recepción definitiva

Después de transcurrir el plazo de garantía, se procederá a la revisión final de la máquina, bajo las mismas condiciones que en la recepción provisional. Si la máquina se encuentra en un estado de conservación adecuado y en condiciones óptimas, el Contratista quedará

exento de cualquier responsabilidad económica adicional. Sin embargo, si existieran condiciones adversas, se pospondrá la recepción definitiva hasta que la máquina cumpla, dentro del período estipulado y según el criterio del Ingeniero Director, con las especificaciones y condiciones definidas en este documento.

Si la revisión posterior indica que el Contratista no ha cumplido con los requisitos, la contratación se considerará rescindida con la pérdida de la fianza, a menos que el Propietario decida otorgar un nuevo plazo en caso de ser apropiado.

3.4.4. Liquidación final

Una vez finalizada la máquina, se llevará a cabo la liquidación acordada, la cual abarcará el monto de las unidades presupuestadas y aquellas que constituyan modificaciones al Proyecto, siempre que hayan sido previamente aprobadas por la Dirección Facultativa junto con sus respectivos precios.

Bajo ninguna circunstancia, el Contratista estará facultado para presentar reclamaciones relacionadas con incrementos de precios que no hayan sido autorizados por escrito y con la aprobación del Ingeniero Director.

3.4.5. Liquidación en caso de rescisión

En situaciones de rescisión, la liquidación se llevará a cabo mediante un contrato de liquidación, el cual será redactado en consenso entre ambas partes. Este contrato incluirá el monto correspondiente a las unidades presupuestadas hasta la fecha de rescisión.

4. Pliego de Condiciones Económicas

4.1. Base fundamental

Se establece como principio esencial que el Contratista debe estar plenamente informado acerca del importe de todos los trabajos llevados a cabo, siempre y cuando dichos trabajos hayan sido realizados conforme a las especificaciones detalladas en la documentación del proyecto que describe la construcción de la máquina inyectora.

4.2. Garantías de cumplimiento y fianzas

4.2.1. Garantía

La empresa se reserva el derecho de solicitar al Contratista la presentación de referencias bancarias u otros documentos provenientes de entidades o individuos, con el fin de verificar si este cumple con todas las condiciones necesarias para el cumplimiento preciso del

contrato. Estas referencias deberán ser presentadas por el Contratista antes de la firma del contrato.

4.2.2. Fianza

Con el propósito de asegurar la ejecución del contrato, el Contratista podría ser requerido a abonar una fianza acordada entre ambas partes.

4.2.3. Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza

En caso de que el Contratista se niegue a llevar a cabo los trabajos en las condiciones pactadas, el Ingeniero Director, actuando en representación del Propietario, tendrá la facultad de ordenar que dichos trabajos sean realizados por un tercero. El costo de esta ejecución será cubierto utilizando los fondos de la fianza depositada. Esta medida se llevará a cabo sin perjuicio de las acciones legales que el propietario pueda emprender en el caso de que el monto de la fianza no sea suficiente para cubrir los gastos incurridos en las unidades de trabajo que no hayan sido aceptadas.

4.2.4. Devolución de la fianza

La fianza depositada será reembolsada al Contratista en un plazo no mayor de 8 días, después de que se haya firmado el acta de recepción definitiva de la obra. Esta devolución estará sujeta a que el Contratista haya demostrado que no existe ninguna reclamación en su contra relacionada con daños, perjuicios, deudas de jornales o materiales, ni indemnizaciones derivadas de accidentes laborales.

4.3. Gastos e impuestos

Todos los gastos e impuestos de cualquier naturaleza que resulten de disposiciones gubernamentales estatales, provinciales o municipales y que estén en vigor en el momento de la firma de este contrato, serán responsabilidad exclusiva del Contratista, excepto el Impuesto al Valor Agregado (IVA).

Las modificaciones tributarias que surjan después de la firma del contrato afectarán directamente al sujeto pasivo correspondiente, sin que las partes puedan transferirse mutuamente dichos cambios. En ningún caso la modificación del sistema tributario vigente en el momento de la firma del contrato podrá dar lugar a una revisión de los precios acordados.

4.4. Precios y revisiones

4.4.1. Precios contradictorios

En caso de que surja la necesidad de establecer un nuevo precio, se seguirá el siguiente procedimiento:

- El Adjudicatario presentará por escrito y con firma un nuevo precio que considere apropiado.
- La Dirección Facultativa evaluará el nuevo precio desde su propio criterio.

Si ambos precios coinciden, se documentará mediante un acta. Del mismo modo, si se resuelven pequeñas discrepancias o errores a través de discusión y convicción de alguna de las partes, se formalizará el precio contradictorio. Si no se logra un acuerdo a través de discusión, se planteará al Propietario que tome la decisión que considere adecuada. Esta decisión puede ser la aprobación del precio propuesto por el Adjudicatario o, en caso contrario, la transferencia de la ejecución del proyecto a la administración o a otro adjudicatario. La determinación del precio contradictorio debe realizarse al inicio de la nueva etapa. En caso de que ya se haya comenzado por cualquier motivo, el Adjudicatario estará obligado a aceptar el precio determinado por el responsable y a completar la etapa satisfactoriamente según dichas condiciones.

4.4.2. Reclamación por aumento de precios

Si el Contratista no presenta la reclamación u observación correspondiente antes de la firma del contrato, no podrá, bajo ningún motivo, reclamar el aumento de los precios establecidos en el cuadro de presupuesto que sirve como base para la ejecución del proyecto. Cualquier error material o error en los cálculos en las unidades de importe se corregirán en cualquier momento que se identifiquen, pero no se considerarán como razón suficiente para rescindir el contrato.

4.4.3. Revisión de precios

En caso de que los precios actuales de jornales, cargas sociales y materiales, en el momento de la firma del Contrato, experimenten una variación oficial de más o menos del 5 %, se contempla la posibilidad de realizar una revisión de precios a petición de cualquiera de las partes, la cual se aplicará a las tareas pendientes de ejecución.

En principio, no se admitirá la revisión de los precios pactados. Sin embargo, considerando la constante variabilidad de los precios de jornales, cargas sociales, materiales y transportes, propios de ciertas épocas de volatilidad en el mercado, se permiten durante dichos períodos las revisiones de precios, ya sea al alza o a la baja, en consonancia con las fluctuaciones del mercado.

El Contratista tiene la opción de solicitar al Propietario una revisión al alza en caso de que se produzca una alteración de precio que incremente el costo de lo pactado. Ambas partes

deberán acordar un nuevo precio unitario antes de iniciar o continuar la ejecución de los trabajos relacionados con la máquina en cuestión, si la variación de precio es justificada y afecta a algún elemento específico cuyo costo en el mercado haya aumentado. Además, se especificará de manera previa la fecha a partir de la cual se aplicarán los nuevos precios, considerando, cuando sea necesario, el almacenamiento de materiales en la fabricación, en caso de que dichos materiales estén total o parcialmente a cargo del Propietario.

Si el Propietario no está de acuerdo con los nuevos precios de los materiales propuestos por el Contratista como reflejo de las condiciones normales del mercado, el Propietario puede sugerir al Contratista el uso de los precios de los materiales adquiridos por este último, basados en la información proporcionada por el Propietario, para considerar en la revisión de precios si así procede.

4.5. Valoración y abono de los trabajos

4.5.1. Valoración de la máquina

La valoración de la máquina se calculará aplicando a las diferentes unidades de construcción que la componen el precio asignado en el presupuesto correspondiente. A este importe se le sumará el porcentaje que corresponda al beneficio industrial.

4.5.2. Mediciones parciales y finales

Las mediciones parciales se llevarán a cabo en presencia del Contratista, y se documentarán mediante un acta en duplicado. La medición final se realizará una vez que la máquina esté terminada y también en presencia del Contratista.

En el acta deberá constar la conformidad del Contratista o su representante legal. En caso de que no estén conformes, podrán exponer sumariamente sus objeciones, con la posibilidad de ampliar las razones en el futuro.

4.5.3. Errores presupuestarios

Se considerará que el Contratista ha llevado a cabo un análisis minucioso de los documentos que conforman el Proyecto. En ausencia de observaciones sobre posibles errores, se asume que no hay motivo para realizar reclamaciones en relación con mediciones o precios, incluso si la cantidad de unidades supera la estimación prevista en el documento. Sin embargo, si el número de unidades resultara ser menor, se reflejará esta diferencia en el presupuesto.

4.5.4. Valoración de trabajos incompletos

En situaciones en las que, debido a rescisiones u otras circunstancias, sea necesario valorar trabajos que estén incompletos, se emplearán los precios del presupuesto. Se enfatiza que

no se permitirá realizar la valoración de una unidad de obra fragmentándola de manera diferente a la descomposición de precios establecida en los cuadros correspondientes.

4.5.5. Pagos

Los pagos serán realizados por el Propietario de acuerdo con los plazos predefinidos, y el monto correspondiente será exactamente el de las Certificaciones de Trabajos emitidas por el Ingeniero Director, que validan la ejecución de dichos trabajos.

4.5.6. Suspensión por retrasos de pago

El Contratista no estará autorizado en ningún caso a detener los trabajos aduciendo demoras en los pagos, ni tampoco a realizarlos a un ritmo inferior al estipulado en relación al plazo de finalización previsto.

4.5.7. Indemnización por el retraso de los trabajos

En caso de que el Contratista incurra en un retraso no justificado en el plazo de finalización de los trabajos, estará sujeto al pago de una indemnización. Dicha indemnización comprenderá el valor de los perjuicios materiales ocasionados debido a la imposibilidad de utilizar la máquina, siempre y cuando estos daños estén debidamente documentados y justificados.

4.5.8. Mejoras de fabricación

Únicamente se considerarán mejoras en la fabricación cuando hayan sido solicitadas por la empresa contratante y estén documentadas por escrito. Estas mejoras podrán implicar la ejecución de nuevos trabajos que mejoren la calidad de los trabajos originalmente contratados, así como la utilización de materiales y dispositivos de mayor calidad.

En cuanto a los aumentos en las unidades contratadas, solo serán admitidos en caso de error en las mediciones del Proyecto y si están respaldados por una solicitud por escrito de la empresa contratante para ampliar las unidades contratadas. Cualquier modificación deberá ser debidamente registrada por escrito y autorizada por ambas partes.

5. Pliego de Condiciones Legales

5.1. Marco jurídico

La realización del proyecto debe estar en pleno cumplimiento de las leyes en vigor en el estado correspondiente. La empresa asume la responsabilidad de llevar a cabo el proyecto

de acuerdo con las condiciones estipuladas en el contrato y en los documentos que conforman el proyecto. Además, se regirá por las disposiciones establecidas en las leyes que rigen los contratos de trabajo y otras regulaciones aplicables.

5.2. Arbitraje y jurisdicción

El Contratista tiene la responsabilidad de llevar a cabo los trabajos de acuerdo con las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos del proyecto.

El Contratista debe cumplir con las disposiciones de la Ley de Contratos de Trabajo, así como con las regulaciones de la Ley de Accidentes de Trabajo, Subsidio Familiar y Seguros Sociales.

En caso de desacuerdo entre las partes, se designará un mediador designado por el agente responsable del contrato para intentar resolver la disputa de manera amigable.

Si no se llega a un acuerdo a través de la mediación, cada parte designará un representante y se buscará una solución. Si aún persiste la falta de acuerdo, el conflicto se resolverá mediante un proceso judicial.

5.3. Accidentes laborales

En caso de accidentes que ocurran durante la realización de los trabajos y estén relacionados con ellos, el Contratista estará sujeto a las regulaciones establecidas en la legislación vigente respecto a accidentes laborales. Será exclusivamente responsable de cumplir con estas normativas, sin que la propiedad se vea afectada por ninguna responsabilidad en este contexto.

El Contratista tiene la obligación de implementar todas las medidas de seguridad requeridas por las disposiciones legales para prevenir accidentes entre los trabajadores.

El Contratista asumirá la responsabilidad por los accidentes que puedan surgir debido a falta de experiencia o descuido. En consecuencia, será responsable de indemnizar a los afectados y, cuando corresponda, de cubrir los daños y perjuicios que puedan surgir durante la ejecución de los trabajos.

El Contratista deberá cumplir con los requisitos establecidos por las regulaciones vigentes en este ámbito y, cuando se le solicite, deberá presentar pruebas que demuestren su cumplimiento con dichas regulaciones.

5.4. Permisos y certificados

El Contratista asumirá la responsabilidad de cumplir con todas las leyes en vigencia a nivel estatal, provincial o municipal. Esta responsabilidad recae en él.

Además, será responsabilidad del Contratista gestionar la solicitud de permisos o certificados si fueran necesarios para la ejecución de los trabajos. Los costos asociados a estos permisos o certificados serán cubiertos por la propiedad.

5.5. Rescisión del contrato

Las siguientes acciones llevarán a la rescisión del contrato:

- No iniciar el proyecto en la fecha de inicio acordada.
- Demora significativa en la entrega dentro de los plazos establecidos.
- Incumplimiento de las responsabilidades por parte del Contratista.
- Deficiencias en los materiales causadas por negligencia del Contratista.
- Modificaciones contractuales que resulten en aumentos de precio superiores al 7%.

5.6. Normativa de índole general para la industria

- Real Decreto 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales.
- Ley 54/2003, de 12 de noviembre, de reforma del marco normativo de la Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 707/2002, de 19 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre el procedimiento administrativo especial de actuación de la Inspección de Trabajo y Seguridad Social y para la imposición de las medidas correctoras de incumplimientos en materia de prevención de riesgos laborales en el ámbito de la Administración General del Estado.
- Real Decreto Legislativo 5/2000, de 4 de agosto, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre Infracciones y Sanciones en el Orden Social.
- Ley 50/1998, de 30 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social, que modifica la Ley 31/1995 en sus artículos 47, 48 y 49.
- Real Decreto 2526/1998, de 27 de noviembre, que modifica el artículo 17.1 del anexo al Real Decreto 697/1995.
- Real Decreto A1823/1998, de 28 de agosto, sobre Composición y Funcionamiento de la Comisión para la Competitividad industrial, desarrollando la Ley 21/1992.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 697/1995, de 28 de abril, que desarrolla el Reglamento de Registro de Establecimientos Industriales de la Ley 21/1992.
- Orden de 29 de julio de 1993, que desarrolla el Real Decreto 825/1993.

- Real Decreto 825/1993, de 28 de mayo, que determina Medidas Laborales y de Seguridad Social específicas a las que se refiere el artículo 6 de la Ley 21/1992.
- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.
- Convenio 155 de la OIT sobre seguridad y salud de los trabajadores, de 22 de junio de 1981.
- Directiva 89/391/CEE, relativa a la aplicación de las medidas para promover la mejora en la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo.

DOCUMENTO N°

4

MEDICIONES Y PRESUPUESTOS

Esta página ha sido dejada en blanco

Índice

1	Mediciones	5
1.1	Función estructural y mecánica	5
1.2	Función electrónica	7
2	Presupuesto por funciones	8
2.1	Función estructural y mecánica	8
2.2	Función electrónica	10
3	Presupuesto general	11

Esta página ha sido dejada en blanco

1. Mediciones

En esta sección se va a presentar, en forma de tabla, información acerca de las medidas: largo (L), ancho (a) y altura (h); y la cantidad (C) de cada uno de los componentes y materiales usados para la construcción del prototipo, según tengan función estructural-mecánica o electrónica. Se indican, además, un código identificativo (Co) para cada uno de ellos, además de su unidad de medida y el método a través del que se han obtenido. Las siglas correspondientes al lugar de obtención pueden consultarse en el Documento N^o1, sección 8.1. Ud. significa unidad, D se refiere al diámetro externo, d al interno y e al espesor

1.1. Función estructural y mecánica

Cód.	Componente	Unidad	L	a	h	c	Obtención
1.1	Perfil cuadrado hueco de acero, $e = 3\text{mm}$	Ud., mm	6000	30	30	1	Cedido, SMU
1.2	Pletina de acero	Ud., mm	2000	30	3	1	Cedido, SMU
1.3	Tablero de contrachapado	Ud., mm	800	200	20	1	Cedido, AGU
1.4	Perfil redondo hueco de acero, $D = 34\text{ mm}$, $d = 26\text{ mm}$	Ud., mm	530	34	34	1	Adquirido
1.5	Perfil redondo macizo de acero, $D = 25\text{ mm}$	Ud., mm	585	25	25	1	Adquirido
1.6	Reducción tubería hembra 1" a hembra 1/2"	Ud.				1	Adquirido
1.7	Tapón tubería macho 1/2"	Ud.				1	Adquirido
1.8	Chapa de acero	Ud., mm	300	300	1	1	Cedido, AGU
1.9	Perfil redondo hueco de cuproaluminio, $D = 26\text{ mm}$, $d = 22$	Ud., mm	30	26	26	1	Cedido, CFEU
1.10	Pletina de acero	Ud., mm	200	20	3	1	Cedido, SMU
1.11	Molde para inyección	Ud.				1	Adquirido
1.12	Pintura en spray	Ud.				2	Adquirido
1.13	Rollo 1 kg filamento PETG para impresión 3D	Ud.				1	Adquirido
1.14	Pintura en spray	Ud.				1	Adquirido
1.15	Panel de metacrilato	Ud., mm	330	240	3	2	Cedido, CFEU
1.16	Panel de metacrilato	Ud., mm	330	300	3	2	Cedido, CFEU

Cód.	Componente	Unidad	L	a	h	c	Obtención
1.17	Panel de metacrilato	Ud., mm	330	240	3	2	Cedido, CFEU
1.18	Panel de metacrilato	Ud., mm	300	300	3	4	Cedido, DEGDP
1.19	Tornillo de cabeza hexagonal zincado DIN 933 M10 x 80 mm	Ud.				1	Adquirido
1.20	Arandela plana ancha zincada DIN 9021 M10	Ud.				2	Adquirido
1.21	Tuerca de seguridad zincada DIN 985 M10	Ud.				1	Adquirido
1.22	Tornillo de cabeza hexagonal zincado DIN 933 M8 x 120 mm	Ud.				4	Adquirido
1.23	Tornillo de cabeza hexagonal zincado DIN 933 M8 x 80 mm	Ud.				2	Adquirido
1.24	Tornillo de cabeza hexagonal zincado DIN 933 M8 x 60 mm	Ud.				4	Adquirido
1.25	Arandela plana ancha zincada DIN 9021 M8	Ud.				20	Adquirido
1.26	Tuerca zincada DIN 934 M8	Ud.				8	Adquirido
1.27	Tuerca de seguridad zincada DIN 985 M8	Ud.				2	Adquirido
1.28	Tornillo de cabeza hexagonal zincado DIN 933 M6 x 20 mm	Ud.				40	Adquirido
1.29	Arandela plana ancha zincada DIN 9021 M6	Ud.				80	Adquirido
1.30	Tuerca zincada DIN 934 M6	Ud.				40	Adquirido
1.31	Tornillo de cabeza hexagonal zincado DIN 933 M4 x 12 mm	Ud.				4	Adquirido
1.32	Arandela plana ancha zincada DIN 9021 M4	Ud.				4	Adquirido
1.33	Tuerca zincada DIN 934 M4	Ud.				4	Adquirido

1.2. Función electrónica

Cód.	Componente	Unidad	L	a	h	c	Obtención
2.1	Cable de alimentación + toma móvil	Ud., m	5			1	Cedido, AGU
2.2	Cableado electrónica	Ud., m	1			1	Cedido, DEGDP
2.3	Módulo de relés de estado sólido	Ud.				1	Adquirido
2.4	Placa de prototipado perforada	Ud., mm	30	40		1	Cedido, DEGDP
2.5	Chip ESP32 38 pines	Ud.				1	Adquirido
2.6	Estaño para soldar	Ud., cm	50			1	Cedido, DEGDP
2.7	Tira de conector pin hembra PCB 8 pines	Ud.				2	Cedido, DEGDP
2.8	Tira de conector pin hembra 20 pines	Ud.				1	Cedido, DEGDP
2.9	Amplificador MAX31865	Ud.				4	Adquirido
2.10	Sensor PT100	Ud.				4	Adquirido
2.11	Fuente de alimentación 5 V	Ud.				1	Cedido, CFEU
2.12	Cable USB mini 3.0	Ud., m	3			1	Cedido, CFEU
2.13	Resistencia de banda 275 W	Ud., mm	50	35		4	Adquirido
2.14	Interruptor	Ud.				1	Cedido, AGU
2.15	Pantalla Nextion NX4827T043	Ud.				1	Adquirido

2. Presupuesto por funciones

En la tabla expuesta en este apartado se presentan, en base a los resultados de las mediciones, los costes de cada uno de los elementos por funciones. A todo aquel componente que haya sido cedido se le asigna un precio nulo. El precio se refiere al coste unitario de cada componente, mientras que el importe se refiere al total. Todos los precios en euros. Al realizar este proyecto como parte de un Trabajo de Fin de Grado, los costes de ingeniería han sido nulos.

2.1. Función estructural y mecánica

Cód.	Componente	Medición	Precio	Importe
1.1	Perfil cuadrado hueco de acero, $e = 3\text{mm}$	1	0.00	0.00
1.2	Pletina de acero	1	0.00	0.00
1.3	Tablero de contrachapado	1	0.00	0.00
1.4	Perfil redondo hueco de acero, $D = 34\text{ mm}$, $d = 26\text{ mm}$	1	45.00	45.00
1.5	Perfil redondo macizo de acero, $D = 25\text{ mm}$	1	49.50	49.50
1.6	Reducción tubería hembra 1" a hembra 1/2"	1	14.99	14.99
1.7	Tapón tubería macho 1/2"	1	5.12	5.12
1.8	Chapa de acero	1	0.00	0.00
1.9	Perfil redondo hueco de cuproa- luminio, $D = 26\text{ mm}$, $d = 22$	1	0.00	0.00
1.10	Pletina de acero	1	0.00	0.00
1.11	Molde para inyección	1	50	50
1.12	Pintura en spray	2	4.75	14.25
1.13	Rollo 1 kg filamento PETG pa- ra impresión 3D	1	22.50	22.50
1.14	Pintura en spray	1	4.75	4.75
1.15	Panel de metacrilato	2	0.00	0.00
1.16	Panel de metacrilato	2	0.00	0.00

Cód.	Componente	Medición	Precio	Importe
1.17	Panel de metacrilato	2	0.00	0.00
1.18	Panel de metacrilato	4	0.00	0.00
1.19	Tornillo de cabeza hexagonal zincado DIN 933 M10 x 80 mm	1	0.71	0.71
1.20	Arandela plana ancha zincada DIN 9021 M10	2	0.13	0.26
1.21	Tuerca de seguridad zincada DIN 985 M10	1	0.10	0.10
1.22	Tornillo de cabeza hexagonal zincado DIN 933 M8 x 120 mm	4	0.92	3.68
1.23	Tornillo de cabeza hexagonal zincado DIN 933 M8 x 80 mm	2	0.29	0.58
1.24	Tornillo de cabeza hexagonal zincado DIN 933 M8 x 60 mm	4	0.17	0.68
1.25	Arandela plana ancha zincada DIN 9021 M8	20	0.04	0.80
1.26	Tuerca zincada DIN 934 M8	8	0.03	0.24
1.27	Tuerca de seguridad zincada DIN 985 M8	2	0.05	0.10
1.28	Tornillo de cabeza hexagonal zincado DIN 933 M6 x 20 mm	40	0.06	2.40
1.29	Arandela plana ancha zincada DIN 9021 M6	80	0.04	3.2
1.30	Tuerca zincada DIN 934 M6	40	0.02	0.80
1.31	Tornillo de cabeza hexagonal zincado DIN 933 M4 x 12 mm	4	0.05	0.20
1.32	Arandela plana ancha zincada DIN 9021 M4	4	0.02	0.08
1.33	Tuerca zincada DIN 934 M4	4	0.01	0.04
TOTAL FUNCIÓN 01				219.89

2.2. Función electrónica

Cód.	Componente	Medición	Precio	Importe
2.1	Cable de alimentación + toma móvil	1	0.00	0.00
2.2	Cableado electrónica	1	0.00	0.00
2.3	Módulo de relés de estado sólido	1	9.90	9.90
2.4	Placa de prototipado perforada	1	0.00	0.00
2.5	Chip ESP32 38 pines	1	9.99	9.99
2.6	Estaño para soldar	1	0.00	0.00
2.7	Tira de conector pin hembra PCB 8 pines	2	0.00	0.00
2.8	Tira de conector pin hembra 20 pines	1	0.00	0.00
2.9	Amplificador MAX31865	4	1.84	7.36
2.10	Sensor PT100	4	1.59	6.36
2.11	Fuente de alimentación 5 V	1	0.00	0.00
2.12	Cable USB mini 3.0	1	0.00	0.00
2.13	Resistencia de banda 275 W	4	25.37	101.48
2.14	Interruptor	1	0.00	0.00
2.15	Pantalla Nextion NX4827T043	1	42.64	42.64
TOTAL FUNCIÓN 02				177.73

3. Presupuesto general

Código	Función	Importe	Porcentaje
01	Estructural y mecánica	219.89	55.3 %
02	Electrónica	177.73	44.7 %
TOTAL PRESUPUESTO		397.62	100 %

PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	397.62 €
13 % Gastos Generales	51.69 €
6 % Beneficio Industrial	23.86 €
PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA	473.17 €
21 % I.V.A.	99.37 €
PRESUPUESTO FINAL CON I.V.A.	572.54 €

Asciende el presupuesto proyectado, a la expresada cantidad de:

**QUINIENTOS SETENTA Y DOS EUROS CON CINCUENTA Y CUATRO
CÉNTIMOS.**

Se añade a continuación una estimación del coste de ingeniería, que incluye tanto investigación como desarrollo del prototipo. Para ello, se ha tomado el sueldo medio de un ingeniero recién egresado en España, y se han considerado un total de 500 horas dedicadas a estos trabajos.

PRESUPUESTO FINAL CON I.V.A.	572.54 €
COSTE DE INGENIERÍA (13.43 €/hora, 500 horas)	6.716.15 €
PRESUPUESTO FINAL	7288.69 €

Asciende el presupuesto proyectado, a la expresada cantidad de:

**SIETE MIL DOSCIENTOS OCHENTA Y OCHO EUROS CON SESENTA
Y NUEVE CÉNTIMOS.**

