



# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño de un sistema de refrigeración líquida AIO (All-In-One) para ordenador de sobremesa

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

AUTOR/A: Moreno Domingo, Pablo

Tutor/a: Aleixos Borrás, María Nuria

Cotutor/a: Albert Gil, Francisco Eugenio

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE  
REFRIGERACIÓN LÍQUIDA AIO  
(ALL-IN-ONE) PARA ORDENADOR DE  
SOBREMESA**

AUTOR: Pablo Moreno Domingo

TUTOR: María Nuria Aleixos Borrás

COTUTOR: Francisco Eugenio Albert Gil

Curso Académico: 2021-22



# RESUMEN

Los sistemas de refrigeración líquida *All-In-One* para ordenadores de sobremesa han visto una gran popularización en la última década, propiciando la aparición en el mercado de cientos de modelos distintos. El objetivo de este TFM es diseñar uno de estos sistemas. Para ello, primero se hará la definición del producto, estudiándose los distintos sistemas de refrigeración, su funcionamiento, estándares de la industria, etc. A continuación, se hará un estudio de mercado para definir los requisitos de diseño, analizando modelos relevantes de diversos fabricantes y haciendo un benchmarking. Posteriormente, se pasará al diseño conceptual, proponiendo distintas alternativas y evaluándolas según el grado de cumplimiento de los requisitos establecidos. Una vez seleccionada la mejor alternativa se pasará al diseño de detalle. Incluirá distintos puntos, destacando el modelado mediante CAD 3D, realización de los planos de las piezas, diseño de los moldes de las piezas de plástico, cálculo de la potencia de la bomba, diseño del sistema de montaje, justificación del tamaño del radiador, ventiladores y materiales. Finalmente, se analizará la viabilidad técnica y económica del proyecto a partir de un presupuesto.

**Palabras Clave:** Diseño; Prototipo virtual; Computador; Refrigeración líquida.

# RESUM

Els sistemes de refrigeració líquida *All-In-One* per a ordinadors de sobretaula han vist una gran popularització a l'última dècada, i han propiciat l'aparició al mercat de centenars de models diferents. L'objectiu d'aquest TFM és dissenyar un d'estos sistemes. Per això, primer es farà la definició del producte, estudiant-se els diferents sistemes de refrigeració, el seu funcionament, estàndards de la indústria, etc. Tot seguit, es farà un estudi de mercat per definir els requisits de disseny, analitzant models rellevants de diversos fabricants i fent un benchmarking. Posteriorment, es passarà al disseny conceptual, proposant diferents alternatives iavaluant-les segons el grau de compliment dels requisits establits. Una vegada seleccionada la millor alternativa es passarà al disseny de detall. Inclourà diferents punts, destacant el modelatge mitjançant CAD 3D, realització dels plànols de les peces, disseny dels motles de les peces de plàstic, càcul de la potència de la bomba, disseny del sistema de muntatge, justificació de la mida del radiador, ventiladors i materials. Finalment, s'analitzarà la viabilitat tècnica i econòmica del projecte a partir d'un pressupost.

**Paraules clau:** Disseny; Prototip virtual; Refrigeració líquida .

# ABSTRACT

Desktop computer's water cooling systems have seen an important increase on their popularity in the last decade. As a consequence, hundreds of new different models have reached the market. The objective of this master's thesis is to design one of these systems. In order to accomplish it, a product definition will be done first studying the different cooling systems, their inner working, the industries' standards, etc. Next, a market study will be done in order to define the design's requirements, analyzing different manufacturers relevant models and benchmarking them. Then, conceptual design stage will be reached, developing different designs and evaluating them according to the accomplishment level of the defined objectives and requirements. Once the best design alternative has been selected the project will move to the next design stage. The detail design will be done by modeling the system with 3D CAD, developing the parts' blueprints, designing plastic components' molds, calculating the pump's power, designing the mounting mechanism and justifying the size of the radiator, the fans and the different component's materials. Lastly, technical and economic viability of the project will be analyzed with the help of a budget estimation.

**Keywords:** Design; Virtual prototype; Computer; Water cooling.

# ÍNDICE

## Documento I: Memoria

### **Capítulo 1: Introducción**

1.1. Marco Global .....	1
1.2. Motivación.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.4. Estructura.....	3

### **Capítulo 2: Marco teórico**

2.1. Fundamentos de los sistemas de refrigeración líquida All-In-One. ....	5
2.2. Radiadores .....	7
2.3. Ventiladores .....	10
2.4. Bombas .....	12
2.5. Bloques de CPU. ....	14
2.6. Racores y conductos.....	15
2.7. Líquido refrigerante.....	16
2.8. Estándares y plataformas. ....	16

### **Capítulo 3: Estudio de mercado**

3.1. Metodología.....	19
3.2. Resultados.....	21
3.2.1. Tamaño del radiador.....	21
3.2.2 Bomba.....	23
3.2.3 Ventiladores .....	24
3.2.4. Materiales.....	27
3.2.5. Estética.....	27
3.2.6. Precio .....	29
3.2.7 Rendimiento .....	30
3.2.8 Otros aspectos a considerar.....	32
3.3. Requisitos finales .....	33

### **Capítulo 4: Diseño conceptual**

4.1. Análisis de los requisitos. ....	34
4.2 Propuesta de alternativas de diseño.....	38
4.2.1 Radiador. Concepto 1: Radiador con depósito lateral. ....	38

4.2.2 Radiador. Concepto 2: Radiador en L .....	39
4.2.3 Radiador. Concepto 3: Radiadores en serie .....	40
4.2.4 Radiador. Diseño final: Radiadores en serie con indicador de flujo.....	42
4.2.3 Diseño del bloque.....	44
4.3 Resultados del diseño conceptual.....	46
<b>Capítulo 5: Diseño de detalle</b>	
5.1 Selección de la bomba.....	48
5.2 Diseño del bloque de agua.....	56
5.2.1 Intercambiador de calor .....	56
5.2.2 Difusor .....	59
5.2.3 Cuerpo del bloque .....	60
5.2.4 Juntas de estanqueidad.....	66
5.2.5 Ensamblaje del bloque de agua .....	67
5.2.6 Sistema de montaje.....	68
5.3 Prototipado del bloque.....	74
5.3.1 Tapa superior.....	74
5.3.2 Cámara bomba .....	74
5.3.3 Cámara inferior .....	75
5.3.4 Tapa inferior.....	75
5.3.5 Difusor .....	75
5.3.6 Intercambiador de calor .....	76
5.3.7 Montaje .....	76
5.4 Diseño del indicador de caudal .....	78
5.5 Selección de radiadores y ventiladores.....	81
5.6 Selección de tubos y racorería .....	84
5.7 Composición del fluido y aditivos. ....	87
5.8 Ensamblaje del conjunto y listado de componentes.....	91
5.9 Diseño de moldes de inyección.....	94
5.10 Presentación visual del producto.....	100
<b>Capítulo 6: Viabilidad técnica y económica</b>	
<b>Capítulo 7: Conclusiones, mejoras y futuros trabajos</b>	
7.1 Conclusiones.....	104
7.2 Mejoras y futuros trabajos. ....	105
Bibliografía.....	1056

## Documento II: Presupuesto

1. Introducción.....	115
2. Cuadro de precios básicos .....	115
3. Cuadro de precios descompuestos .....	116
4. Cuadro de precios unitarios .....	119
5. Presupuesto de inversión .....	121

## Documento III: Planos

Plano 1: Ensamblaje bloque CPU .....	125
Plano 2: Tapa superior .....	126
Plano 3: Tapa inferior.....	127
Plano 4: Difusor.....	128
Plano 5: Cámara bomba .....	129
Plano 6: Cámara inferior .....	130
Plano 7: Intercambiador de calor .....	131
Plano 8: Junta de estanqueidad 1 .....	132
Plano 9: Junta de estanqueidad 2 .....	133
Plano 10: Junta de estanqueidad 3 .....	134
Plano 11: Junta de estanqueidad 4 .....	135
Plano 12: Junta de estanqueidad 5 .....	136
Plano 13: Junta de estanqueidad 6 .....	137
Plano 14: Amarre General.....	138
Plano 15: Amarre AM4.....	139
Plano 16: Amarre LGA1700.....	140
Plano 17: Ensamblaje Indicador de Flujo.....	141
Plano 18: Soporte.....	142
Plano 19: Base .....	143
Plano 20: Rotor .....	144
Plano 21: Acrílico .....	145
Plano 22: Junta tórica.....	146
Plano 23: Ensamblaje sistema conjunto .....	147

## Anexos

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Histórico envíos ordenadores de sobremesa (1) .....	1
Figura 2: Esquema sistema AIO (4).....	5
Figura 3: Asetek 545LC (2010) (5).....	6
Figura 4: Corsair iCUE H100i Elite (2022) (6) .....	6
Figura 5: Canales radiador (7).....	7
Figura 6: Aletas metálicas radiador (8) .....	7
Figura 7: Radiador estándar de doble pasada (7).....	7
Figura 8: Ejemplo AIO de diversos tamaños (10) .....	8
Figura 9: Ejemplo grosores radiador (8) .....	9
Figura 10: Radiador de 18 y 8 FPI (7) .....	9
Figura 11: Ejemplo ventiladores de 120 y 240 mm. ....	10
Figura 12: Conector de ordenador de 3/4 pines .....	10
Figura 13: Configuraciones ventilador (14) .....	11
Figura 14: Bomba centrífuga (16).....	12
Figura 15: Curvas características H-Q genéricas .....	12
Figura 16: Intercambiador de calor de cobre (18).....	14
Figura 17: Representación contacto superficies IHS y disipador (18) .....	14
Figura 18: Medidas tubos (19).....	15
Figura 19: Racores (20).....	15
Figura 20: Esquema sistema montaje estándar AM5 (29).....	18
Figura 21: Captura página web PCComponentes.com.....	20
Figura 22: Distribución tamaño radiador .....	21
Figura 23: Distribución tamaño radiador - Top 10 .....	22
Figura 24: gráfica precio/tamaño radiador .....	23
Figura 25: Potencia bomba/Tipo AIO.....	23
Figura 26: Caudal de aire/Precio .....	25
Figura 27: Presión de aire/Precio .....	25
Figura 28: Presión de aire/Velocidad .....	26
Figura 29: Sonoridad/Velocidad.....	26
Figura 30: Cooler Master Masterliquid lite 120 (31) .....	27
Figura 31: Corsair iCUE H100i Elite Capellix (32).....	27
Figura 32: Estética/Precio .....	28

Figura 33: Corsair iCUE H150i Elite LCD Display (33) .....	28
Figura 34: Posición en ventas/Precio .....	29
Figura 35: Modelos por rango de precio .....	30
Figura 36: Benchmark temperaturas AIO normalizado a 40dB (34) .....	31
Figura 37: Casa de la calidad.....	35
Figura 38: Diseño conceptual 1 .....	38
Figura 39: Diseño conceptual 2 .....	39
Figura 40: Diseño conceptual 3 .....	40
Figura 41: Sistema participante competición Thermaltake CaseMod 2016 (36).....	41
Figura 42: Diseño conceptual final .....	42
Figura 43: Diseño conceptual indicador de flujo .....	43
Figura 44: Zonas a evitar cubrir placa base .....	44
Figura 45: Diseño conceptual bloque de agua .....	45
Figura 46: Curva característica teórica bomba .....	49
Figura 47: Caudal vs temperatura (39).....	49
Figura 48: Extracto especificaciones técnicas bomba.....	50
Figura 49: Curva característica bomba.....	51
Figura 50: Pérdida presión bloque CPU (37) .....	52
Figura 51: Pérdida presión radiador 120 (38).....	52
Figura 52: Pérdida presión radiador 240 (39) .....	53
Figura 53: Curva característica y punto de funcionamiento .....	55
Figura 54: DC-LT 2600 Ultra low noise ceramic (44).....	55
Figura 55: Entrada/salida intercambiador calor (14).....	56
Figura 56: micro aletas/micro pines (40).....	57
Figura 57: Modelo intercambiador de calor .....	57
Figura 58: Catálogo herramientas fresadora.....	58
Figura 59: Modelo difusor.....	59
Figura 60: Modelo intercambiador de calor y difusor.....	60
Figura 61: Modelo bloque .....	61
Figura 62: Modelo tapa superior.....	61
Figura 63: Vista seccionada Tapa superior.....	62
Figura 64: Modelo cámara bomba .....	62
Figura 65: Vista seccionada cámara bomba .....	63
Figura 66: Modelo bomba .....	63

Figura 67: Modelo cámara inferior .....	64
Figura 68: Esquema recorrido fluido .....	64
Figura 69: Modelo tapa inferior.....	65
Figura 70: Esquema recorrido fluido frío.....	65
Figura 71: Esquema recorrido fluido caliente.....	66
Figura 72: Catálogo juntas tóricas (43) .....	67
Figura 73: Alojamiento juntas de sellado.....	67
Figura 74: Despiece bloque CPU.....	68
Figura 75: Hendiduras modelo cámara inferior .....	69
Figura 76: Modelo amarre general.....	69
Figura 77: Sistema acople amarre general.....	69
Figura 78: Modelo montaje AM4 .....	70
Figura 79: Secuencia de montaje .....	71
Figura 80: Juego entre amarres .....	72
Figura 81: Backplate AM4 .....	72
Figura 82: Amarre LGA1700 .....	72
Figura 83: <i>Backplate</i> LGA1700 de vendedor externo.....	73
Figura 84: Prototipo tapa superior .....	74
Figura 85: Prototipo cámara bomba.....	74
Figura 86: Prototipo cámara inferior.....	75
Figura 87: Prototipo tapa inferior .....	75
Figura 88: Prototipo difusor .....	75
Figura 89: Prototipo intercambiador de calor .....	76
Figura 90: Montaje del prototipo .....	77
Figura 91: Modelo Base indicador de flujo .....	78
Figura 92: Modelo ventana acrílica .....	79
Figura 93: Modelo rotor .....	79
Figura 94: Modelo amarre indicador de flujo.....	80
Figura 95: Ensamblaje indicador de flujo .....	80
Figura 96: Rendimiento radiador espesor/superficie (19) .....	81
Figura 97: Especificaciones ventilador .....	83
Figura 98: Planos racores .....	86
Figura 99: Ensamblaje sistema conjunto.....	92
Figura 100: Moldes tapa superior .....	94

Figura 101: Moldes cámara bomba.....	95
Figura 102: Moldes cámara inferior.....	96
Figura 103: Moldes difusor .....	97
Figura 104: Molde tapa inferior.....	98
Figura 105: Moldes Base indicador de flujo.....	99
Figura 106: Renders del producto en una escena.....	101

Nota: Las figuras sin referenciar son de elaboración propia.

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen parámetros habituales radiadores .....	9
Tabla 2: Plataformas Intel .....	17
Tabla 3: Plataformas AMD .....	17
Tabla 4: Parámetros ventiladores.....	24
Tabla 5: Resumen temperaturas/Tamaño radiador .....	32
Tabla 6: Requisitos finales .....	33
Tabla 7: Especificaciones de diseño .....	36
Tabla 8: Ventajas/Desventajas Concepto 1 .....	38
Tabla 9: Ventajas/Desventajas Concepto 2 .....	40
Tabla 10: Ventajas/Desventajas Concepto 3 .....	41
Tabla 11: Ventajas/Desventajas Concepto Final .....	43
Tabla 12: Resumen cumplimiento requisitos .....	47
Tabla 13: Ventajas/Desventajas materiales .....	59
Tabla 14: Tornillería bloque .....	66
Tabla 15: Tabla resumen componentes .....	73
Tabla 16: Resumen componentes indicador de flujo .....	80
Tabla 17: Radiadores seleccionados .....	82
Tabla 18: Modelo ventilador seleccionado.....	83
Tabla 19: Tubo seleccionado.....	84
Tabla 20: Racores seleccionados .....	85
Tabla 21: Agua destilada seleccionada .....	87
Tabla 22: Super coolant seleccionado.....	88
Tabla 23: Anticongelante seleccionado.....	88
Tabla 24: Puntos de congelación concentración agua/glicol [55].....	89
Tabla 25: Selección biocida.....	89
Tabla 26: Resumen composición líquido refrigerante .....	90
Tabla 27: Listado de piezas del sistema .....	93



# **DOCUMENTO I:**

# **MEMORIA**

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este primer capítulo es proporcionar el contexto necesario para comprender la finalidad del presente Trabajo de Final de Máster. Para conseguirlo se va a describir, primeramente, el marco global en que se ubica el proyecto. A continuación, se tratarán brevemente las motivaciones que han llevado a desarrollar este trabajo. Finalmente, se establecerán los objetivos principales que se desean alcanzar con el presente trabajo y se describirá la estructura básica que se va a seguir en el mismo.

## 1.1. Marco Global

La popularización y generalización del uso de ordenadores de sobremesa que se ha dado desde los años 90, para fines tanto profesionales como domésticos, ha resultado, como consecuencia, en un gran crecimiento del mercado de ordenadores y, por consiguiente, del de sus componentes [1]. Es este mercado, el de componentes, el que conviene comentar para introducir el contenido del trabajo.

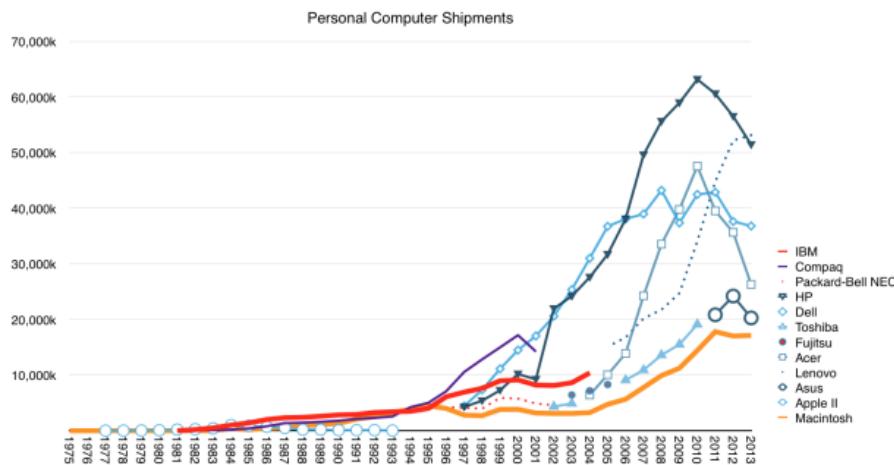


Figura 1: Histórico envíos ordenadores de sobremesa [1]

Se trata de un mercado muy cambiante debido a la rápida evolución de la tecnología y la frecuente aparición de nuevos productos. Además, cuenta con varias tipologías de clientes. Por un lado, grandes ensambladores, como Dell o HP, que cuentan con la capacidad de incluso fabricar sus propios componentes según sus necesidades, habitualmente por medio de un OEM (*Original Equipment Manufacturer*) [2]. Por el otro lado, se tienen pequeños ensambladores y usuarios particulares que, por lo general, sólo tienen acceso al mercado minorista de componentes electrónicos.

Fueron estos usuarios particulares quienes, a partir de los 90, comenzaron a emplear los primeros sistemas de refrigeración líquida *custom* en sus ordenadores de sobremesa. Estos sistemas se caracterizaban por emplear un fluido, movido por una bomba, con el que conseguir mejores capacidades de enfriamiento de sus ordenadores. Con ello, alcanzaban mejores temperaturas, lo que les permitía mejorar el rendimiento de sus sistemas. Al principio, los usuarios readaptaban elementos de otros componentes, como bombas de peceras, radiadores de automóviles, etc.

No fue hasta los años 2000 que comenzó a aparecer un pequeño mercado con fabricantes de elementos para sistemas de refrigeración líquida específicos para ordenador. No obstante, estos sistemas estaban relegados a los conocidos como usuarios “entusiastas”, debido a su rareza, elevado precio y necesidades de montaje y mantenimiento.

Es por ello que este mercado continuó evolucionando para facilitar el acceso al mismo a todo tipo de usuarios. Con la aparición de los primeros sistemas de refrigeración líquida *All-In-One* en el año 2006 [3] se ha visto una gran popularización de estos productos para ordenadores de sobremesa, ya no estando restringido a un pequeño mercado de entusiastas. Estos productos tienen un buen rendimiento a un coste muy inferior a los de sistemas *custom*, siendo además más fáciles de instalar y prácticamente libres de mantenimiento. De esta popularización ha resultado la aparición de cientos de modelos distintos de kits de refrigeración líquida que compiten con los sistemas de enfriamiento tradicionales del mercado.

## 1.2. Motivación

La fuerte popularización de los sistemas de refrigeración líquida para ordenadores de sobremesa de la última década ha hecho que sea un mercado muy interesante para el que desarrollar productos. Esto se aprecia claramente observando la gran diversidad de fabricantes y productos presentes en el mercado. Además, a medio plazo no se prevé que se den cambios que causen problemas a este sector.

A esto, se le añade, además, el interés personal del autor del trabajo en el hardware y la tecnología, motivando el desarrollo de este proyecto con el que se pretende diseñar un sistema de refrigeración líquida que satisfaga correctamente las necesidades de los usuarios.

## 1.3. Objetivos

El objetivo principal a alcanzar con este Trabajo de Final de Máster es el diseño de un sistema de refrigeración líquida AIO para ordenador de sobremesa. Con este fin, se han establecido una serie de objetivos secundarios:

- Estudio de los aspectos fundamentales del funcionamiento y aplicación de los distintos sistemas de refrigeración en ordenadores de sobremesa.
- Desarrollo de un estudio de mercado analizando y comparando modelos representativos de refrigeraciones líquidas de diversos fabricantes.
- Definición, mediante el estudio de mercado, de los requisitos de diseño a cubrir con el producto propuesto.
- Realización del diseño conceptual del producto. Evaluación de alternativas y selección final.
- Realización del diseño de detalle. Modelado mediante el programa *Autodesk Inventor* de las piezas y ensamblajes, realización de los planos de detalle, cálculo y justificación de los distintos componentes.
- Análisis de la viabilidad técnica y económica del proyecto. Presupuesto.

## 1.4. Estructura

Para la mejor estructuración del escrito, el presente Trabajo de Final de Máster se ha dividido en tres documentos principales: Memoria, Planos y Presupuesto. Se han adjuntado, además, una serie de anexos. En la parte actual, la memoria, se describe el TFM, desde su planteamiento y objetivos hasta los resultados y conclusiones del diseño del producto. A su vez, este documento se ha dividido en siete capítulos:

- Capítulo 1: Introducción. En él se describe el marco global donde se encuadra el proyecto, la motivación para el desarrollo del proyecto. También se fijan los objetivos generales a alcanzar con el documento.
- Capítulo 2: Marco teórico. El objetivo de este capítulo es describir la información y teoría necesaria para la correcta comprensión del conjunto del documento. Se tratarán los distintos sistemas de refrigeración para componentes de ordenador, su funcionamiento, aplicaciones, los estándares industriales relevantes, etc.
- Capítulo 3: Estudio de mercado. El propósito de este capítulo es obtener una serie de requisitos de diseño para el sistema AIO por medio de un estudio en el que se analicen los modelos de este producto de distintos fabricantes presentes en el mercado.
- Capítulo 4: Diseño conceptual. Se propondrán ideas y diseños surgidos a partir de los requisitos establecidos en capítulos anteriores. Una vez detallados estos primeros diseños, se determinará a partir de ellos un diseño final que llevar a la fase de diseño de detalle.
- Capítulo 5: Diseño de detalle. Se definirán las distintas partes que componen el producto y se justificará el cálculo de los distintos parámetros, además de escoger los componentes que deban comprarse a terceros. También se especificará la composición del fluido de refrigeración.
- Capítulo 6: Viabilidad técnica y económica. Se tratará el funcionamiento y competitividad del producto en el mercado, tanto a nivel funcional como económico a través del presupuesto realizado.
- Capítulo 7: Conclusiones. Se listarán los logros alcanzados en el proyecto, así como el nivel de realización de los objetivos establecidos inicialmente. Se comentarán los problemas encontrados durante el desarrollo del trabajo y se establecerán posibles futuros trabajos a realizar de partir de este.



## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se va a desarrollar la teoría necesaria para comprender adecuadamente los capítulos siguientes del trabajo. En primer lugar, se hará una introducción al funcionamiento general de los sistemas de refrigeración líquida. A continuación, se describirán en detalle los elementos principales que los conforman: radiadores, ventiladores, bombas, bloques de CPU, racores y conductos. Finalmente, se comentarán los estándares relevantes para el trabajo y las plataformas actuales.

### 2.1. Fundamentos de los sistemas de refrigeración líquida All-In-One.

Un sistema de refrigeración líquida AIO (*All-In-One*) es un circuito cerrado herméticamente compuesto por un bloque de agua, colocado sobre el procesador; una bomba, que impulsa el fluido refrigerante; y un radiador, que enfriá el fluido transfiriendo energía al medio, generalmente de forma activa con la ayuda de ventiladores. Para conectar los distintos elementos se emplean tubos flexibles y racores. Todos estos elementos se van a ir describiendo en mayor detalle en los siguientes apartados. Se muestra, a continuación, un esquema básico del sistema descrito [4]:

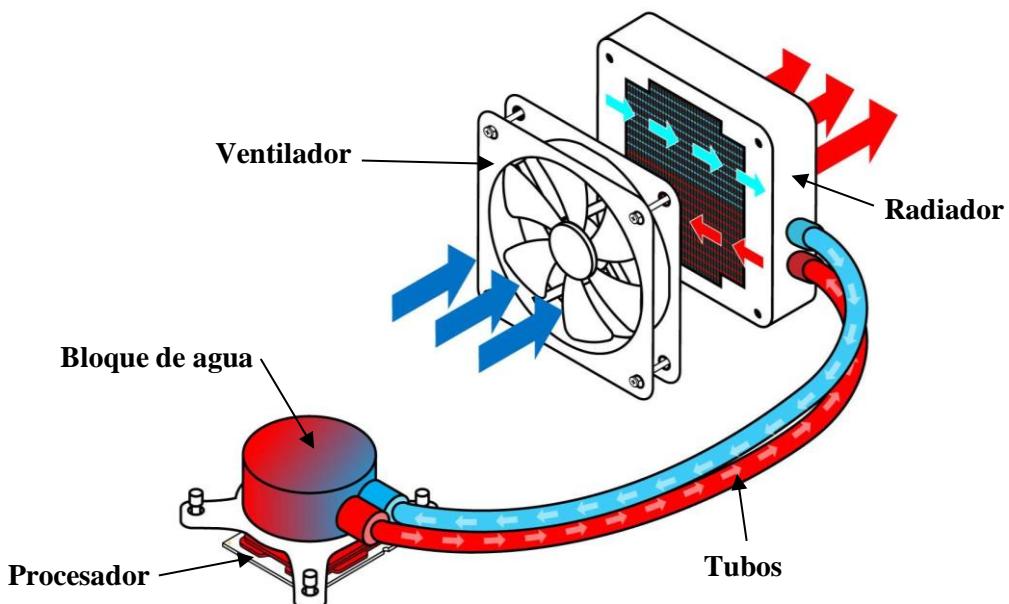


Figura 2: Esquema sistema AIO [4]

En la actualidad, la mayoría de sistemas AIO del mercado incorporan la bomba dentro del bloque de agua.

En términos generales, la mayor diferencia entre los distintos sistemas de refrigeración líquida de circuito cerrado a la venta radica en el tamaño del radiador, que es directamente proporcional a la capacidad de refrigeración. Los fabricantes también tratan de destacar en otros aspectos, como el estético, pero el funcionamiento fundamental descrito de estos sistemas no varía de un modelo a otro.

Esto se va a tratar de ilustrar mediante el siguiente ejemplo, donde se incluyen imágenes de un sistema AIO básico del año 2010 [5] y un sistema AIO moderno [6]:



Figura 3: Asetek 545LC (2010) [5]



Figura 4: Corsair iCUE H100i Elite (2022) [6]

Como se puede ver, pese a los cambios estéticos que se muestran entre los dos modelos, separados por más de una década, los componentes fundamentales que conforman ambos sistemas son los mismos. En los siguientes apartados se entrará en mayor detalle en cada uno de estos componentes.

## 2.2. Radiadores.

Los radiadores son los encargados de transferir el calor del fluido refrigerante al medio. Para ello, el fluido circula por el interior del radiador a través de una serie de tubos o canales [7]. Estos canales están en contacto, por el exterior, con una formación de aletas metálicas corrugadas [8]. Estas aletas sirven para aumentar la superficie para la transferencia de energía térmica con el aire mediante convección forzada:



Figura 5: Canales radiador [7]

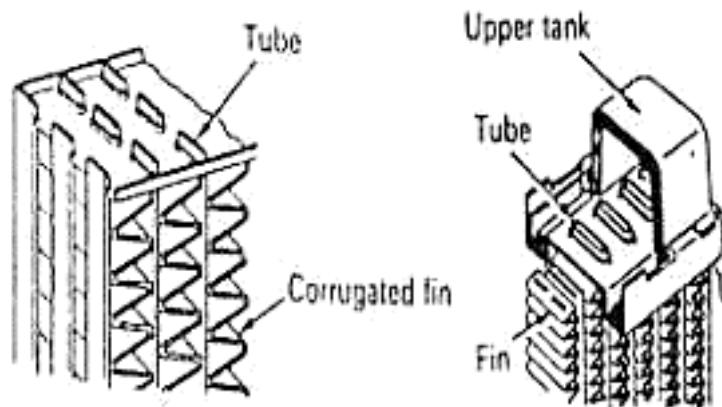


Figura 6: Aletas metálicas radiador [8]

Habitualmente los radiadores emplean una configuración de doble pasada, por lo que la entrada y salida de los tubos se encuentra en el mismo lateral:



Figura 7: Radiador estándar de doble pasada [7]

En cuanto a los parámetros que caracterizan estos radiadores, los principales son: el material, el tamaño, el espesor y la densidad de aletas.

Los materiales más usados para las aletas y canales en radiadores son el cobre y el aluminio, por su alta relación entre conductividad térmica y coste. Pese a que en la carcasa pueden verse otros materiales, como latón o plástico, estos no afectan al rendimiento. En términos de rendimiento, el cobre es mejor conductor de calor que el aluminio, por lo que ofrecen un mejor rendimiento a igualdad de condiciones. Por el contrario, los radiadores de aluminio ofrecen un menor peso y costes. Por estos motivos, la mayoría de fabricantes de sistemas AIO emplean radiadores de aluminio. Además, en la práctica la diferencia de rendimiento entre ambos materiales no es muy elevada y puede suplirse incrementando otros parámetros, como la densidad de aletas [9].

En cuanto al tamaño, existen ciertas dimensiones que se han convertido en estándar. Todas surgen de los tamaños de ventilador, también estandarizados, más comunes en los ordenadores de sobremesa, 12 cm y 14 cm. Es por ello que los radiadores más comunes son los de 120, 240 y 360 mm, para los que usan 1, 2 y 3 ventiladores de 12 cm respectivamente, y de 140 y 280 mm, para los que emplean ventiladores 1 o 2 ventiladores de 14 cm. Pese a que existen otros tamaños de ventilador estándar, su uso en radiadores es más limitado. La superficie de radiador es el factor que más peso tiene sobre su rendimiento.



Figura 8: Ejemplo AIO de diversos tamaños [10]

La otra dimensión relevante es el espesor. Por lo general, los radiadores usados en sistemas AIO tienen un espesor entre los 25 y los 30 mm. Existen, aun así, radiadores de más de 60 mm de espesor para sistemas especializados. Un mayor espesor resulta en un mejor rendimiento sacrificando compatibilidad y requiriendo de ventiladores de mayor potencia por el incremento de resistencia al paso del aire que supone.



Figura 9: Ejemplo grosores radiador [8]

Por último, la densidad de aletas mide la cantidad de aletas en una determinada superficie. Usualmente se utiliza la notación en inglés *Fins Per Inch* o FPI para medirla [11]. Al igual que con el espesor del radiador, debe buscarse un compromiso entre un mejor rendimiento térmico y el impedimento al flujo del aire, que obliga a emplear ventiladores de mayor presión estática. Se muestran, a continuación, dos radiadores con densidades de aletas de 18 y 8 FPI [7]:

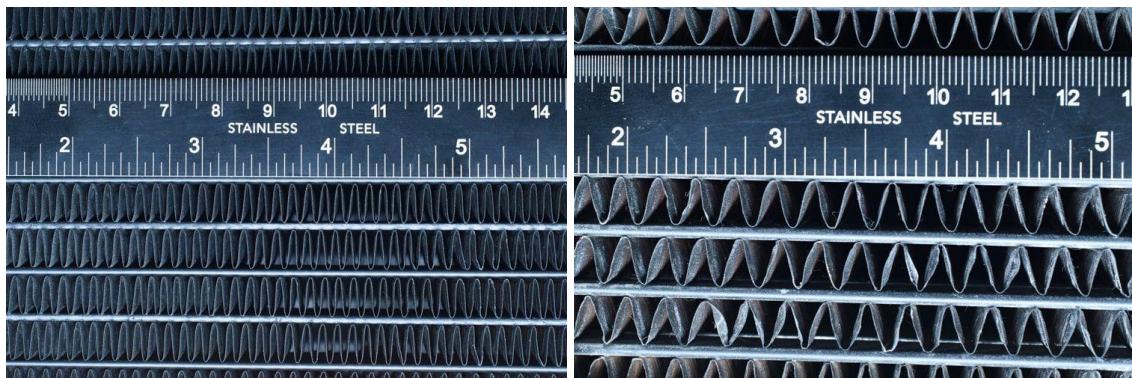


Figura 10: Radiador de 18 y 8 FPI [7]

Se adjunta, finalmente, una tabla resumen de los parámetros tratados que caracterizan los radiadores:

Parámetro	Material	Superficie		Espesor	Densidad de aletas
		Ventiladores 120 mm	Ventiladores 140 mm		
Rango	Cobre/Aluminio	120/240/360	140/280	25-60 mm	5-30 FPI

Tabla 1: Resumen parámetros habituales radiadores

## 2.3. Ventiladores

Los ventiladores empleados en ordenadores de sobremesa son máquinas de fluido que generan una determinada ventilación activa sobre el sistema mediante una serie de aspas rotativas. En los ordenadores de sobremesa, los ventiladores incorporan un motor DC en su propia estructura.

Aunque existe gran variación de modelos de ventilador, la mayoría se adaptan a los tamaños estándar de 40, 60, 80, 92, 120, 140 y 200 mm, siendo los de 120 y 140 mm los más comunes de encontrar en chasis y radiadores actuales. Todas las medidas se refieren a las dimensiones exteriores del ventilador.



Figura 11: Ejemplo ventiladores de 120 y 240 mm.

Salvo en aplicaciones de servidores o sistemas muy antiguos, los conectores de ventilador empleados en las placas base suministran 12 V, por lo que este es el valor máximo con el que trabajan los ventiladores comerciales. Pese a que estos conectores están preparados para suministrar hasta 1 A, los ventiladores suelen operar en el rango de los 0,2-0,3 A, permitiendo por tanto conectar más de un ventilador a una misma toma.

En la actualidad, los ventiladores emplean conectores de 3 o 4 pines. Los de 4 pines están preparados para funcionar en modo PWM (*Pulse Width Modulation*) [12], mientras que los de 3 únicamente pueden ser ajustados alterando el voltaje que se les suministra.

<b>Pin</b>	<b>Función</b>
1	Tierra
2	+12V DC
3	Señal tacómetro
4	Control PWM (Opcional)

 A close-up photograph of a person's hand holding a black plastic 4-pin Molex-style power connector. The connector has four pins labeled 1, 2, 3, and 4 from left to right. The pin for ground (Tierra) is labeled '1' and the +12V DC pin is labeled '2'. The other two pins, 3 and 4, are grouped together and labeled '3 4'. The connector is being held between the thumb and forefinger.

Figura 12: Conector de ordenador de 3/4 pines

En cuanto a la tecnología empleada en los motores que accionan el ventilador, en la actualidad todos los modelos emplean motores de corriente continua sin escobillas (*brushless DC*).

Otro aspecto característico de los ventiladores es el tipo de rodamientos que emplean. [13] Los más comunes en la actualidad son:

- *Sleeve bearings*: en español cojinetes lisos o de desplazamiento. Son los más comunes por su relación coste/rendimiento. Pueden tener una vida más corta en caso de emplearse en posición horizontal debido al sistema de lubricación que emplean.
- *Ball bearing*: o rodamientos de bolas, tienen una vida útil mayor y no tienen problemas por la orientación de montaje. Pese a que son más fiables, también suelen ser algo más caros y ruidosos.
- *Magnetic Levitation Bearings*: o cojinetes de levitación magnética, emplean esta tecnología para evitar rozamientos y ruidos. Por ello son los más silenciosos y fiables, a costa de ser los más caros.

En lo referente a los parámetros que determinan el rendimiento de un ventilador, los más relevantes son los siguientes:

- Velocidad máxima de giro: medida en rpm o revoluciones por minuto. Es directamente proporcional al resto de parámetros.
- Flujo de aire máximo: en CFM (*Cubic Feet per Minute*). Indica el caudal de aire que el ventilador es capaz de trasegar.
- Presión estática: en mmH<sub>2</sub>O. Indica la presión que puede darle al aire que trasiega. Es inversamente proporcional al flujo de aire, es decir, a mayor presión debo entregarse menor caudal suministrará y viceversa. Es por ello que para aplicaciones en radiadores de refrigeración líquida de elevado espesor y densidad de aletas deberán emplearse ventiladores capaces de suministrar suficiente presión como para que exista un adecuado caudal de aire.
- Sonoridad máxima: en dB. Depende principalmente de la velocidad de giro del ventilador y el tipo de rodamientos que equipe.

Por último, ya aplicado a los radiadores de refrigeración líquida, existen diferentes configuraciones de montaje de los ventiladores en función del número de ventiladores y su posición respecto al radiador.

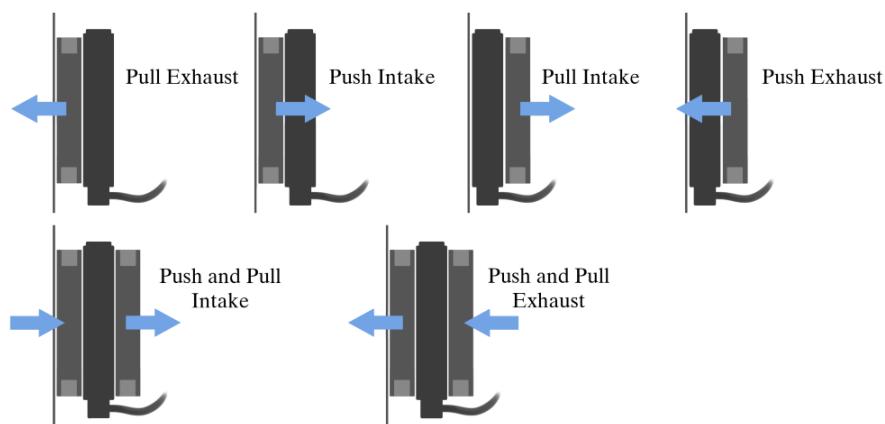


Figura 13: Configuraciones ventilador [14]

Pese a que existe cierta variabilidad de los resultados en función de las características del radiador y ventilador, las diferencias entre configuración de un ventilador en posición *push* o *pull* son mínimas. La configuración de doble ventilador en posición *push-pull* ofrece una mejora

de rendimiento frente a un solo ventilador, aunque esta ventaja es más relevante empleando radiadores de alto espesor o densidad de aletas [15].

## 2.4. Bombas

La bomba, de tipo centrífugo, es una máquina hidráulica que transforma la energía mecánica que recibe el rotor en energía cinética o de presión para el fluido trasegado. En el caso de las bombas empleadas en sistemas de refrigeración líquida AIO estas bombas suelen ir integradas en el bloque de CPU, por lo que deben tener unas dimensiones reducidas. Además, también están limitadas al uso de 12V de corriente continua suministrado por los conectores de ventilador de las placas base. Es por ello que este tipo de bombas suelen ofrecer potencias en el rango de los 2 a 5 W.

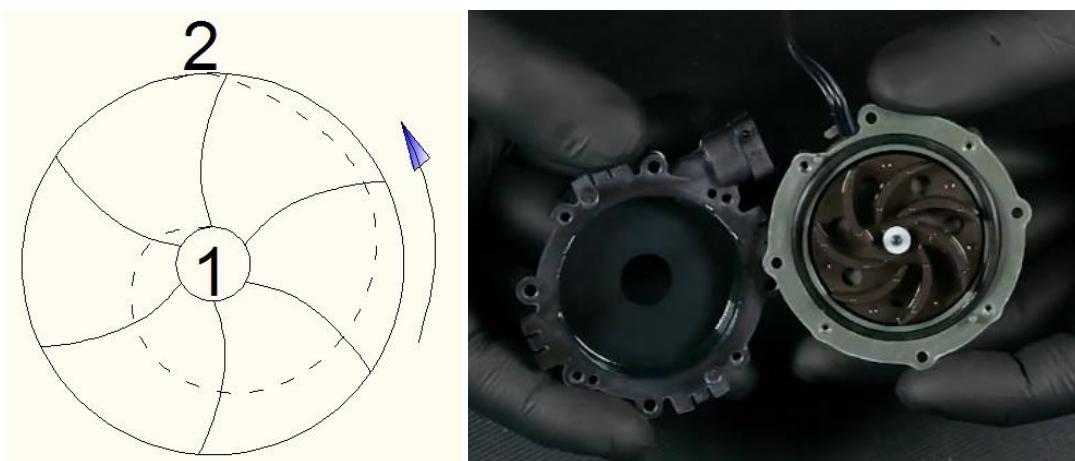


Figura 14: Bomba centrífuga [16]

En cuanto a los parámetros a considerar a la hora de seleccionar una bomba para un sistema AIO, lo óptimo sería conocer la curva característica de la bomba. Esta gráfica relaciona la presión y el caudal suministrados por la bomba.

Para emplear la curva deberá conocerse igualmente la curva del sistema, es decir, las pérdidas de presión del circuito de refrigeración líquida, que también dependerán del caudal. De esta forma, se podrá encontrar el punto de funcionamiento de la bomba en dicho sistema:

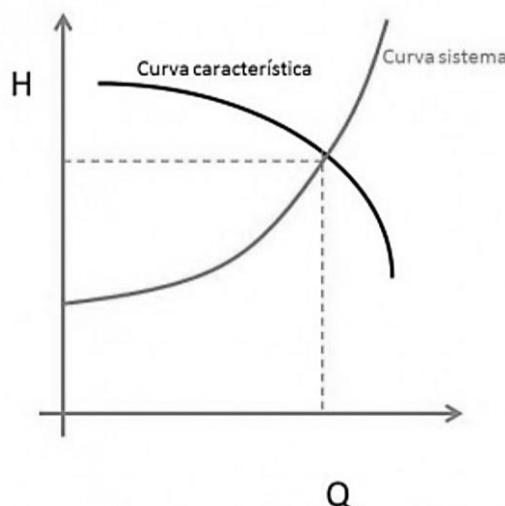


Figura 15: Curvas características H-Q genéricas

Mientras la curva característica de la bomba deberá ser información suministrada por el fabricante para el modelo de la bomba concreto, la curva del sistema deberá calcularse para el circuito de refrigeración líquida diseñado.

Para calcular las pérdidas del circuito en las tuberías en función del caudal se usará la ecuación de Darcy-Weisbach [17]. Asumiendo régimen turbulento y dada la geometría circular de los tubos de una refrigeración líquida, la expresión es la siguiente:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{u^2}{2g} \quad (1)$$

Donde  $L$  es la longitud del tubo,  $D$  su diámetro,  $u$  la velocidad del fluido y  $g$  la fuerza gravitatoria. Nótese que  $u$  será función del caudal del circuito  $Q$ :

$$u = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot D^2 / 4} \quad (2)$$

Por último,  $f$  es el factor de fricción adimensional de Darcy, cuyo valor para régimen turbulento se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$f = \frac{0.25}{[\log_{10} \left( \frac{k/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)]^2} \quad (3)$$

Donde  $k$  es la rugosidad absoluta del material y  $Re$  es el número de Reynolds. Para fluidos que circulan por tuberías circulares y llenas, como es el caso, el número de Reynolds se obtiene de la expresión siguiente:

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \quad (4)$$

Donde  $\rho$  es la densidad del fluido y  $\mu$  su viscosidad dinámica.

Como se puede observar, el sistema de ecuaciones resultante debe ser resuelto de forma iterativa.

En cuanto a otras pérdidas localizadas del sistema, como el paso por el bloque de CPU o por el radiador, deberían ser obtenidas experimentalmente o estimadas a partir de información de otros sistemas con condiciones similares.

Una vez obtenida la curva del sistema, podrá emplearse para determinar el la presión y caudal que suministraría una determinada bomba bajo dichas condiciones. Con ello, podrá decidirse la aptitud de dicho modelo de bomba para el circuito.

En cuanto a la ubicación de la bomba, en los sistemas AIO se integra dentro del bloque de CPU debido a que, montando el radiador en la parte superior del sistema, es la posición más baja del circuito. Esto evita posibles problemas de cebado de la bomba en caso de pérdida paulatina de fluido, así como también reduce ruidos por acumulación de burbujas en los puntos más elevados del circuito. Con ello, se alarga el tiempo de vida de la bomba y, por ende, de todo el sistema de refrigeración líquida. Otro punto positivo es que, al montarse dentro del bloque, se limitan posibles vibraciones que sí se darían, por ejemplo, colocándola en contacto con el radiador metálico.

## 2.5. Bloques de CPU.

El bloque de CPU o bloque de agua, del término en inglés *waterblock*, es el elemento encargado de sustraer el calor del procesador. Para ello, canaliza el fluido a través de un intercambiador de calor, una placa metálica con, generalmente, micro aletas para aumentar la superficie de transferencia. Además, generalmente los bloques de agua de sistemas AIO incorporan también la bomba del circuito.

Más allá del diseño exterior de la carcasa del bloque de CPU, generalmente realizado en plástico, el elemento que va a determinar el buen rendimiento del sistema es el intercambiador de calor. Esta placa, generalmente de cobre para maximizar su rendimiento, aunque también se puede encontrar en aluminio, emplea diversos sistemas para maximizar su superficie de transferencia.

En primer lugar, el extremo en contacto con el CPU debe tener la máxima planitud y el menor número de imperfecciones posibles para maximizar el contacto con el IHS (*Integrated Heat Spreader*) del procesador. Para ello, en ocasiones se les da una forma ligeramente convexa en el proceso de fabricación para asegurar el buen contacto de la zona central, en la que se genera mayor cantidad de calor [18].



Figura 16: Intercambiador de calor de cobre [18]

Además, para maximizar la capacidad de transferencia y minimizar el efecto de las micro deformidades de los elementos en contacto, el intercambiador de calor y el IHS del procesador, se emplea de forma generalizada pasta térmica. Este material, con una conductividad alrededor de los 5 W/mK, se introduce entre las grietas de ambos materiales y evita que las bolsas de aire dificulten la transferencia de calor.

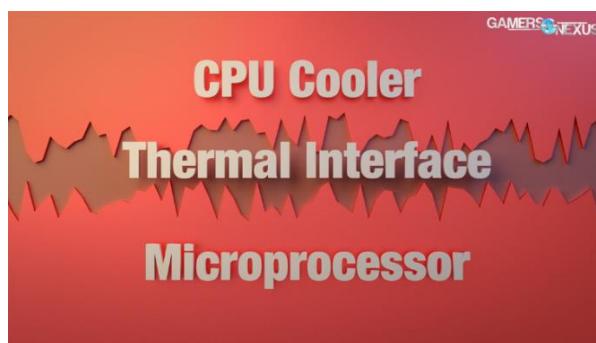


Figura 17: Representación contacto superficies IHS y disipador [18]

En el otro extremo se tiene la zona en contacto con el líquido. En ella se tendrán una serie de micro aletas o micro pines que maximicen la superficie de metal en contacto con el fluido, que será el encargado de extraer este calor y transportarlo hasta el radiador.

## 2.6. Racores y conductos.

Los tubos del circuito de refrigeración líquida son los elementos por lo que circula el fluido conectando los diversos componentes del sistema. Pese a que en sistemas de refrigeración líquida customizados puedan encontrarse tubos rígidos de PETG o similares, en los sistemas AIO deben emplearse tuberías flexibles para permitir al sistema adaptarse a cualquier ordenador de sobremesa, además de facilitar en gran medida el montaje.

El otro aspecto importante de los conductos son las dimensiones. Generalmente, los fabricantes proporcionan el diámetro interior y exterior, empleando notación imperial en pulgadas [19].

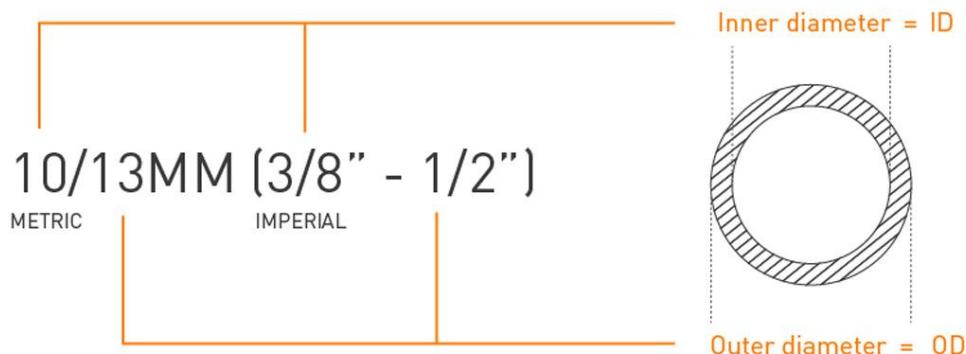


Figura 18: Medidas tubos [19]

Medidas comunes van en el rango de 8-12 mm de diámetro interior y 12-18 mm de diámetro exterior. Debe destacarse que un mayor grosor de las paredes del tubo es positivo para evitar problemas de pinzamientos en las tuberías.

En cuanto a los materiales de las tuberías flexibles, habitualmente se fabrican en PVC o EPDM. Igualmente, se fabrica en colores opacos o transparentes. [20]

En cuanto a los racores, o *compression fittings* en inglés, son específicos para tubos flexibles y rígidos. Además, deben corresponderse con el diámetro exterior e interior del tubo empleado. Se fabrican en diversos materiales, como acero, aluminio o latón.



Figura 19: Racores [20]

Por último, el otro extremo del racor, que se enrosca en el bloque de agua o el radiador, emplea una rosca del sistema imperial de tipo G1/4". Pese a que existen otras medidas, están prácticamente en desuso y se ha estandarizado el uso de esta rosca.

## 2.7. Líquido refrigerante.

La mayoría de fluidos empleados en sistemas de refrigeración líquida AIO están basados, por lo general, en una solución de agua destilada, por su alta capacidad de transferencia de calor unido a su baja conductividad eléctrica y ausencia de microorganismos. Al agua destilada se le suelen añadir una serie de aditivos para mejorar sus características, como anticongelantes y biocidas.

También es habitual emplear tintes para colorear el agua en los circuitos de refrigeración líquida con tubos transparentes ya que permite cierto grado de customización al usuario.

## 2.8. Estándares y plataformas.

Por último, conviene hacer un breve repaso de los estándares de la industria a seguir y de las plataformas pasadas y actuales.

En cuanto a los estándares, se va a seguir el estándar para plataformas de escritorio de Intel en cuanto a sistemas de alimentación [21] y la especificación ATX versión 2.2 [22], también promovida por Intel. En estas especificaciones se definen las dimensiones estándar de placas tipo ATX, así como su distribución y dimensiones derivadas para ventilación y las conexiones estandarizadas de las placas base.

Antes de avanzar a las plataformas, conviene comentar la existencia de diversas patentes [23] [24] del fabricante *Asetek* aplicadas a la fabricación de refrigeraciones líquidas AIO con la bomba integrada en el bloque. Estas patentes han producido cierta polémica en este ámbito debido a ser demasiado restrictivas y genéricas. Tal es el punto que ha habido grandes casos de infracción de estas patentes en Estados Unidos por compañías de gran tamaño como *Cooler Master* [25]. No obstante, estas patentes parecen no tener validez en los mercados europeos y asiático [26] [27]. En todo caso, para el desarrollo de este trabajo no se van a tener en cuenta estos aspectos legales.

En cuanto a las plataformas del mercado, se va a incluir a continuación una tabla resumen con los distintos *sockets* recientes para escritorio de los dos grandes fabricantes de procesadores del mercado, AMD e Intel. Los *sockets*, o zócalos en español, son la interfaz a través de la cual un procesador se conecta a una placa base. Se caracterizan principalmente por su número de pines. Los fabricantes cambian de *socket* cada cierto número de generaciones, creando una nueva plataforma. A menudo, estas plataformas tienen distintas dimensiones para el sistema de montaje y la altura del CPU, por lo que deben rediseñarse o adaptarse los sistemas de montaje de soluciones de refrigeración previos.

Plataformas Intel		
Socket	Número de pines	Año de introducción
LGA 775	775	2004
LGA 1366	1366	2008
LGA 1156	1156	2009
LGA 1155	1155	2011
LGA 2011	2011	2011
LGA 1150	1150	2013
LGA 1151	1151	2016
LGA 2066	2066	2017
LGA 1200	1200	2020
LGA 1700	2021	1700

Tabla 2: Plataformas Intel

Como se puede ver, la plataforma más actual es la LGA 1700, del año 2021. Debe destacarse que los procesadores LGA 1200 y LGA 115X tienen sistemas de montaje intercompatibles [28].

Plataformas AMD		
Socket	Número de pines	Año de introducción
AM2	940	2006
AM2+	940	2007
AM3	941	2009
FM1	905	2011
AM3+	942	2011
FM2	904	2012
FM2+	906	2014
AM4	1331	2016
TR4	4094	2017
AM5*	1718	2022*

Tabla 3: Plataformas AMD

La plataforma de sobremesa más actual es AM4, ya que TR4 es un *socket* de servidores y estaciones de trabajo, y AM5 es una plataforma que se ha anunciado que saldrá a finales de 2022. En todo caso, de acuerdo a la información disponible, los disipadores para *socket* AM4 serán directamente compatibles con el *socket* AM5 [29].

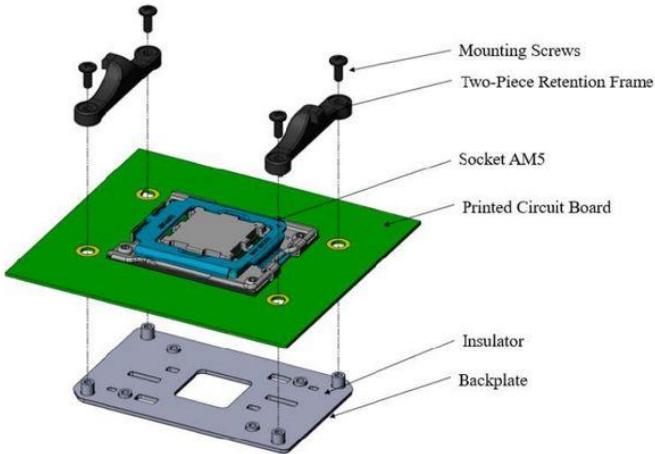


Figura 20: Esquema sistema montaje estándar AM5 [29]

En conclusión, será importante asegurar el soporte del producto para las últimas plataformas de los principales fabricantes, así como tener en cuenta los estándares de la industria relacionados con equipos de sobremesa para el diseño del producto.

Finalmente, aunque desgraciadamente no existe un estándar para definir la generación de calor o necesidades de disipación del mismo en la industria, sí que existe un concepto similar que conviene explicar. El TDP (*Thermal Design Power*) es una medida de la cantidad de calor, en vatios, generado por un microprocesador bajo condiciones normales de funcionamiento.

Pese a que es una medida empleada de forma generalizada en la industria, la metodología para su obtención no ha sido estandarizada. Es por ello que no pueden ser nunca comparados valores de TDP de distintos fabricantes ya que dos procesadores, uno de Intel y otro de AMD, con un mismo TDP de 100W, pueden tener durante su funcionamiento habitual grandes diferencias de generación de calor. Incluso dentro de un mismo fabricante, las distintas tecnologías de *turbo boost*, o incremento automático de las frecuencias, van a hacer que en un escenario de uso real no se cumplan las condiciones de funcionamiento en las que se ha establecido el TDP del producto. Por estas razones, no se considera una medida con utilidad real a nivel técnico, siendo más bien usada como un elemento más de *marketing* por los fabricantes. [30]

# CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE MERCADO

En este capítulo se va a realizar un pequeño estudio de mercado con el que enfocar el posterior proceso de diseño. Para ello, se van a analizar los modelos más relevantes de diversos fabricantes de este tipo de producto en el mercado y, a partir de ellos, extraer información importante a emplear en el diseño del sistema AIO. Esta información conformará, finalmente, los requisitos de diseño del producto, fundamentales para las posteriores fases del proyecto.

## 3.1. Metodología

Para obtener una muestra representativa y relevante de los modelos de refrigeración líquida AIO presentes actualmente en el mercado, se han buscado los modelos con mayores ventas del mercado. Esto permitiría obtener una lista con los modelos más relevantes ordenados por ventas, de donde se podría extraer importante información sobre las necesidades y gustos de los usuarios.

Esta información es difícilmente accesible ya que no está disponible de forma abierta en internet. Además, la mayoría de grandes comercios electrónicos que venden este tipo de productos, como Amazon.es, Coolmod.com o Wipoid.com ofrecen como único indicador de la cantidad de ventas un producto el número de comentarios o revisiones de los usuarios. Este parámetro, pese a estar correlacionado con el número de ventas, está viciado por diversas razones. Por ejemplo, existen promociones de fabricantes que premian dejar *reviews* por los propios usuarios, o productos que llevan mucho tiempo en el mercado y tienen una gran cantidad de comentarios acumulados pese a tener un nivel de ventas mensual/anual muy inferior a otros productos más nuevos.

Es por ello que finalmente se ha optado por extraer la información del portal PcComponentes.com. Ofrece una serie de ventajas frente al resto de alternativas: permite ordenar los artículos de en función de los *Más Vendidos*, aspecto que no permite el resto. Con ello se obtiene la información buscada sin edulcorar. Además, es el segundo *eCommerce* nacional del sector de comercio al por mayor de aparatos electrodomésticos más grande [31], muy por delante de las otras alternativas especializadas comentadas. Por ello, sus altos niveles de ventas deberían ofrecer una panorámica representativa de los productos más demandados por los usuarios. Es importante destacar que el objetivo aquí no es, de ninguna manera, realizar un estudio o informe sobre las ventas de los distintos modelos de refrigeración líquida, sino extraer los modelos más relevantes y representativos del mercado. Es por ello que no tiene mayor relevancia determinar la posición exacta en cuanto a ventas de cada modelo o fabricante, sino que se busca ofrecer una visión global de los modelos más notables.

Así, se extrajeron los datos de la sección Componentes>Ventilación>Refrigeración Líquida de la tienda PcComponentes.es, seleccionando el filtro de ordenar por *Más Vendidos*. Es importante destacar que se omitieron resultados patrocinados, ya que no forman parte de los artículos más vendidos. Se puede ver en la imagen siguiente cómo aparecen tres resultados patrocinados al inicio de la selección.

**Filtros populares:**

- Water Block, NZXT
- Socket AM4, Corsair
- Kit Refrigeración Líquida

**Precio:** 9€ - 14778€

**Marcas:**

- Corsair (54)
- NZXT (21)
- MSI (18)
- EKWB (191)

**Tipo Socket:**

- Buscar ...

**Productos:**

Imagen	Nombre	Precio	Calificación	Stock	Opciones
	MSI MAG CoreLiquid 360R V2 Kit de Refrigeración Líquida ARGB	132,99€	★★★★★ (12)	Recibelo el lunes 20 de junio	<input type="checkbox"/> Comparar
	Corsair Hydro H100x Kit de Refrigeración Líquida	99,99€	★★★★★ (1321)	Envío gratis Recibelo el lunes 20 de junio	<input type="checkbox"/> Comparar
	MSI MAG CoreLiquid 240R V2 Kit de Refrigeración Líquida ARGB	111,99€	★★★★★ (82)	Recibelo el lunes 20 de junio	<input type="checkbox"/> Comparar
	MSI MPG CORELIQUID K240 Kit Refrigeración Líquida	152,99€	★★★★★ (26)	Recibelo el lunes 20 de junio	<input type="checkbox"/> Comparar

Figura 21: Captura página web PCComponentes.com

Pese a utilizar PcComponentes para obtener el listado, la información técnica de cada modelo se ha extraído de la página web de los propios fabricantes. En cuanto a los parámetros a extraer, se ha optado por los siguientes:

- Tipo de radiador. Las opciones son limitadas, como se ha tratado en el marco teórico:
  - 120 mm.
  - 240 mm.
  - 280 mm.
  - 360 mm.
- Bomba: En un primer momento se buscó información sobre el caudal máximo o la presión máxima de cabeza capaz de proporcionar la bomba del sistema. No obstante, pronto se comprobó que ninguno de los fabricantes comprobados ofrecía esta información de forma abierta. Tampoco se daba información sobre el modelo específico de la bomba con la que poder buscar estos datos. Por tanto, se revisó la búsqueda, esta vez buscando un parámetro que sí listan la mayoría de fabricantes, la potencia de la bomba en vatios. Algunos ofrecen sólo la corriente, pero sabiendo que todos los modelos se conectan a la salida estándar de ventilador, con un voltaje de 12 V, se puede calcular fácilmente la potencia para estos casos como el producto del voltaje por la intensidad. Este parámetro ofrecerá sí un indicador general de las características de la bomba.
- Ventiladores: en cuanto a los ventiladores empleados por los distintos sistemas se extrajo información muy relevante para la posterior selección de un modelo comercial de este componente a incorporar al diseño. Por ello, se listó la información siguiente:
  - Velocidad máxima, en rpm.
  - Flujo máximo de aire, en CFM (*cubic feet per minute*).
  - Presión de aire, en mmH<sub>2</sub>O.
  - Presencia de regulación PWM.
  - Sonoridad máxima.

- Materiales: información sobre los materiales empleados en el radiador y en el *cold plate*.
- Estética: aquí se trataron de tener en cuenta diversos aspectos subjetivos de un nivel estético de los productos. Se tuvo en cuenta el diseño general, las posibilidades de customización, generalmente mediante el uso de LEDs y RGB, y los añadidos que, en definitiva, ofrecen una diferenciación o valor adicional al producto. Este conjunto de elementos, que como se ha comentado tan solo pueden valorarse de forma subjetiva, se puntuaron por el propio autor del trabajo, para cada producto, en un rango entre 0 y 5 puntos.
- Precio, en euros.

Así, se confeccionó una tabla con los 35 modelos más vendidos, listando toda la información extraída. Finalmente, debe destacarse que había modelos que aparecían dos veces en la tabla debido a que se venden en dos versiones, en color blanco y negro. Para no sobrerrepresentar sus características, tan sólo se tuvo en cuenta a la hora de extraer datos y graficar la primera aparición de dicho modelo, es decir, su aparición más alta en ventas. Tras suprimirlos de la lista, quedaron 31 modelos distintos. No obstante, sí se anotó si se daba este hecho, ya que significa que ofrece a los compradores mayores posibilidades de personalización, por lo que debe considerarse como positivo.

De esta manera, se completó la tabla del Anexo 1.

## 3.2. Resultados

A continuación, se van a comentar los resultados alcanzados.

### 3.2.1. Tamaño del radiador

En primer lugar, respecto al tamaño del radiador de los sistemas analizados, se ha notado una gran prevalencia de los sistemas de 240mm:

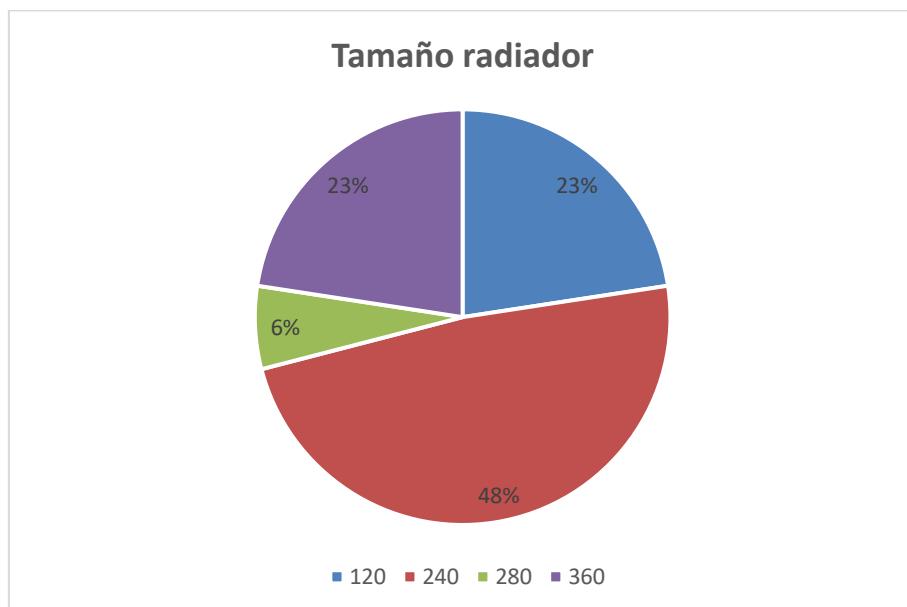


Figura 22: Distribución tamaño radiador

Como se puede ver, casi la mitad de modelos analizados emplean radiadores de 240 mm. Con menos de la mitad de porcentaje se tienen empatados los modelos de 120 y 360 mm, mientras que los de 280mm representan tan solo al 6% de modelos. Además, si restringimos la selección a los 10 primeros modelos más vendidos, la prevalencia de modelos de 240 mm crece hasta el 70%:

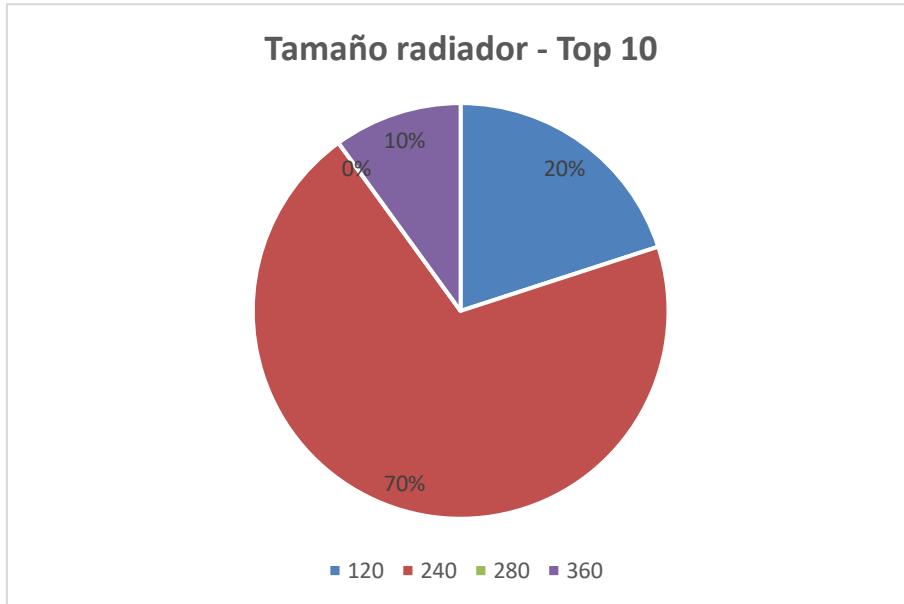


Figura 23: Distribución tamaño radiador - Top 10

Esta gran preferencia por los modelos de estas dimensiones se debería a la combinación de los siguientes hechos:

- Compatibilidad: la mayoría de cajas orientadas al mercado de los ordenadores de alto rendimiento/*gaming* son compatibles, al menos, con refrigeraciones líquidas de 240 mm en el panel superior. En el caso de los modelos de 280 y 360 mm la compatibilidad está más limitada, ya que se requieren cajas de mayor tamaño. Por tanto, los modelos de 240 mm presentan gran compatibilidad, tan sólo superados por los de 120 mm, que serían compatibles con cualquier caja con un ventilador trasero de 120 mm.
- Rendimiento: las refrigeraciones de estas dimensiones ofrecen un término medio de rendimiento entre las de 120 y las de 360 mm, que ofrecería una capacidad de enfriamiento suficiente para la mayoría de usuarios.
- Precio: el uso de una menor cantidad de material y un ventilador menos frente a los sistemas de 360 mm reduce en cierta medida los costes. Esto se puede comprobar fácilmente en la siguiente gráfica, con los precios medios, máximos y mínimos:

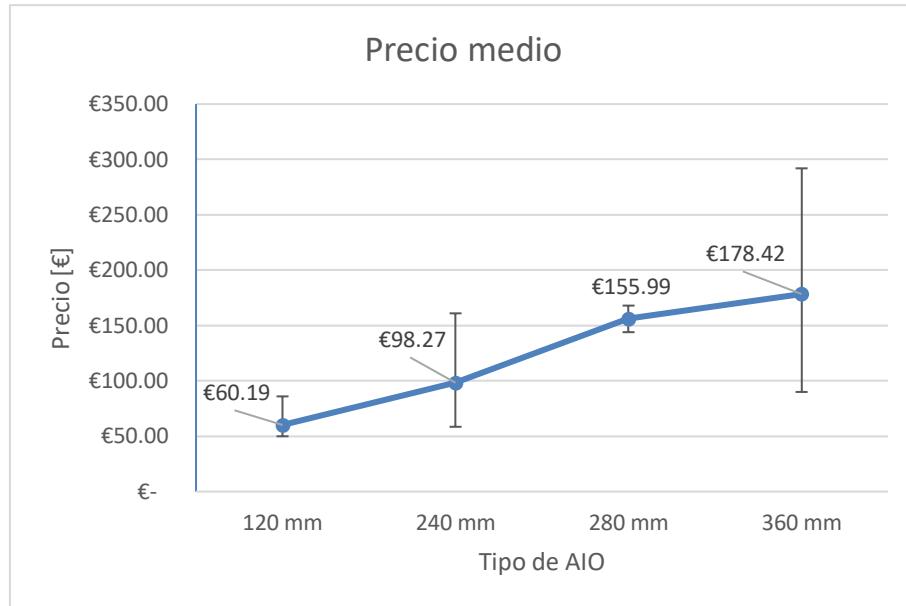


Figura 24: gráfica precio/tamaño radiador

Por ello, se establece el siguiente requisito de diseño:

1. Rendimiento igual o superior al de AIOs con radiadores de 240 mm.
2. Que el producto alcance la compatibilidad de radiadores de 240 mm.
3. Precio adecuado al segmento de AIO.

### 3.2.2 Bomba

En cuanto a la bomba, como se ha comentado, los fabricantes dan una cantidad de información bastante baja. Es por ello que, finalmente, tan solo se ha podido recopilar la información de potencia de la bomba de algunos modelos. Se ha visto que las bombas se mueven en un rango entre los 2.3 y los 4 W de potencia, con una media de 3.5 W. Como era de esperar, existe correlación entre la potencia de la bomba y el tamaño del radiador, pues este incrementa la resistencia que debe superar el fluido:

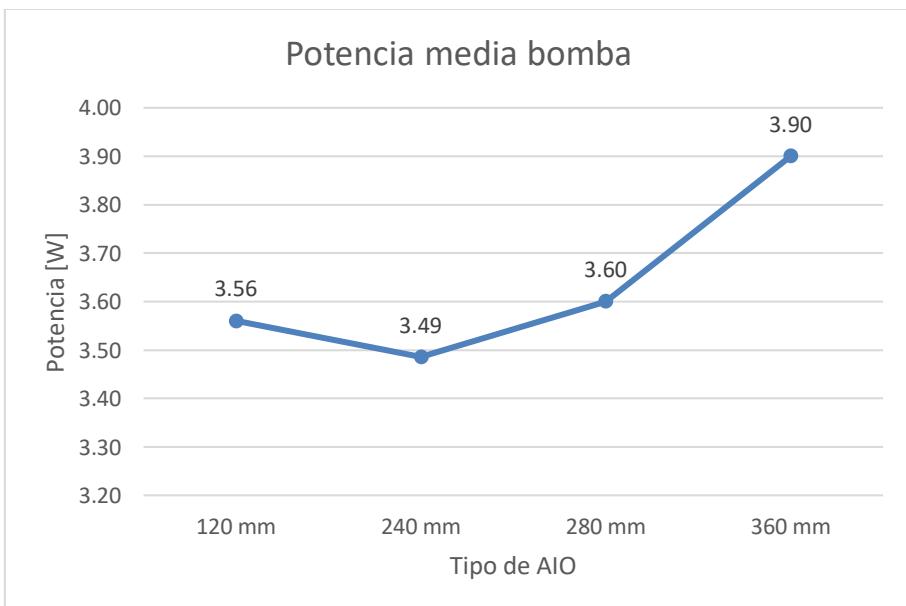


Figura 25: Potencia bomba/Tipo AIO

Se tendrán en cuenta, por tanto, estos valores a la hora de seleccionar una bomba para el producto:

4. Potencia adecuada de la bomba para el tipo de radiador empleado.

### 3.2.3 Ventiladores

En cuanto a los ventiladores, se han analizado una serie de parámetros que se detallarán a continuación. Los parámetros de estos no están relacionados con el tamaño del radiador, pero sí se verá una clara dependencia con el precio:

	<b>Velocidad máxima</b>	<b>Flujo aire máximo</b>	<b>Presión del aire</b>	<b>Sonoridad máxima</b>
	[rpm]	[CFM]	[mmH <sub>2</sub> O]	[dB]
<b>Media</b>	1957.47	67.79	2.46	32.94
<b>Desviación típica</b>	174.26	12.19	0.82	2.93
<b>Mediana</b>	2000	69.17	2.39	32
<b>Máximo</b>	2400	98.17	4.2	38
<b>Mínimo</b>	1700	47.2	1.5	27

Tabla 4: Parámetros ventiladores

Como se puede comprobar, los ventiladores alcanzan, de media, velocidades máximas de hasta 2000 rpm, siendo por tanto bastante más rápidos que los ventiladores estándar utilizados usualmente para cajas, que suelen moverse en el rango de las 1000-1500 rpm. Por ello mismo, son ventiladores que pueden llegar a ser relativamente ruidosos, alcanzando el modelo más ruidoso los 38 dB. Sería conveniente, en la medida de lo posible, minimizar este valor. Debe tenerse en cuenta que los diversos fabricantes no siguen un método estándar para testear la sonoridad de los ventiladores, por lo que, en este caso, los datos son orientativos.

Finalmente, mientras el flujo de aire máximo no es muy elevado respecto a los ventiladores comunes de chasis, sí lo es la presión estática que suministran. Esto es de gran relevancia a la hora de emplear ventiladores con radiadores, ya que deben vencer una resistencia adicional, las aletas del radiador, que los ventiladores comunes no tienen. Es por ello que la presión media de estos ventiladores se encuentra en los 2,5 mmH<sub>2</sub>O, frente a los valores habituales de 1,5 mmH<sub>2</sub>O encontrados en ventiladores convencionales de chasis.

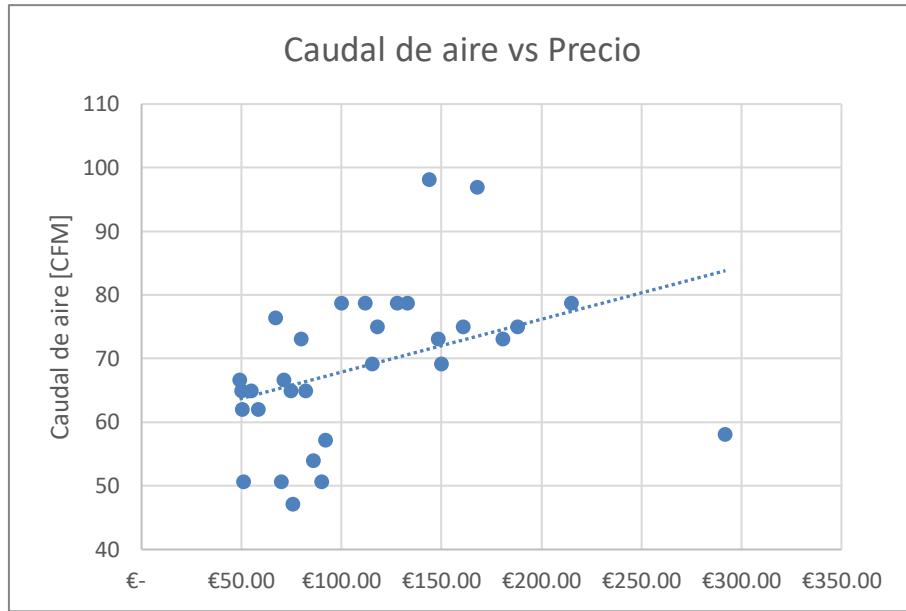


Figura 26: Caudal de aire/Precio

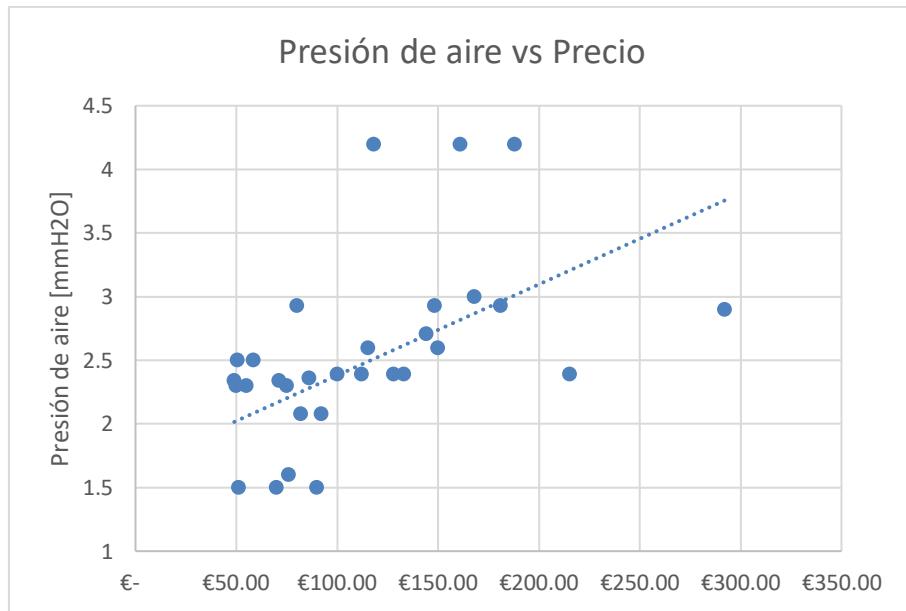


Figura 27: Presión de aire/Precio

En cuanto a la relación de los distintos parámetros respecto al precio, se ve como, en general, existe una cierta correlación tanto en la presión como el caudal trasegado por los ventiladores respecto al incremento del precio, especialmente hasta alcanzar los valores más elevados, en torno a los 150€. No obstante, la correlación es bastante baja, habiendo modelos que, por un precio menor, alcanzan valores similares a los de precios muy superiores. Por lo tanto, será importante buscar modelos competitivos.

Por último, conviene recordar la especial dependencia que tienen la presión del aire y la sonoridad con la velocidad del ventilador. Si bien la correlación encontrada vuelve a ser bastante pequeña, esto puede deberse a la disparidad de métodos empleados por los fabricantes para medir internamente la sonoridad de sus productos:

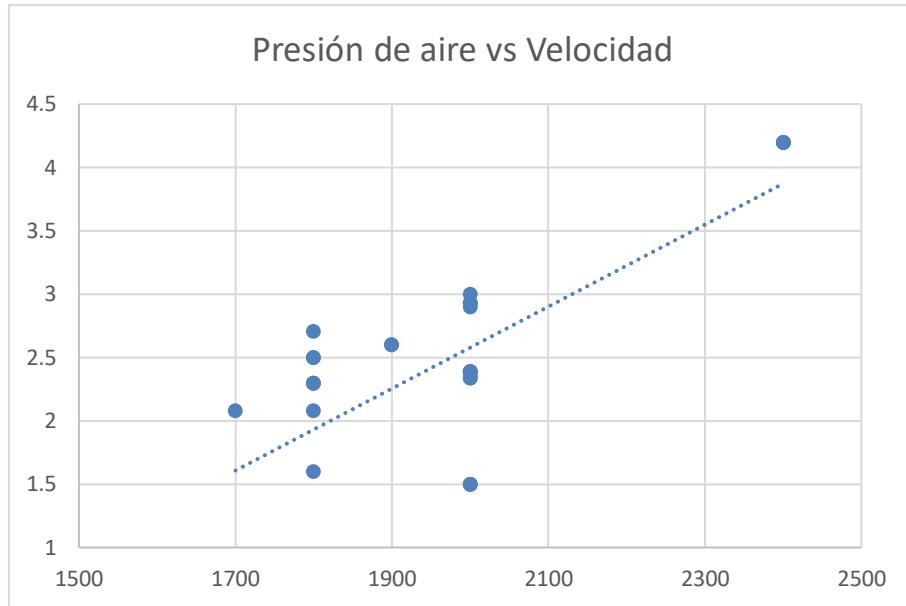


Figura 28: Presión de aire/Velocidad

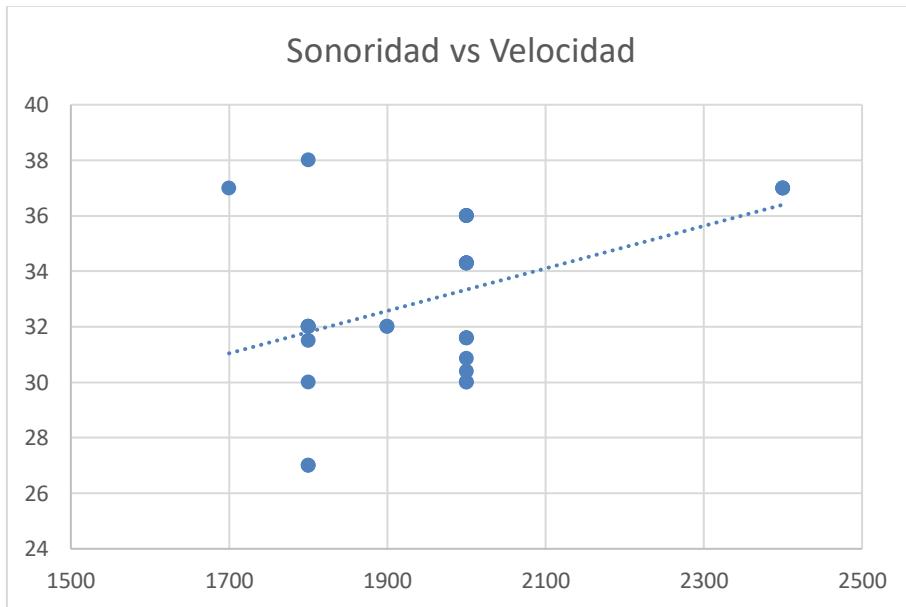


Figura 29: Sonoridad/Velocidad

Es por ello que conviene evitar, en la medida de lo posible, ventiladores de muy alta velocidad.

Finalmente, también se comprobó que todos los modelos analizados emplean ventiladores con control de tipo PWM, por lo que será importante que los ventiladores elegidos para el producto dispongan de esta función.

Por tanto, toda esta información se tendrá en cuenta a la hora de seleccionar los ventiladores para el producto, estableciéndose los siguientes requisitos de diseño:

5. Elevada presión estática de los ventiladores.
6. Minimizar la sonoridad máxima de los ventiladores.
7. Control de ventiladores PWM.

### 3.2.4. Materiales

Con respecto a los materiales, de nuevo se ha encontrado unanimidad en todos los modelos que ofrecían el dato. El radiador es de aluminio mientras que el *cold plate* es de cobre. Se tendrá en cuenta la información a la hora de definir los materiales de los componentes. No obstante, no se establecerán requisitos tan solo a partir de ellos pues se elegirán los materiales siguiendo parámetros técnicos.

### 3.2.5. Estética

En el apartado estética se han considerado diversos factores. Primeramente, la apariencia física del producto. Incluye diseño exterior, sensación de calidad, materiales, etc. Por ejemplo, en la siguiente figura se muestra uno de los modelos analizados, el Cooler Master Masterliquid lite 120, con unos acabados más básicos y un precio muy reducido de 49€:



Figura 30: Cooler Master Masterliquid lite 120 [32]

A continuación, se muestra, en contraposición, el modelo Corsair iCUE H100i ELITE CAPELLIX, con una estética y acabados más premium, pero a un precio mucho mayor, de 161€:



Figura 31: Corsair iCUE H100i Elite Capellix [33]

Se puede observar cómo mejora la estética del primer modelo en diversos aspectos. Por ejemplo, los tubos tienen un recubrimiento tipo nylon que mejoran su apariencia. El bloque tiene una apariencia más premium, con iluminación RGB incorporada a una cubierta transparente. También los ventiladores se ven de mayor calidad, empleándose aquí también iluminación RGB. Todos estos elementos aportan a la estética del producto, al mismo tiempo que encarecen su precio.

Otro aspecto tenido en cuenta son las posibilidades de customización por parte del usuario. Esto, se puede conseguir mediante diversos métodos, como ofreciendo diversas posibilidades de calor, permitiendo intercambiar alguna de las partes o, como se trata en la mayoría de casos, incluyendo iluminación RGB regulable por el usuario en alguna de sus partes (ventiladores o bloque, generalmente).

Esto se puede ver en la siguiente gráfica, que muestra la puntuación en el apartado estética de cada uno de los modelos estudiados en función de su precio:

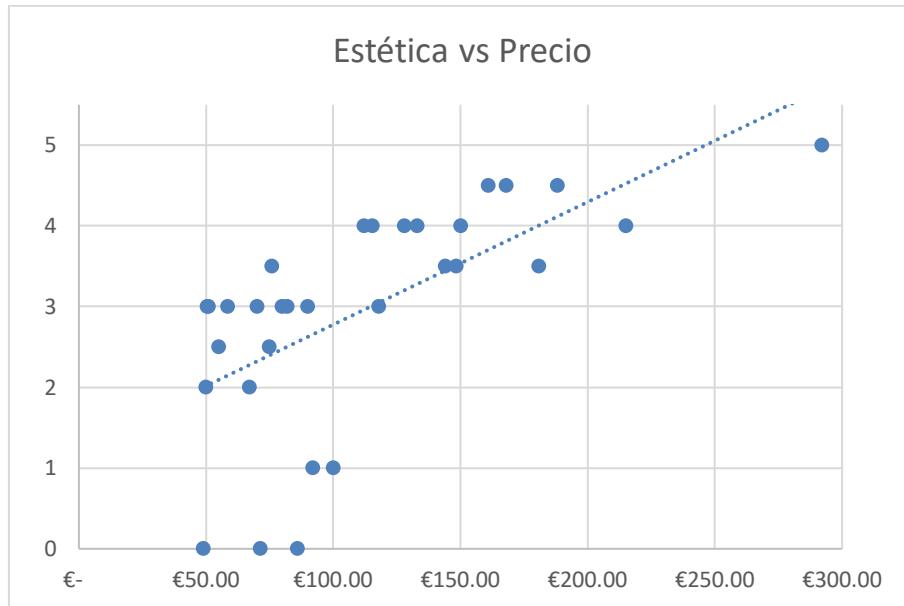


Figura 32: Estética/Precio

Como se puede ver, la puntuación en estética es directamente proporcional al precio. En el rango 50-100€ se tienen modelos entre los 0 y los 3,5 puntos. Se muestra, por tanto, que incluso en el rango más económico existe bastante competencia en cuanto al diseño estético del producto. Alrededor de los 150€ todos los modelos muestran una puntuación superior a 3 puntos, con algunos modelos ya alcanzando los 4,5 puntos. El único modelo al que se le ha asignado la puntuación máxima, el Corsair iCUE H150i ELITE LCD Display, tiene además de un gran diseño y posibilidades de customización mediante la iluminación RGB, una pantalla integrada en el bloque con la que poder monitorizar temperaturas y personalizarla al gusto del usuario. En consecuencia, este modelo tiene el precio más elevado, de 291,99€:



Figura 33: Corsair iCUE H150i Elite LCD Display [34]

En conclusión, se establecen los siguientes requisitos:

8. Ofrecer posibilidades de customización acordes al rango de precios en que se ubique.
9. Presentar un diseño, acabados y estética competitivos al rango de precios en que se ubique.

### 3.2.6. Precio

Ya se ha visto en diversos de los elementos estudiados previamente, su relación con el precio. Especialmente, es relevante el precio medio para cada tipo de refrigeración AIO (figura 24).

No obstante, faltará comprobar si existe alguna relación entre las ventas del sistema AIO con el precio. Así, se comprobará si los más vendidos son sistemas de una gama más alta, media o baja:

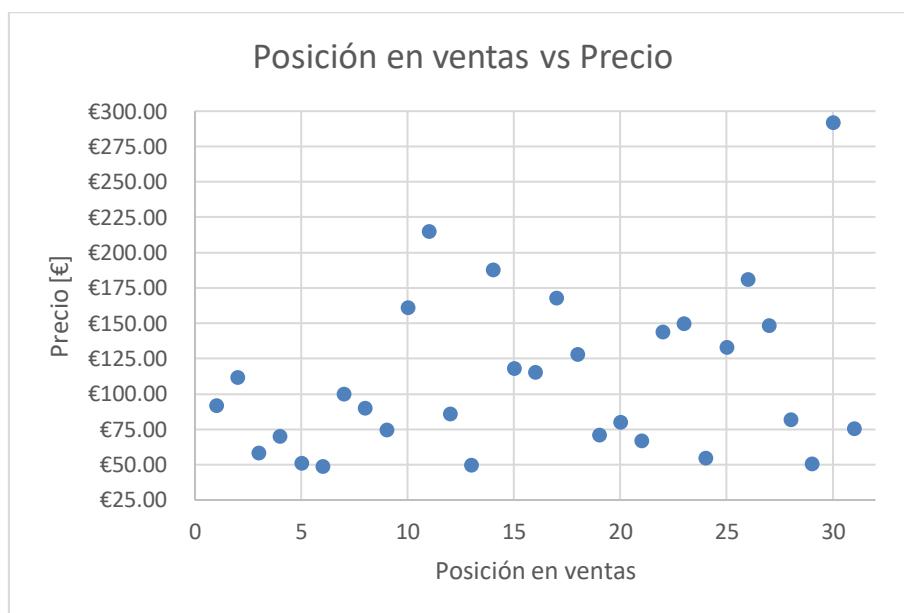


Figura 34: Posición en ventas/Precio

Se puede observar cómo existe bastante dispersión en cuanto a precios en todas las posiciones de ventas. No obstante, sí se ve una tendencia en las primeras posiciones de la lista de precios no muy altos, por debajo de los 100€. Los precios muy elevados, por encima de los 150€, no comienzan a verse hasta superar el top 10 de ventas.

Descomponiendo los precios en rangos, se ve la siguiente distribución:

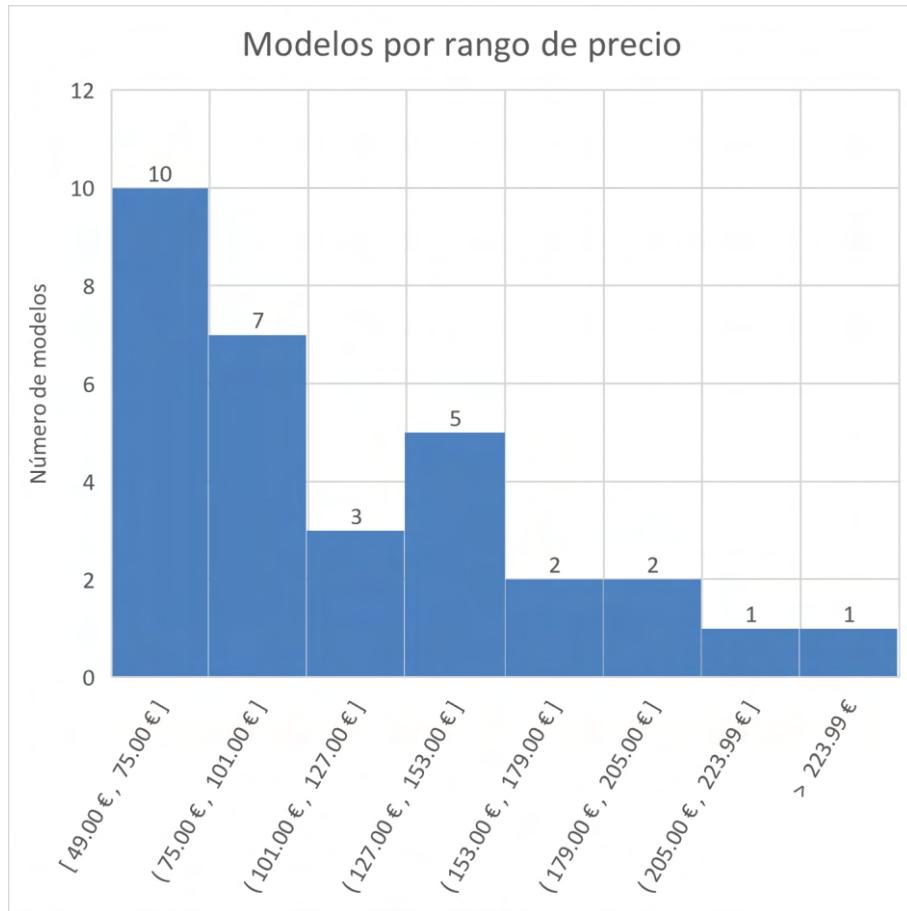


Figura 35: Modelos por rango de precio

Como se puede observar, la mayor concentración de modelos se encuentra por debajo de los 100€, resultando en que más de la mitad de los modelos más vendidos se encuentran en este rango de precios. Por tanto, será conveniente minimizar el precio del sistema AIO lo máximo posible, intentando posicionarlo en la parte del mercado con mayor interés de los usuarios, por debajo de los 100€.

10. Precio de venta al público inferior a 100€.

### 3.2.7 Rendimiento

En cuanto al rendimiento, lo óptimo hubiera sido obtener información objetiva de la capacidad de enfriado de los modelos analizados. No obstante, esto se ve imposibilitado por múltiples razones. En primer lugar, los propios fabricantes no dan, en la mayoría de casos, información del rendimiento, y cuando lo hacen se da en forma de TDP. Esta medida, como se ha explicado en el apartado 2.8 del marco teórico, resulta equívoca y, además, depende en gran medida de la metodología de ensayo del fabricante, que acostumbra a ser distinta en cada caso.

La solución óptima sería disponer de una copia de cada uno de estos modelos (o más de una para asegurar que el rendimiento es uniforme dentro de cada modelo) y establecer una serie de ensayos en que se aseguren las mismas condiciones entre cada test. Por desgracia, esto escapa de las posibilidades de este Trabajo Final de Máster.

Una forma de sortear estos problemas es buscar información en las distintas *reviews* que hay en internet de los productos. Es habitual que páginas especializadas hagan ensayos de temperatura bajo carga del procesador. Generalmente, la metodología empleada es estándar dentro de un mismo medio. El problema aquí es la imposibilidad de que uno de estos medios especializados disponga de información de todos los modelos estudiados, siendo por tanto necesario seleccionar un medio y tomar los datos disponibles.

Resta, por tanto, elegir alguno de los medios especializados. Para ello, se consideran los medios con una metodología de ensayo que aporte información útil y sea lo más robusta posible, y además dispongan de una buena muestra de modelos analizados.

En base a estas ideas se seleccionan los datos recopilados en el portal *GamersNexus.net*. Su metodología incluye el control de la temperatura ambiente, medida de niveles de voltaje, velocidad de ventiladores, frecuencias y temperaturas, garantizando las mismas condiciones para todos los modelos ensayados. Además, ofrecen los datos normalizados a un mismo nivel sonoro, 40dB, de forma que se mide la eficiencia del diseño del sistema de refrigeración líquida en lugar de la fuerza bruta que pueda ofrecer usar ventiladores a máxima potencia con una gran velocidad y nivel de ruido, que no serían un buen indicador de las capacidades del sistema para el día a día de un usuario.

Así, se ha extraído la siguiente gráfica de dicho medio especializado [35], tan solo destacando a qué categoría de radiador pertenece cada uno de los modelos listados:



Figura 36: Benchmark temperaturas AIO normalizado a 40dB [35]

Como se puede ver, existe bastante diferenciación en cuanto a rendimiento en función del tamaño de radiador, habiendo bloques bastante diferenciados. Los sistemas de 280mm son los que más se entremezclan entre su categoría superior, 360mm, e inferior, 240mm. No obstante, de acuerdo a lo que se ha visto en la lista de sistemas más vendidos, las refrigeraciones líquidas de 280mm son las menos comunes entre los usuarios. Por ello, centrándose en los otros modelos, se ve una clara diferenciación entre los bloques. Se ha desarrollado una tabla resumen con las temperaturas medias para cada segmento:

Tipo de radiador	Delta T. media [K]	Incremento rendimiento [%]	Incremento superficie radiador [%]
360 mm	36.4	129%	300%
280 mm	38.6	125%	272%
240 mm	41.8	119%	200%
120 mm	51.4	100%	100%

Tabla 5: Resumen temperaturas/Tamaño radiador

Como se puede ver, existe una mejora del 19% entre los modelos de 120 mm y de 240 mm. Esta mejora se reduce al 9% al comparar los sistemas de 240 mm con los de 360. Finalmente, se observa cómo el incremento de rendimiento es más reducido respecto al incremento de superficie del radiador.

Por tanto, se va a establecer como requisito de diseño maximizar el rendimiento del sistema, lo que pasará en gran medida por maximizar la superficie de radiador disponible. Esto requerirá un compromiso respecto a garantizar la máxima compatibilidad para el usuario.

11. Maximizar la capacidad de enfriamiento.

### 3.2.8 Otros aspectos a considerar

Se van a tratar, finalmente, otros elementos que se han extraído del análisis de mercado y no son directamente cuantificables. En primer lugar, la compatibilidad con las distintas plataformas de hardware. Como se ha explicado en el marco teórico, las dos grandes compañías del mercado que desarrollan procesadores, Intel y AMD, tienen diversas especificaciones en cuanto al mecanismo de montaje para cada generación de CPUs.

Por ello, se considera que el producto debe presentar la máxima compatibilidad posible con plataformas antiguas, y asegurar la compatibilidad con las plataformas actuales: AM4/AM5 y LGA 1700.

12. Compatibilidad con zócalos AM4/AM5 y LGA 1700. Máxima compatibilidad posible con zócalos anteriores.

También se requiere maximizar la compatibilidad con los miles de cajas formato ATX que existen en el mercado ya que, como se ha comentado, tan solo las de mayores dimensiones soportan los radiadores de mayor tamaño.

13. Maximizar la compatibilidad con las cajas del mercado.

Otro aspecto a tener en cuenta es la facilidad del sistema de montaje. El producto estará enfocado tanto a profesionales para su montaje en los sistemas que vendan como a usuarios individuales que construyan su propio ordenador. Por tanto, su sistema de montaje debe ser claro y sencillo, sin requerir de especial experiencia ni herramientas.

14. Instalación sencilla.

Finalmente, conviene destacar las necesidades básicas de fiabilidad del producto, ofreciendo un sistema robusto y seguro, con un mantenimiento sencillo.

15. Sistema fiable, robusto y seguro.
16. Mantenimiento mínimo y sencillo.

### 3.3. Requisitos finales

Se adjunta, a continuación, una tabla resumen con los requisitos establecidos a lo largo del estudio de mercado:

Nº	Requisito
1	Rendimiento igual o superior al de AIOS con radiadores de 240 mm.
2	Que el producto alcance la compatibilidad de radiadores de 240 mm.
3	Precio adecuado al segmento de AIO.
4	Potencia adecuada de la bomba para el tipo de radiador empleado.
5	Elevada presión estática de los ventiladores.
6	Minimizar la sonoridad máxima de los ventiladores.
7	Control de ventiladores PWM.
8	Ofrecer posibilidades de customización acordes al rango de precios en que se ubique.
9	Presentar un diseño, acabados y estética competitivos al rango de precios en que se ubique.
10	Precio de venta al público inferior a 100€.
11	Maximizar la capacidad de enfriamiento.
12	Compatibilidad con zócalos AM4/AM5 y LGA 1700. Máxima compatibilidad posible con zócalos anteriores.
13	Maximizar la compatibilidad con las cajas del mercado.
14	Instalación sencilla.
15	Sistema fiable, robusto y seguro.
16	Mantenimiento mínimo y sencillo.

Tabla 6: Requisitos finales

El posterior capítulo, de diseño conceptual, se fundamentará en estos requisitos extraídos.

## CAPÍTULO 4. DISEÑO CONCEPTUAL

En este capítulo se va a emplear la información detallada tanto en el marco teórico como en el estudio de mercado para realizar el diseño conceptual del sistema de refrigeración líquida AIO, con el objetivo de acabar con un diseño final con el que avanzar a la fase de diseño de detalle. Para ello, en primer lugar, se hará un análisis de los requisitos de diseño. A continuación, se detallarán las distintas ideas, conceptos y alternativas surgidos durante la fase de diseño. Estos conceptos serán valorados hasta seleccionar de forma justificada un diseño final.

### 4.1. Análisis de los requisitos.

Para analizar los requisitos establecidos en la anterior fase, de estudio de mercado, se va a emplear el método de la Casa de la Calidad. Con él, se pretende convertir los requisitos básicos formulados en el estudio de mercado como intereses de los usuarios en requisitos funcionales o de diseño. Así, se relacionarán las demandas del mercado con las características funcionales del producto que les den respuesta en mayor medida.

El método de la Casa de la Calidad o QFD (*Quality Function Deployment*) sirve para, a partir de los requisitos establecidos desde el punto de vista del usuario en el estudio de mercado, priorizar y focalizar los recursos en su máxima satisfacción a través de las especificaciones técnicas de diseño del producto [36].

Por tanto, se relacionarán los requisitos resumidos en el apartado 3.3 con una serie de requisitos o especificaciones técnicas. Estas especificaciones serán listadas y descritas a continuación, y se han obtenido en base al estudio de mercado, la información recabada en el marco teórico y los conocimientos técnicos propios:

- a) Superficie de radiador: directamente relacionado con el rendimiento del sistema.
- b) Caudal bomba: debe ser capaz de superar un caudal mínimo para la transferencia eficiente de calor.
- c) Presión bomba: debe dar presión suficiente para superar las resistencias del circuito. Estas son principalmente las del bloque de agua y el radiador, por lo que será directamente proporcional al tamaño de radiador.
- d) Velocidad máxima ventiladores: afectará, como se ha visto, a la presión y caudal de aire que proporcionen. También será proporcional al nivel de ruido.
- e) Control de ventiladores PWM: permite al usuario regular la velocidad del ventilador mediante el control PWM de la placa base u otro dispositivo de regulación de ventiladores, en lugar de por voltaje.
- f) Presión máxima ventiladores: Se requiere una mayor presión cuando se emplean radiadores de mayor espesor o densidad de aletas.
- g) Caudal máximo ventiladores: volumen de aire que trasiegan los ventiladores, debe ser suficiente para conseguir una buena eficiencia en el radiador.
- h) Tecnología de rodamientos: las diversas tecnologías de rodamientos de ventilador vistas en el marco teórico incrementan sus prestaciones a la par que el precio.
- i) Volumen de líquido: un mayor volumen de líquido en el circuito incrementa la inercia térmica del sistema, suavizando el impacto sobre la temperatura del fluido durante los transitorios de carga térmica.

- j) Propiedades del líquido: como se ha explicado en el marco teórico, se debe dotar al fluido de diversos aditivos para mejorar su resistencia a la congelación, evitar la corrosión galvánica o el surgimiento de algas. También se incluiría aquí la adición de efectos estéticos, como colorantes.
- k) Dimensiones del bloque de agua: serán mayores en función de si lleva la bomba incorporada y su tamaño, y las dimensiones del propio disipador ranurado que integre.
- l) Compatibilidad con distintos sockets: La inclusión de mecanismos de montaje compatibles con los zócalos actuales de Intel y AMD, así como para plataformas previas.
- m) Materiales: fundamentalmente deberán seleccionarse los materiales para el disipador, el radiador, los tubos y piezas de plástico.
- n) Características adicionales: características que otorguen un valor añadido al producto.
- o) Diseño exterior y acabados: originalidad del diseño, calidad de los acabados, etc.
- p) Coste de fabricación: de forma que el producto sea competitivo en la gama en la que se sitúe.
- q) Modularidad: por un lado, permite emplear piezas estándar, lo que da al usuario un mayor nivel de reparabilidad y customización, aspectos importantes en el sector de hardware de PC. Además, las piezas estándar pueden adquirirse a terceros reduciendo así costes.
- r) Consumo energético: consumo de los componentes eléctricos del sistema.
- s) Espesor del radiador: un mayor espesor supone una mayor resistencia a superar por parte de los ventiladores, a la vez que empeora la compatibilidad del producto. A cambio, un espesor mayor aumenta la capacidad de intercambio de calor en el mismo.
- t) Densidad de aletas del radiador: de manera similar, la densidad de las aletas del radiador incrementa la superficie de intercambio de calor, a la vez que incrementa la resistencia al aire que debe vencer el ventilador.

Con estas especificaciones se ha seguido el método de la casa de la calidad. La matriz resultante se encuentra completa en el Anexo 2.

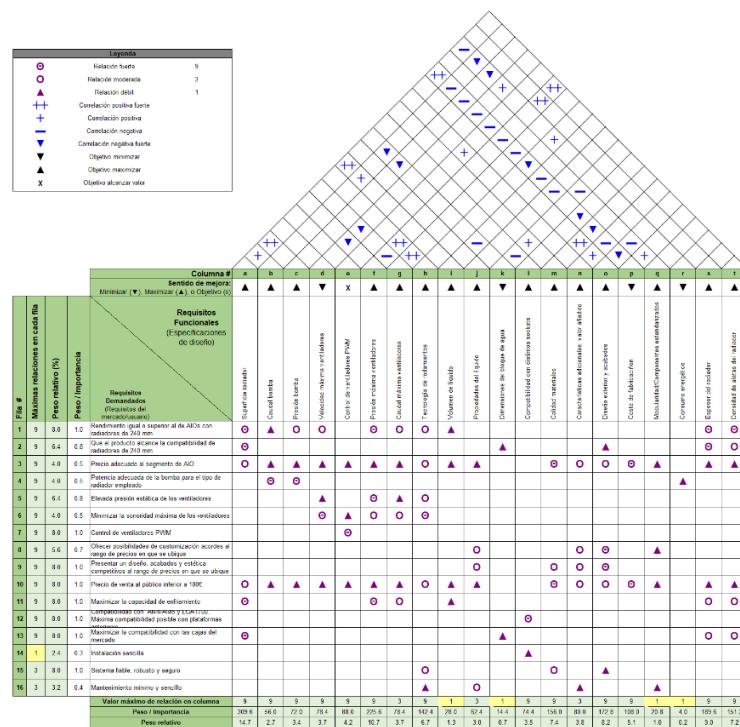


Figura 37: Casa de la calidad

A grandes rasgos, el método QFD pondera la importancia de las especificaciones funcionales del producto en función de los requisitos demandados. Para ello, se les asigna un peso a los requisitos demandados en función de su importancia. Por otra parte, a las especificaciones de diseño se les asigna un sentido de mejora (maximizar, minimizar o alcanzar un objetivo) y se establecen las correlaciones que existen entre ellas (parte superior de la matriz). Finalmente, la parte central de la matriz asigna las relaciones entre los requisitos funcionales y los requisitos demandados, relacionando los datos para ofrecer una importancia normalizada para cada una de las especificaciones consideradas.

Siguiendo este método se han obtenido los siguientes pesos para las especificaciones previamente mentadas, ordenadas de mayor a menor importancia:

<b>Posición</b>	<b>Especificación</b>	<b>Peso relativo [%]</b>
1	Superficie radiador	14.7
2	Presión máxima ventiladores	10.7
3	Espesor de radiador	9.0
4	Diseño exterior y acabados	8.2
5	Calidad de materiales	7.4
6	Densidad de aletas del radiador	7.2
7	Tecnología de rodamientos	6.7
8	Coste de fabricación	5.1
9	Control de ventiladores PWM	4.2
10	Características adicionales: valor añadido	3.8
11	Caudal máximo ventiladores	3.7
12	Velocidad máxima ventiladores	3.7
13	Compatibilidad con distintos sockets	3.5
14	Presión bomba	3.4
15	Propiedades del líquido	3.0
16	Caudal bomba	2.7
17	Volumen de líquido	1.3
18	Modularidad/Componentes estandarizados	1.0
19	Dimensiones del bloque de agua	0.7
20	Consumo energético	0.2

Tabla 7: Especificaciones de diseño

De los resultados, se comprueba la gran relevancia que tienen parámetros relacionados con el rendimiento del sistema (superficie y espesor del radiador, presión), aunque también aspectos relacionados con la estética como el diseño y calidad de materiales ocupan posiciones altas.

En el otro lado de la tabla se tienen aspectos de baja relevancia, como el consumo energético (bomba y ventiladores tienen un impacto de pocos vatios sobre el total de un ordenador de sobremesa) y las dimensiones del bloque de agua.

También, gracias a la realización de la matriz se ha notado que el requisito demandado “Instalación sencilla” tan sólo se ve relacionado con un parámetro y de forma indirecta, lo que es indicativo de la falta de inclusión de especificaciones relacionadas con el proceso de instalación. Por ello, en el diseño se tendrán en cuenta también parámetros como el número de pasos para la instalación o el número de piezas que componen el sistema de montaje, con la intención de minimizar ambos.

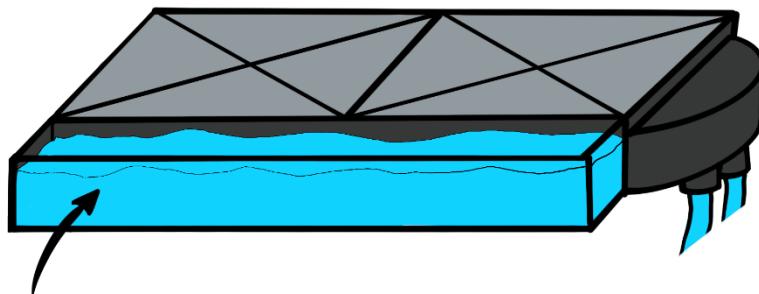
En conclusión, tras seguir este método se posee una visión más profunda de las condiciones de diseño y se tienen en cuenta relaciones que a priori no se consideraron entre las distintas especificaciones. Con ello se consigue saber en qué requisitos se deben centrar los esfuerzos a la hora de proponer ideas de diseño, evitando comprometerlos para mejorar en especificaciones de menor relevancia.

## 4.2 Propuesta de alternativas de diseño

En primer lugar, se van a establecer como condición inicial para el diseño el tamaño del radiador. En base al estudio de mercado y análisis de requisitos, ha quedado justificada la necesidad de enfocar el producto al segmento de sistemas AIO de 240 mm, ya que su relación entre rendimiento y compatibilidad es, como se ha visto, la más escogida por los usuarios.

A continuación, se van a ir describiendo las principales ideas surgidas a lo largo del proceso de diseño conceptual. Se comentarán, para cada una, las ventajas e inconvenientes que suponen.

### 4.2.1 Radiador. Concepto 1: Radiador con depósito lateral.



**Depósito transparente**

Figura 38: Diseño conceptual 1

Este diseño surge de la idea de mejorar la apariencia estética del radiador, que en la gran mayoría de modelos es muy similar, a través de la inclusión de un depósito lateral transparente que, además de la mejora estética, añadiría funcionalidades: incremento del volumen de líquido y de la facilidad de relleno. Además, permitiría al usuario customizar la apariencia de su sistema cambiando el color del líquido, lo que añade posibilidades de personalización.

No obstante, este modelo también genera importantes desventajas. En primer lugar, obligaría a extender el depósito lateralmente, limitando gravemente su compatibilidad, ya que dicho depósito chocaría con el lateral de la mayoría de cajas. Esto podría remediarself empleando un radiador especial que, en lugar de emplear dos ventiladores de 120x120mm, empleara ventiladores del estándar 80 o 92 mm. Quedaría un depósito más estrecho capaz de contener el depósito en su lateral sin comprometer su compatibilidad, pero cediendo gran parte de la superficie del radiador. Además, el uso de un depósito con estas características supondría la necesidad de fabricar el depósito a medida, reduciendo la modularidad del sistema y, además, encareciendo en gran medida el producto.

<b>Concepto 1: Radiador con depósito lateral</b>	
<u>Ventajas</u>	<u>Desventajas</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estética original y atractiva, con posibilidades de personalización.</li> <li>- Incremento del volumen de líquido.</li> <li>- Facilidad para el relleno y vaciado del sistema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compromisos entre compatibilidad y superficie del radiador.</li> <li>- Componentes no estándar.</li> <li>- Incremento en costes de fabricación</li> </ul>

Tabla 8: Ventajas/Desventajas Concepto 1

Cotejando con los pesos obtenidos en el análisis de los requisitos mediante el método de la casa de la calidad, se observa rápidamente que las desventajas comprometen especificaciones de mucho mayor peso que las ventajas ofrecidas.

#### 4.2.2 Radiador. Concepto 2: Radiador en L.

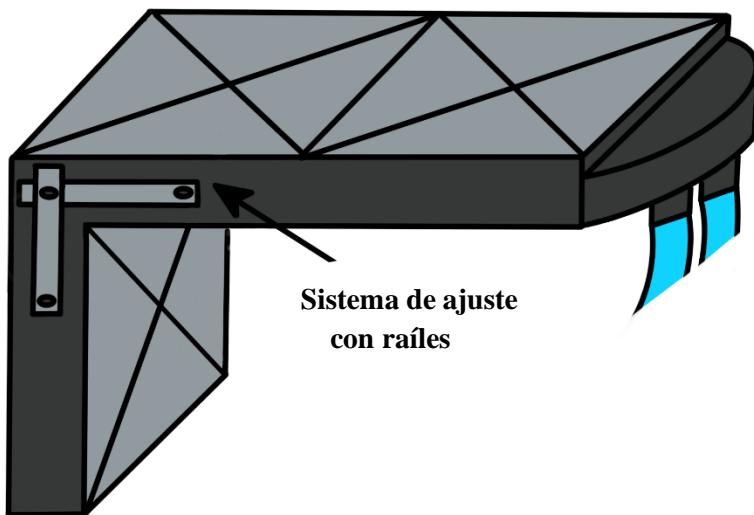


Figura 39: Diseño conceptual 2

Este segundo diseño, también relacionado en el radiador, se basa en la idea de incrementar su superficie útil manteniendo un formato de 240mm. Para ello, se mantiene la parte superior de 240 mm y se añade, formando una L, más superficie en la que colocar un ventilador de 120 mm. Con ello, el radiador tendría la superficie equivalente a un sistema de 360 mm.

En cuanto al montaje, la parte correspondiente al radiador de 120 mm quedaría a la altura del ventilador trasero de la caja. Esto no afectaría a la compatibilidad, ya que todas las cajas de tipo torre/semitorre ATX que tengan espacio para un radiador superior de 240 mm van a tener también el espacio para el ventilador trasero.

No obstante, pese a que todas las cajas van a tener esta ubicación de ventilación, no todas la tendrán a la misma distancia horizontal, vertical y profundidad respecto al espacio del radiador superior. Por ello, se ha pensado en un sistema de raíles que permita modificar la posición del radiador horizontal y verticalmente. Para dejar interconectados los circuitos de ambos radiadores e incluir el mecanismo de raíles, se deberían diseñar y fabricar, también en este caso, los radiadores a medida, lo que incrementaría los costes de fabricación en gran medida. En general, un sistema para la unión rígida de ambos radiadores mediante raíles resultaría bastante complicado, además de añadir dificultades al usuario durante su instalación. Además, desde un punto de vista estético el sistema de raíles podría resultar intrusivo, por lo que tendría que ingenierarse algún mecanismo para ocultarlo.

<b>Concepto 2: Radiador en L</b>	
<u>Ventajas</u>	<u>Desventajas</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Superficie de radiador de 360 mm, con el consecuente aumento de rendimiento del sistema.</li> <li>- Mantiene la misma compatibilidad con cajas que un sistema de 240mm.</li> <li>- Diseño innovador para sistema AIO.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de montaje complicado, tanto para su diseño y fabricación como para la instalación por el usuario.</li> <li>- Componentes no estándar.</li> <li>- Incremento en costes de fabricación.</li> </ul>

Tabla 9: Ventajas/Desventajas Concepto 2

En general, esta idea incorpora mejoras de gran relevancia, ya que ofrecer un rendimiento superior manteniendo la compatibilidad de sistema de 240 mm satisface importantes requisitos establecidos en el análisis de mercado. Ofrecería a los usuarios lo mejor de ambos tipos de AIO, el rendimiento de sistema de 360 mm con la gran compatibilidad de los sistemas de 240 mm. No obstante, la forma de conseguirlo trae importantes inconvenientes, principalmente relacionados con el sobrecoste de fabricación y la dificultad para integrar dicho mecanismo.

Por ello, se va a continuar trabajando en la misma línea, tratando de simplificar el sistema y reducir los costes.

#### 4.2.3 Radiador. Concepto 3: Radiadores en serie

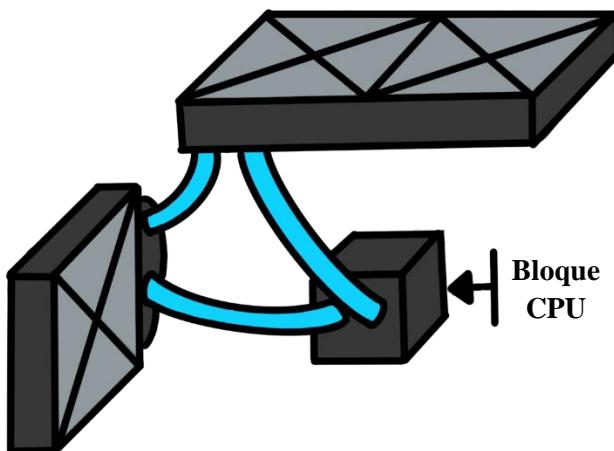


Figura 40: Diseño conceptual 3

Con este sistema se trata de dar una mayor flexibilidad y compatibilidad al sistema anterior, a la vez que se simplifica. Para ello, se usan los mismos tubos que se usan para unir el radiador con el bloque en cualquier sistema de refrigeración líquida, para interconectar los dos radiadores en serie. Además, en lugar de emplear un radiador en L se tienen dos radiadores independientes conectados por tubos flexibles, uno de 120 mm y otro de 240 mm. Esto ofrece una compatibilidad mayor que el sistema previamente propuesto de raíles con una menor complicación. Además, este sistema permite emplear radiadores de dimensiones estándar sin ningún tipo de modificación, lo que reduciría en gran medida los costes de fabricación frente a la opción anterior.

Para evitar el choque entre los conductos que salen de cada radiador con el otro o con la propia placa en cajas de menor tamaño, donde los radiadores estén muy próximos o casi solapados, los tubos deberán salir por los laterales más alejados entre sí. De otra manera, podría haber conflictos que comprometan la compatibilidad. En cuanto a la customización, la mayor cantidad de tubos permitiría, de nuevo, añadir color al sistema mediante el uso de líquido de diversos colores.

Este sistema de colocar 2 radiadores en serie no se encuentra en ningún otro modelo de AIO, ya que sería más propio de sistemas de refrigeración líquida a medida. Por ejemplo, los empleados en sistemas de alto rendimiento o pequeños servidores. A continuación, se muestra un ejemplo de uno de los sistemas participantes en la competición *Thermaltake CaseMod Invitational 2016* [37]. En este sistema se ve un ejemplo de uso de tres radiadores de 480 mm en serie:

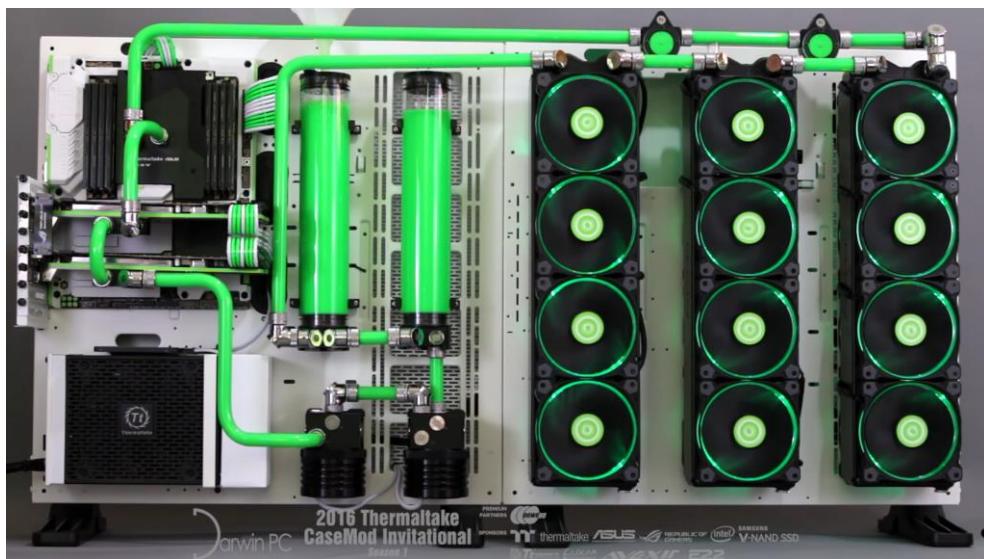


Figura 41: Sistema participante competición Thermaltake CaseMod 2016 [37]

Como desventaja principal, debido a la distribución de las salidas y entradas del circuito a cada radiador al menos uno de los tubos, el que conecta directamente ambos radiadores, deberá cruzar un gran espacio. Además, para garantizar su compatibilidad con cualquier caja, deberá dársele siempre algo de longitud adicional. Por ello, estéticamente se considera que el diseño puede ofrecer un aspecto algo caótico y, en general, menos atractivo. Además, en función del tamaño de la caja este tubo puede acabar reposando sobre la tarjeta gráfica u otros elementos.

<b>Concepto 3: Radiadores en serie</b>	
<u>Ventajas</u>	<u>Desventajas</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Superficie de radiador de 360 mm, con el consecuente aumento de rendimiento del sistema.</li> <li>- Mantiene la misma compatibilidad con cajas que un sistema de 240mm.</li> <li>- Componentes estándar.</li> <li>- Diseño innovador para sistema AIO.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estética poco atractiva por el largo recorrido de los tubos.</li> <li>- El tubo más largo puede hacer contacto con otros elementos, como la tarjeta gráfica.</li> </ul>

Tabla 10: Ventajas/Desventajas Concepto 3

#### 4.2.4 Radiador. Diseño final: Radiadores en serie con indicador de flujo.

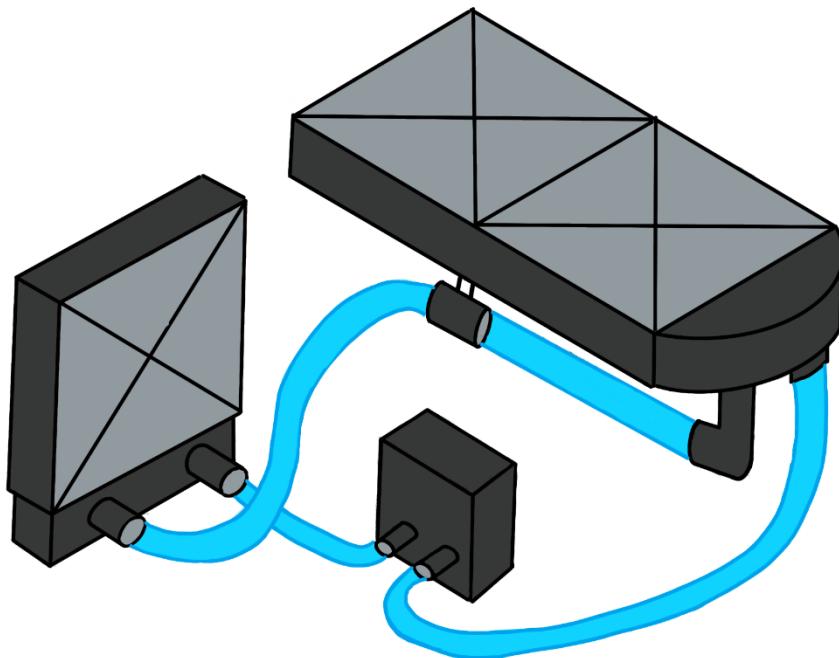


Figura 42: Diseño conceptual final

Este último diseño consiste en una iteración del diseño previo añadiéndole funcionalidad y mejorando su apartado estético. Para ello, en primer lugar, se enruta el tubo más largo en paralelo a lo largo del radiador de 240 mm. Con esto se consigue una apariencia más limpia, con tubos de menor longitud y más directos. Además, se elimina el problema de que pueda chocar con otros elementos del sistema, principalmente la tarjeta gráfica. Por último, rescata parte del atractivo del primer concepto planteado, haciendo discurrir el tubo en paralelo al radiador en la parte más externa de la caja. Con ello, sería visible en cualquier torre con ventana lateral translúcida, otorgando al ordenador una estética innovadora y original.

Como elemento de valor añadido, puede añadirse un indicador de flujo en el circuito. Este devuelve al usuario una respuesta visual de la correcta circulación del fluido. Con este añadido, se combinan el aspecto estético con el funcional.

También se ha considerado emplear un caudalímetro, pero esto encarecería en mayor forma el precio y complejidad del sistema y no daría realmente información útil al usuario.

Esta pieza se puede fabricar de forma barata en plástico, añadiendo una ventana de metacrilato para comprobar el giro del rotor. Diseñándola a medida para el sistema se conseguirá dar los ángulos deseados de entrada y salida de los tubos. Finalmente, se podrán emplear los propios puntos de montaje para ventiladores del radiador para asegurar este indicador de flujo.

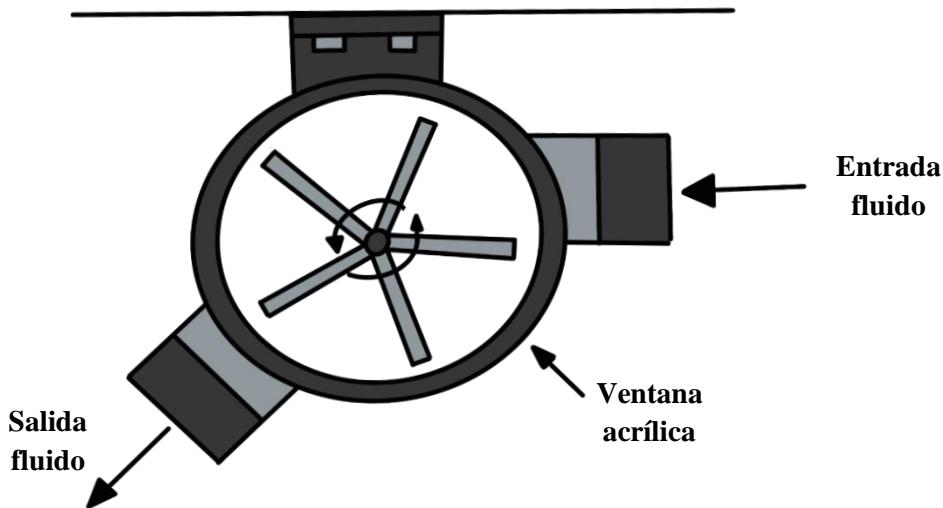


Figura 43: Diseño conceptual indicador de flujo

En cuanto a las desventajas que presenta este modelo, una vez solventados los problemas más importantes de modelos previos, queda asegurar, en primer lugar, que los añadidos no incrementen el precio en gran medida. Por un lado, el indicador de flujo es un sistema simple que añade funcionalidad y no debería resultar caro. No obstante, el uso de dos radiadores independientes de 240 y 120 mm sí que puede resultar más caro que lo que valdría un solo radiador de 360 mm. Por ello, deberá en especial consideración durante el diseño de detalle que los costes se mantengan en los rangos buscados, de forma que pueda ofrecerse un precio de venta al público inferior a los 100€, como se estableció tras el análisis del mercado.

Por último, para que el tubo e indicador de flujo no interfieran con los ventiladores y se garantice la máxima compatibilidad queda restringida la posición de los ventiladores superiores en una configuración del tipo *pull*. Como se ha visto en el marco teórico, esto no revierte en un incremento o pérdida de rendimiento significante, pero sí es verdad que fuerza al usuario a emplear esta configuración. El ventilador del radiador de 120 mm no sufre este problema y podría montarse en cualquier configuración.

#### Diseño final: Radiadores en serie con indicador de flujo

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Superficie de radiador de 360 mm, con el consecuente aumento de rendimiento del sistema.</li> <li>- Mantiene la misma compatibilidad con cajas que un sistema de 240mm.</li> <li>- Estética innovadora y original, con posibilidades de customización.</li> <li>- Componentes estándar.</li> <li>- Añade funcionalidad mediante indicador de flujo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elementos extra que pueden incrementar el precio sobre un sistema AIO básico de 240 mm.</li> <li>- Se fuerza a los ventiladores del radiador de 120 mm a ir en la posición <i>pull</i>.</li> </ul>

Tabla 11: Ventajas/Desventajas Concepto Final

#### 4.2.3 Diseño del bloque

Para el diseño del bloque para el procesador se han combinado una serie de ideas y elementos:

- Entrada y salida del líquido por la parte superior del bloque: evitando que las salidas se ubiquen en los laterales del bloque se consigue garantizar la mayor compatibilidad posible, ya que se evita que los racores puedan colisionar con la memoria RAM, la tarjeta gráfica o los disipadores de VRMs de la propia placa base:

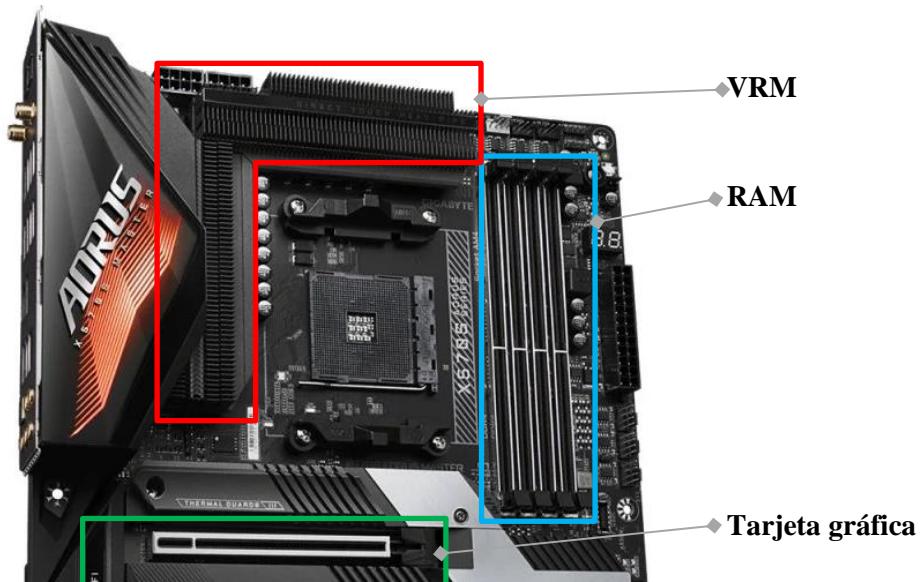


Figura 44: Zonas a evitar cubrir placa base

- Racores a 90° rotatorios: permiten disponer los tubos en la dirección que sean más cómodos, facilitando su enrutamiento. Esto es especialmente útil debido al diseño de radiadores empleado, donde cada uno de los conductos irá a su propio radiador.
- Bomba integrada en el bloque: como se ha visto en el análisis de mercado y en el marco teórico, la mayoría de sistemas de refrigeración líquida AIO usan un diseño de bomba integrada en el bloque. La ubicación en otros lugares, como en el radiador, puede llevar a problemas de cebado de la bomba y vibraciones. Por las ventajas que tiene, se diseñará el bloque para ubicar en él la bomba.
- Sistema de anclaje con presión uniforme: conviene que se aplique la fuerza de anclaje de forma uniforme sobre el bloque, de forma que se eviten zonas de mayor o menor presión. Además, se considera conveniente emplear un sistema de anclaje fijo en el bloque, independiente de la plataforma en la que se instale. Después para cada plataforma se diseñará un sistema propio de montaje para asegurar el anclaje del bloque con la placa.
- Intercambiador de calor: la placa metálica ranurada empleada para el intercambio de calor, que deberá quedar integrada en el diseño del bloque, debe ser capaz de cubrir en la mayor medida posible el IHS (*Integrated Heat Spreader*) del procesador refrigerado, de forma que se asegure la mayor eficiencia en cuanto a transferencia térmica. Por ello, se va a considerar que debe cubrir totalmente la superficie de los procesadores Intel LG1700 (*Alder Lake*), ya que los procesadores de AMD actuales tienen unas dimensiones menores. De acuerdo con sus especificaciones, las dimensiones del IHS son de 37.5 x 45 mm [38], por lo que el intercambiador de calor tendrá un área útil de, aproximadamente, 45 x 45 mm.

- Facilidad de mantenimiento: para incorporar funcionalidades y facilidad para el mantenimiento por parte del usuario del sistema, se planea incluir, además de la entrada y salida para el líquido del circuito, un puerto de llenado en caso de que el usuario decida realizar eventualmente un cambio o recarga del líquido.

Con ello, se ha desarrollado el siguiente diseño conceptual del bloque de agua:

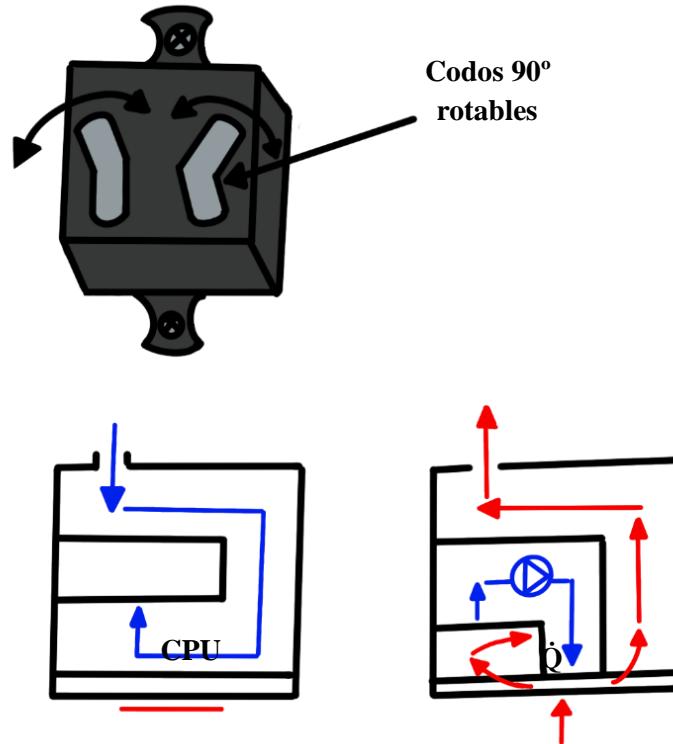


Figura 45: Diseño conceptual bloque de agua

## 4.3 Resultados del diseño conceptual

En este capítulo se ha partido de los requisitos obtenidos a través del estudio de mercado para obtener la importancia de las distintas especificaciones y parámetros a considerar durante el diseño conceptual. En base a sus resultados, se han desarrollado una serie de conceptos, tanto para la parte del radiador y tubos como para el bloque de agua, que han resultado en una configuración final conjunta para el sistema de refrigeración líquida. A continuación, para comprobar la validez del diseño final respecto a los requisitos de mercado planteados inicialmente, se va comentar el cumplimiento de cada uno de ellos en el diseño seleccionado:

Nº	Requisito	¿Cumple?
1	Rendimiento igual o superior al de AIOs con radiadores de 240 mm.	Sí, se ha conseguido un diseño con un rendimiento equivalente a un sistema AIO de 360 mm.
2	Que el producto alcance la compatibilidad de radiadores de 240 mm.	Sí, como se ha explicado el producto tendrá la misma compatibilidad con cajas del mercado que cualquier otro sistema de 240 mm.
3	Precio adecuado al segmento de AIO.	Quedará definido tras la fase de diseño de detalle.
4	Potencia adecuada de la bomba para el tipo de radiador empleado.	Quedará definido tras la fase de diseño de detalle.
5	Elevada presión estática de los ventiladores.	Quedará definido tras la fase de diseño de detalle. La mayor superficie del radiador ideada permite emplear un espesor de radiador menor, lo que reduce la necesidad de una presión estática muy elevada.
6	Minimizar la sonoridad máxima de los ventiladores.	Quedará definido tras la fase de diseño de detalle. No obstante, emplear una mayor superficie de radiador frente a los modelos de 240 mm permitirá reducir la velocidad de rotación de los ventiladores manteniendo un buen rendimiento, lo que resultará en una menor sonoridad.
7	Control de ventiladores PWM.	Quedará definido tras la fase de diseño de detalle.
8	Ofrecer posibilidades de customización acordes al rango de precios en que se ubique.	Sí, se van a usar líquidos de distintos colores que serán visibles a través de los conductos transparentes, lo que da posibilidades de seleccionar al usuario el que más se adecúe a sus gustos.
9	Presentar un diseño, acabados y estética competitivos al rango de precios en que se ubique.	Sí, se considera que se tiene un diseño con estética original e innovadora.
10	Precio de venta al público inferior a 100€.	Quedará definido tras la fase de diseño de detalle.

11	Maximizar la capacidad de enfriamiento.	Sí, mediante la inclusión del sistema de doble radiador se alcanza una elevada capacidad de enfriamiento del sistema.
12	Compatibilidad con zócalos AM4/AM5 y LGA 1700. Máxima compatibilidad posible con zócalos anteriores.	Quedará definido tras la fase de diseño de detalle.
13	Maximizar la compatibilidad con las cajas del mercado.	Sí, el sistema AIO propuesto mantiene la misma compatibilidad con las cajas del mercado que los modelos de 240 mm.
14	Instalación sencilla.	Quedará definido tras la fase de diseño de detalle.
15	Sistema fiable, robusto y seguro.	Quedará definido tras la fase de diseño de detalle.
16	Mantenimiento mínimo y sencillo.	Sí, la inclusión de puertos de relleno en el bloque de agua facilitará el mantenimiento. Se trabajará, en el diseño de detalle, para que el mantenimiento sea, además, mínimo.

Tabla 12: Resumen cumplimiento requisitos

Por tanto, se considera que el diseño propuesto cumple con las especificaciones establecidas y, por tanto, se avanza a la fase de diseño de detalle.

## CAPÍTULO 5. DISEÑO DE DETALLE

A lo largo del siguiente capítulo se va a realizar el diseño de detalle del sistema de refrigeración líquida AIO planteado en el diseño conceptual. Para ello en primer lugar, se va a seleccionar de manera justificada una bomba, ya que es necesario conocer sus dimensiones y características antes de diseñar el bloque de agua, que será a su medida. En segundo lugar, se explicará el diseño del bloque, incluyendo su sistema de montaje. A continuación, se mostrará el diseño del indicador de caudal. Después, se hará la selección de los radiadores y ventiladores. Posteriormente, se listarán las especificaciones de los tubos y racores necesarios para el circuito. Finalmente, se definirá el fluido a emplear y sus aditivos.

Todos los componentes diseñados durante esta fase tendrán sus planos completos adjuntos en el Documento 3: Planos para su eventual consulta durante la lectura.

### 5.1 Selección de la bomba.

La bomba empleada en el circuito tiene una importancia fundamental tanto a nivel de rendimiento como de diseño, ya que en función de su tamaño y disposición queda condicionado el diseño del resto de componentes. Como ya se ha tratado, se va a seguir el funcionamiento tradicional de AIO con la bomba en el interior del bloque de agua.

El cálculo de selección de la bomba es iterativo, ya que para calcular la presión y caudal que va a suministrar una bomba se deben obtener las pérdidas en el circuito, que a su vez dependen del caudal. Por ello se ha empleado una hoja de cálculo que emplea las ecuaciones descritas en el apartado 2.4 del marco teórico para facilitar el proceso. Se ha comenzado, como es habitual en este tipo de cuestiones, fijando una velocidad o caudal inicial para el circuito.

Debe hacerse aquí un apunte, y es que existe en gran cantidad de foros especializado y artículos de internet el pensamiento de que un circuito de refrigeración líquida para ordenador debe conseguir, como mínimo, un caudal de 100 l/h. Por ello, es el valor que muchos usuarios recomiendan. Esto es parcialmente incorrecto, ya que en realidad se está hablando del caudal máximo capaz de suministrar la bomba, que es casi siempre el único dato que suministra el fabricante. No obstante, este caudal máximo sólo se daría en condiciones de funcionamiento sin ningún tipo de resistencia. Fuera de esa situación ideal, en el momento en que existen una serie de pérdidas de presión en el circuito, el caudal de la bomba se ve reducido en mayor o menor medida. En la situación ideal contraria, en que las pérdidas de presión del sistema son exactamente iguales a la altura máxima capaz de suministrar el sistema, el caudal trasegado sería nulo.

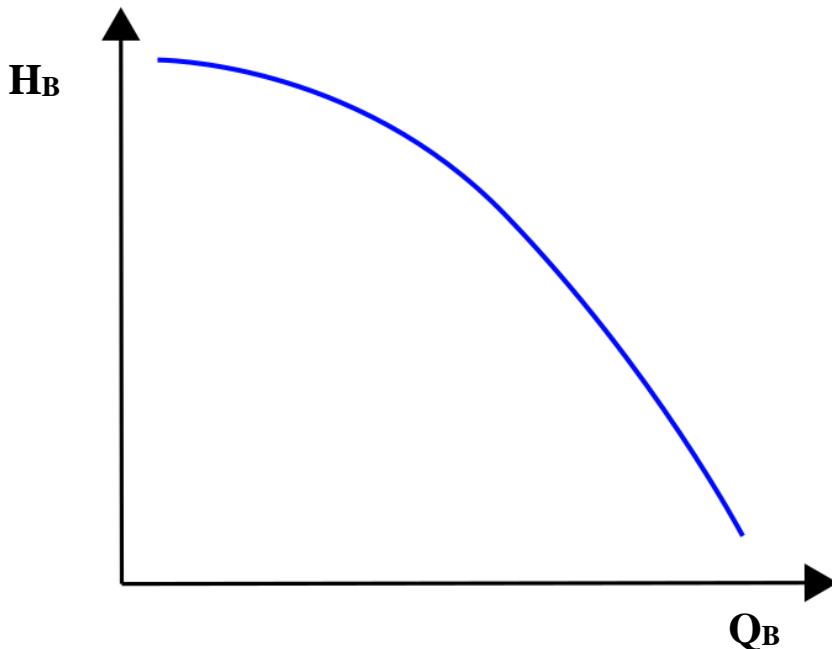


Figura 46: Curva característica teórica bomba

Por ello, es útil tener como referencia información en mayor profundidad sobre el tema. El ingeniero y *overclocker* profesional Roman Hartung (*der8auer*) realizó ensayos para su canal sobre el tema que serán de gran utilidad como referencia. Para ello, empleó un caudalímetro para medir el caudal con una misma bomba a distintas velocidades, monitorizando al mismo tiempo la temperatura del sistema para ver su influencia. Emplea en los ensayos una bomba *Corsair D5*, un modelo para sistemas de refrigeración *custom*, de mayor potencia respecto a las bombas de AIO. De acuerdo a las especificaciones técnicas de este producto, es capaz de dar un caudal máximo de 800 l/h [39].

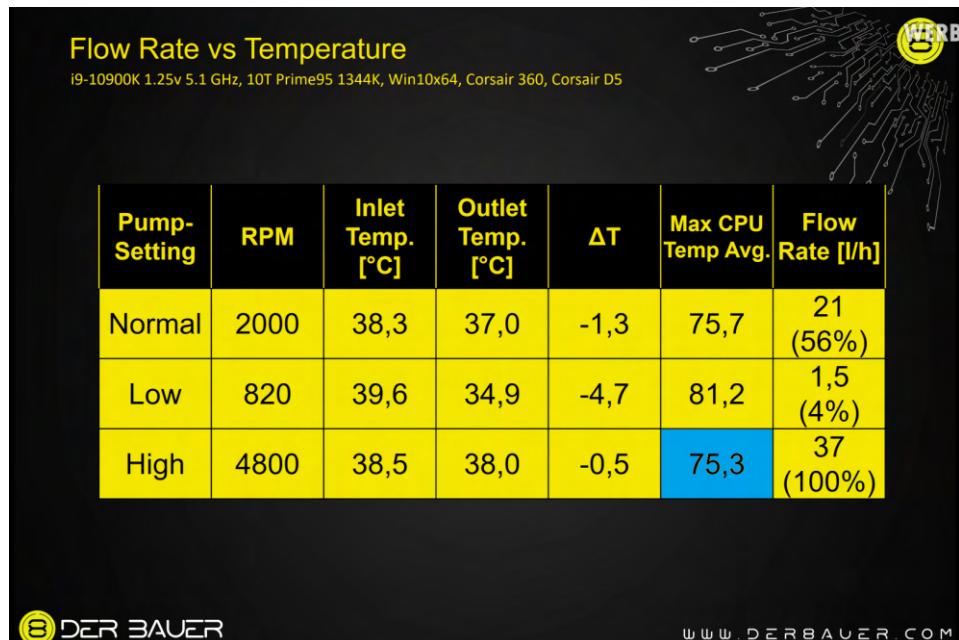


Figura 47: Caudal vs temperatura [40]

No obstante, como se puede ver en la tabla con los resultados de los ensayos, ni con la máxima velocidad de funcionamiento se tienen caudales cercanos a los 100 l/h, ni mucho menos los 800 l/h que anuncia el fabricante de esta bomba. Por otro lado, como se ve en los resultados de temperatura, una vez superada una velocidad mínima de la bomba existe muy poca diferencia a nivel de rendimiento con el incremento de caudal. Se observa que la temperatura registrada para el procesador apenas varía de temperatura entre el ensayo con caudal de 21 l/h y el de 37 l/h.

Finalmente, también demuestra que, a partir de ciertos caudales mínimos, la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida de un radiador es inferior a 1°. Es por ello que, salvo en circuitos de refrigeración líquida con velocidades extremadamente lentas, el orden de flujo de los distintos componentes es irrelevante. Es decir, existe una diferencia mínima de rendimiento colocando el bloque enfriador antes o después del radiador, ya que la temperatura del líquido dentro del circuito es muy homogénea.

En base a esta información, se va a buscar un caudal real dentro del circuito superior a los 30 l/h, un valor conservador que garantiza un buen rendimiento. Como se ha comentado, a partir de esta información se comprueban diversos modelos iterando mediante la hoja de cálculo. Finalmente, se selecciona la bomba *DC-LT 2600 Ultra low noise ceramic – 12V DC* del fabricante Alphacool que, como se justificará a continuación, cumple los requisitos buscados:

Technical specifications:
<ul style="list-style-type: none"><li>• Dimensions (WxHxD): 51x48x9mm (without fittings)</li><li>• Standard voltage: 12V DC</li><li>• Power draw: 4,9W</li><li>• Permitted voltage: 7-13,5V DC</li><li>• Pressure head at 12V: 0,6m H2O</li><li>• Maximum flow rate: approx. 100l/h</li><li>• Pumped medium: Water, Water/glycol mixture</li><li>• Maximum system temperature: 65°C</li><li>• Power connector: 3-Pin fan plug</li><li>• Weight: 48g</li></ul>

Figura 48: Extracto especificaciones técnicas bomba

A partir de la información que ofrece el documento de especificaciones técnicas, incluido en su totalidad para su consulta en el Anexo 3, se ha creado una tabla presión-caudal para esta bomba. Por la escasa información que ofrecen los fabricantes de este tipo de productos, se ha asumido que el caudal máximo se ofrece en descarga libre y la presión máxima se ofrece con caudal cero. Así, ambos puntos se han interpolado linealmente, a falta de mejor información, para obtener la ecuación de la bomba:

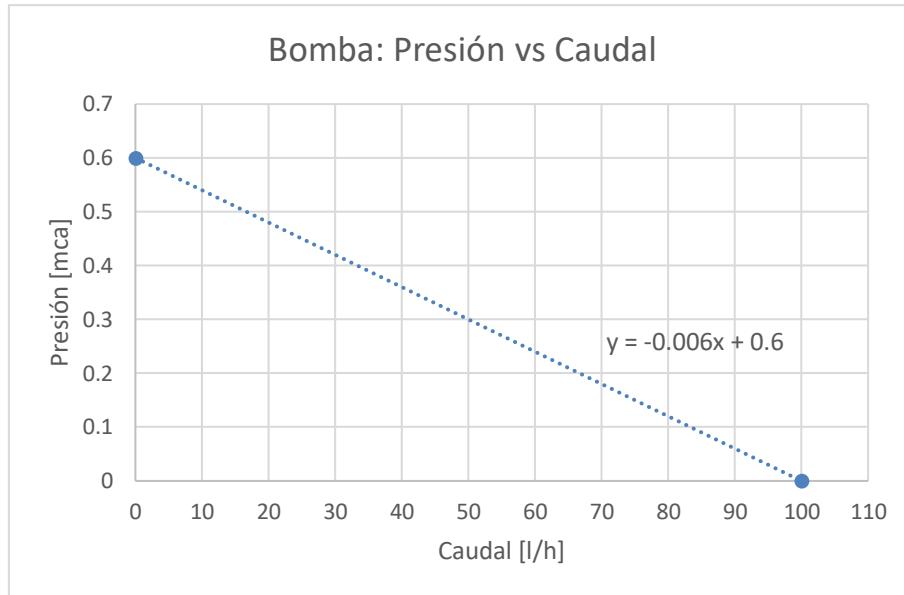


Figura 49: Curva característica bomba

A continuación, se van a justificar paso a paso los cálculos correspondientes al modelo final de bomba seleccionado. Se han identificado como elementos principales que ofrecen resistencia en el circuito los siguientes:

- Bloque de agua.
- Radiador de 120 mm.
- Radiador de 240 mm.
- Tubos.

Para todos ellos, lo ideal sería realizar ensayos con los que caracterizar sus pérdidas de presión a diferentes caudales. Dadas las dificultades para hacer esto de una forma adecuada, se opta por buscar información sobre productos con características similares. Pese a que existe poca disponible de forma abierta online, en la página web especializada en refrigeraciones líquidas *custom* [www.MartinsLiquidLab.com](http://www.MartinsLiquidLab.com) existen análisis con ensayos muy interesantes sobre productos que pueden trasladarse a los empleados en el sistema AIO. Desgraciadamente, el autor dejó de trabajar en la página web en 2008, por lo que los productos analizados son bastante antiguos.

Respecto al bloque de agua, se han encontrado ensayos realizados a un bloque de agua modelo *XSPC Edge Acrylic*. Pese a ser un modelo muy antiguo, coincide en las características básicas con el tipo de sistema de transmisión de calor, ya que emplea micro aletas que el fluido atraviesa longitudinalmente. Realiza el ensayo a diferentes caudales y obtiene la caída de presión en el bloque, como plasma en la siguiente gráfica [41]:

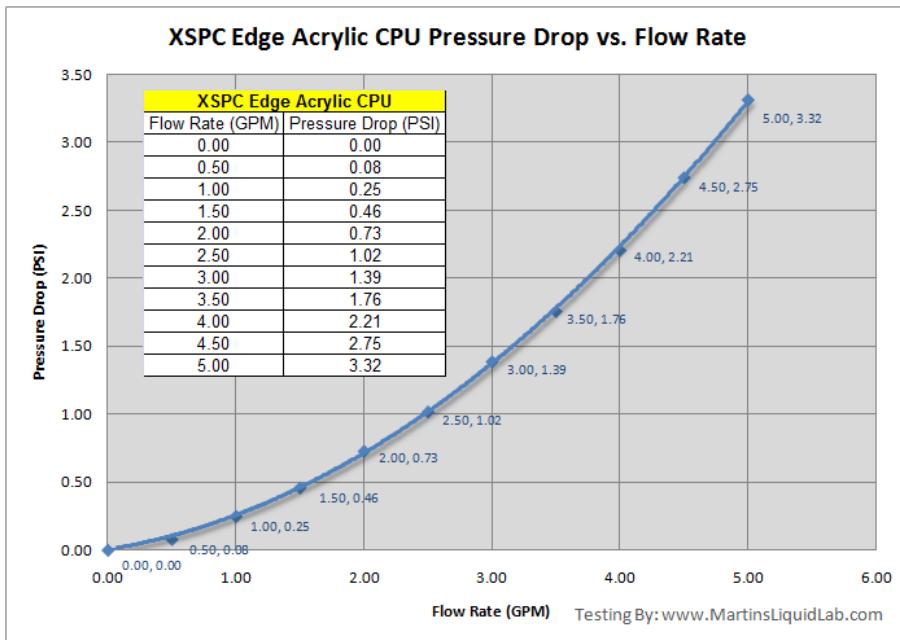


Figura 50: Pérdida presión bloque CPU [41]

Como se puede ver, para un caudal de en torno a 0,5 GPM, equivalente aproximadamente a 100 L/h, se tiene una caída de presión de 0.08 PSI o 0.056 mca. Se toma este valor por ser el más aproximado a lo que se están trabajando. Como este bloque tiene únicamente la entrada y las aletas, realizando menos cambios de dirección que en un sistema actual, donde además de atravesar las aletas tiene que pasar por la cámara de la bomba y por los racores, se va a emplear un coeficiente de mayoración de 2,5 para tomar valores conservadores.

Con respecto a los radiadores, se toman los valores de ensayos realizados a radiadores de los mismos tamaños. Se incluyen a continuación las tablas del radiador de 120 mm [42] y de 240 mm [43]:

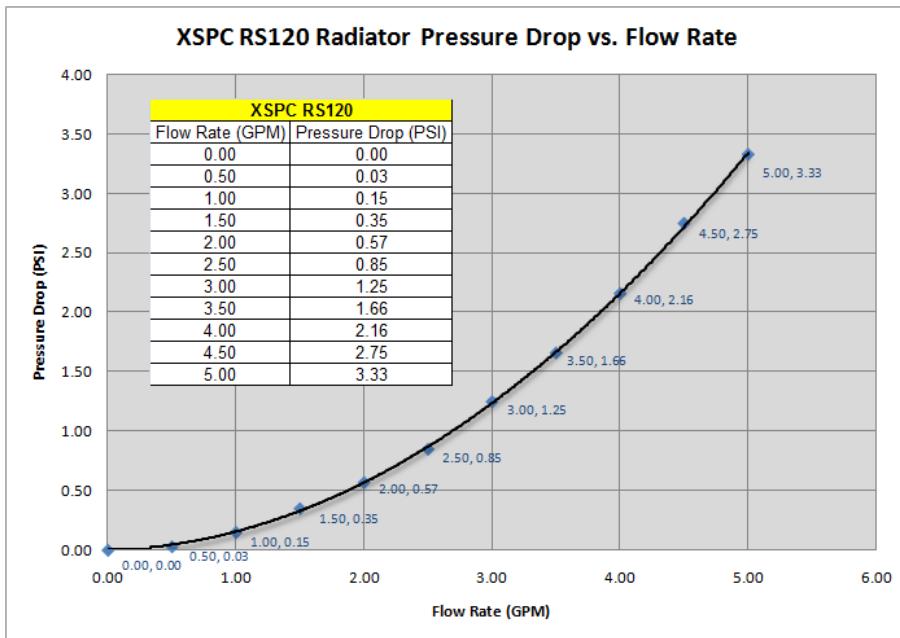


Figura 51: Pérdida presión radiador 120 [42]

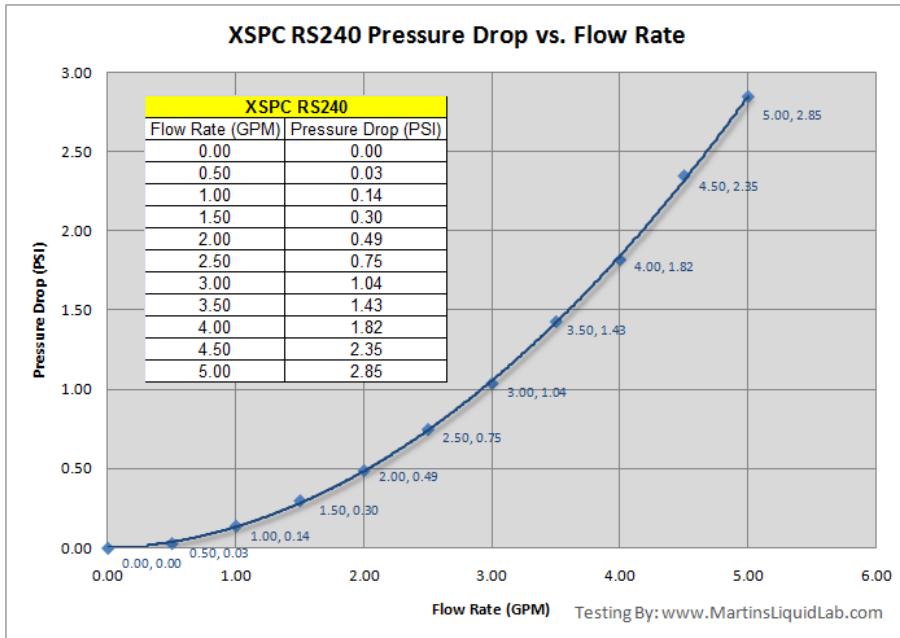


Figura 52: Pérdida presión radiador 240 [43]

Como se puede ver, para ambos casos las pérdidas a 0.5 GPM son de 0.03 PSI. Que no haya grandes diferencias entre ambos puede deberse a que la mayor parte de pérdidas se den en la entrada y salida del radiador, en conjunto con las limitaciones del equipo de medición empleado. De nuevo, para mantenerse en el lado de la seguridad, se van a mayorar ambos datos con un coeficiente de 1.5, de forma que queden cubiertas las diferencias con el equipo realmente empleado, como pueda ser la inclusión de los racores o divergencias internas.

Finalmente, para los tubos no es necesario obtener información de otras fuentes. Con la ecuación de Darcy-Weisbach, ya definida en el marco teórico, se pueden calcular las pérdidas por metro de tubo. Se sustituyen en dicha ecuación los valores correctos:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{u^2}{2g} \quad (1)$$

Donde:

- L es la longitud del conducto. Se va a emplear 1 m para obtener las pérdidas en metros de columna de agua por metro de conducto.
- D es el diámetro del conducto. Como se justificará más adelante, se emplean conductos de 10 mm de diámetro interior.
- u es la velocidad el fluido, conocida como el resultado del cociente del caudal y el área del conducto.
- f = Factor de pérdidas. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$f = \frac{0.25}{\log \left( \frac{k}{D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)^2} \quad (3)$$

Donde Re es el número de Reynolds, que para una tubería circular y llena viene dado por:

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \quad (4)$$

Con  $\rho$  la densidad del agua ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ) y  $\mu$  la viscosidad dinámica. Se toma el valor de la viscosidad dinámica del agua a  $30^\circ$  como temperatura habitual para la operación de un sistema AIO ( $0.000798 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ ). Se obtiene un valor superior  $Re > 2000$ , por lo que se están empleando de forma adecuada las ecuaciones para flujo turbulento. [44]

Por último,  $k$  es la rugosidad de la tubería, que para PVC (material de los tubos flexibles que se emplearán) toma un valor de  $0.0015 \text{ mm}$ . [17]

Como se ha comentado, las fórmulas deben resolverse de forma iterativa, ya que en función de las pérdidas cambia el caudal y en función del caudal varían las pérdidas. Los resultados a continuación son los correspondientes a la iteración final o valores definitivos:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{u^2}{2g} = 0.0504 \cdot \frac{1}{0.01} \cdot \frac{0.167^2}{2 \cdot 9.807} = 0.007165 \frac{\text{mca}}{\text{m tubería}}$$

Este resultado no se mayorá ya que, por un lado, se ha calculado empleando los datos reales de dimensiones y material, y por otro lado representan un peso muy pequeño respecto al resto de pérdidas. Además, se va a seguir considerando la longitud de los tubos de  $1 \text{ m}$ . Como la final será inferior y se calculará más adelante, ya quedan mayorados en cierta forma.

A continuación, se muestra una tabla con todas las pérdidas, ya mayoradas:

Elemento	Pérdidas [mca]
Bloque de agua	0.1408
Radiador de $120 \text{ mm}$	0.03168
Radiador de $240 \text{ mm}$	0.03168
Tubos	0.007165
Coeficiente de seguridad	1.5
<b>Total</b>	<b>0.317</b>

Como se ha visto, se ha aplicado también un coeficiente de seguridad de  $1.5$  para cubrir posibles diferencias de los datos que ofrece el fabricante de la bomba con la realidad, además de cubrir otros posibles elementos no considerados. Con el coeficiente de seguridad y las mayoraciones aplicadas a los elementos se considera que se está bien del lado de la seguridad.

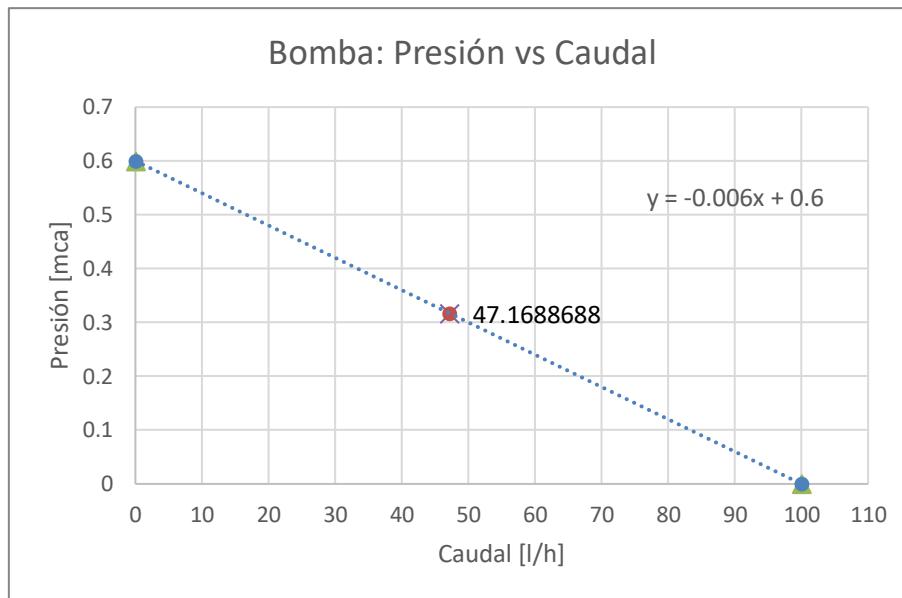


Figura 53: Curva característica y punto de funcionamiento

Empleando la curva de la bomba, para esta presión se tendrá un caudal de 47.17 l/h. Este caudal se encuentra por encima del valor establecido al principio del apartado como objetivo, 30 l/h. Es por ello, que se considera justificada la adecuación de la bomba modelo *DC-LT 2600 Ultra low noise ceramic - 12V DC* para el sistema de AIO en proceso de diseño.



Figura 54: DC-LT 2600 Ultra low noise ceramic [45]

La bomba seleccionada, además de cumplir en términos de rendimiento, tiene pequeñas dimensiones y un bajo nivel de ruido, además de estar diseñada para funcionar a 12V, estándar de los conectores de ventilador de ordenador.

Por último, comentar que el fabricante ofrece modelos CAD 3D del producto, lo que facilita en gran medida incluirlo en el sistema diseñado y considerar sus dimensiones.

## 5.2 Diseño del bloque de agua.

Con las dimensiones de la bomba claras se puede proceder con el diseño del bloque de agua. El diseño propuesto nace de las ideas definidas en el apartado 4.2.3. Primeramente, se diseña el propio intercambiador de calor, ya que el resto del bloque tendrá por función conectar dicho intercambiador con los tubos de entrada y salida de fluido, pasando por la bomba. Como se indicó en el capítulo 1 de introducción, el modelado se va a realizar mediante el paquete de modelado paramétrico de sólidos *Autodesk Inventor*.

### 5.2.1 Intercambiador de calor

En primer lugar, en cuanto a las dimensiones generales, van a estar basadas en el tamaño del IHS de los procesadores Intel LGA1700, que como ya se ha comentado son de mayor tamaño que los AMD AM4. Las dimensiones del IHS son de 37.5 x 45 mm [38], por lo que el intercambiador de calor debe tener un área útil de alrededor de 45 x 45 mm. Hacerlo cuadrado garantiza la máxima compatibilidad con plataformas actuales y posibles plataformas futuras.

Como, además del área útil, que contendrá micro aletas, se requiere un cierto espacio para su montaje mediante tornillos y su aislamiento para evitar fugas, se añaden 5 mm por lado. Por tanto, tendrá unas dimensiones totales de 55 x 55 mm.

Una vez establecidas sus dimensiones deben definirse varios parámetros más, fundamentales para el diseño. Por un lado, la dirección del flujo. De acuerdo con los análisis CFD mostrados por [14], existe una pequeña mejora en las temperaturas usando un flujo del tipo *Side Inlet – Side Outlet* respecto al de tipo *Top Inlet – Side Outlet*. A cambio, como aspecto negativo, el segundo muestra unas pérdidas de presión bastante más elevadas. Tiene sentido, ya que en este caso el fluido tiene que recorrer más distancia, incrementando las pérdidas.

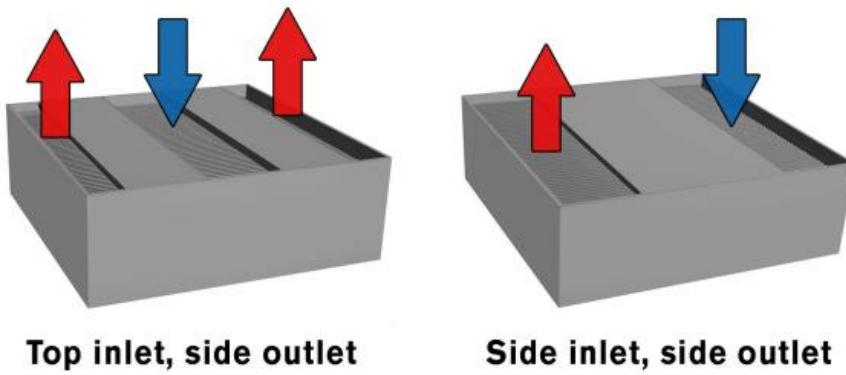


Figura 55: Entrada/salida intercambiador calor [14]

Debe destacarse que, además de mostrar una diferencia de rendimiento a nivel térmico mínima entre ambas opciones, el autor tuvo en cuenta en su metodología una carga térmica distribuida de forma uniforme en toda la superficie. No obstante, en una aplicación real un procesador va a tener puntos calientes, generalmente cerca del centro del IHS, y zonas más frías a su alrededor. Hubiera sido interesante ver si cambian los resultados con dichas consideraciones.

En cualquier caso, dada la mínima mejora térmica que ofrece el sistema de *Side Inlet-Side Outlet* y las mucho mayores pérdidas que sufre el fluido, se va a optar un diseño del tipo *Top Inlet- Side Outlet*. Además, esta distribución podría resultar más beneficiosa si se tienen en cuenta los efectos de los puntos calientes en la zona central del IHS.

Otro aspecto a definir es el tipo de superficie empleada. Fundamentalmente, existen dos tipologías en el mercado: las micro aletas o los micro pines. Ambas tienen por objetivo aumentar la superficie de intercambio de calor con el fluido:



Figura 56: micro aletas/micro pines [41]

El segundo tipo ha perdido popularidad en la última década, empleando prácticamente todos los sistemas actuales micro aletas. Esto es debido, fundamentalmente, al mucho menor coste de fabricación de las mismas. Además, para el tipo de dirección de flujo empleado en este tipo de sistemas las micro aletas permiten dirigir el fluido de la zona de entrada a la salida de forma sencilla.

Por tanto, teniendo en cuenta su menor coste de fabricación y ventajas generales que ofrecen, se van a emplear micro aletas.

Finalmente, quedan por definir la profundidad y grosor de las aletas. Según lo visto en [46], un espesor de aletas óptimo para este tipo de canales empleados para refrigeración líquida es de 0.3 mm. En cuanto a su profundidad, un valor de 1 mm será adecuado para una placa de espesor total 3 mm. Un mayor grosor, aunque incrementaría la inercia térmica, podría empeorar la respuesta del sistema al aumentar el material que debe atravesar el fluido hasta alcanzar el líquido. Además, más material encarece el precio. Por otro lado, al emplearse materiales con buena conductividad y bastante dúctiles para estas aplicaciones, generalmente cobre o aluminio, un espesor inferior a 3 mm con zonas de espesor aún menor por las aletas podría comenzar a comprometer su integridad.

Con estos parámetros se diseña el intercambiador de calor, cuyos planos se pueden ver en el Documento 3: Planos.

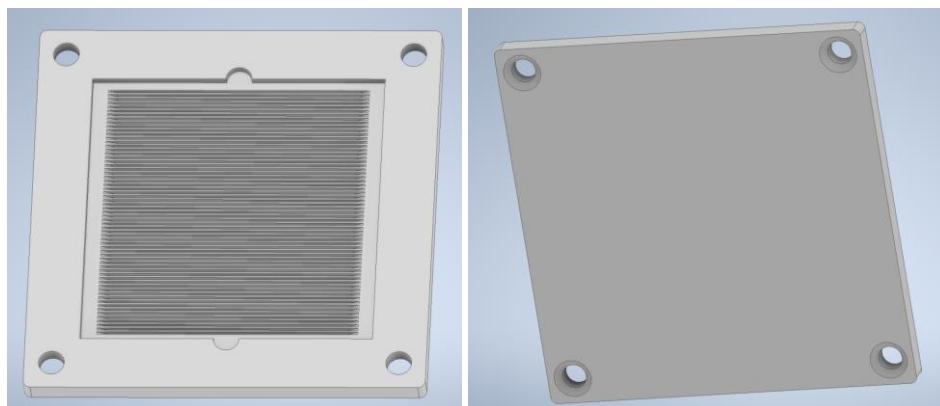


Figura 57: Modelo intercambiador de calor

Presenta un rebaje de 1 mm en la zona central, con muescas laterales en las que se asentará un difusor de flujo (se verá a continuación). Presenta también 4 taladros que unirán esta pieza con el resto del bloque. Son avellanados para evitar que los tornillos sobresalgan.

En cuanto a la zona de contacto con el IHS del procesador, debe ofrecer la máxima planitud posible para obtener un buen contacto. Esto se consigue mediante una operación de rectificado frontal, que incrementa en gran medida el coste de la pieza. Para garantizar un buen contacto en la zona central de la placa los fabricantes suelen darle un acabado ligeramente convexo, como se puede ver en la figura 16 del Capítulo 2: Marco Teórico. Con ello se consigue asegurar el buen contacto en la zona central, que es donde el CPU produce mayor flujo de calor. Estos aspectos deberían tenerse en cuenta a la hora de la fabricación de la pieza final.

Por último, como en todo sistema de refrigeración para microchips de ordenador, se debe emplear pasta térmica para cubrir las microdeformidades de los materiales metálicos en contacto. Por ello, el producto final deberá incluir pasta térmica, que generalmente aplica el propio usuario durante el proceso de montaje del sistema.

En cuanto a las aletas, como se ha justificado tienen un espesor de 0,3 mm. Su separación es también de 3 mm y tienen una profundidad de 1 mm. Con estas dimensiones, la pieza alberga 64 micro aletas.

Finalmente, se ha tenido en cuenta que la pieza ha de ser mecanizable. Por tanto, se ha contado con el uso de una fresadora que emplee un disco de 0,3 mm y diámetro 40 mm [47] para realizar un fresado periférico.

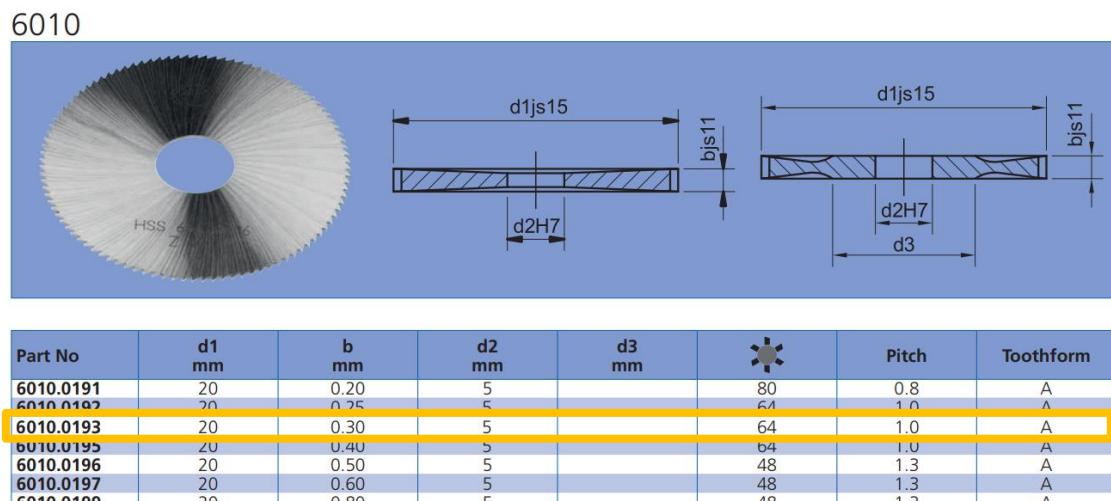


Figura 58: Catálogo herramientas fresadora

Así, la separación con las paredes de la zona central diseñada permite usar herramienta como esta. No obstante, también existen otras opciones para fabricar la pieza, como por forja. La elección final dependerá del tamaño de las tiradas, los costes y los materiales.

Finalmente, en cuanto al material usado para la pieza, las dos opciones posibles son el cobre y el aluminio, ya que presentan la mejor relación rendimiento/coste. A continuación, se muestra una tabla resumen con las ventajas y desventajas de cada opción:

Material	Ventajas	Desventajas
Cobre	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Conductividad térmica muy elevada (399 W/mK).</li> <li>○ Fácil de mecanizar y forjar.</li> <li>○ Es el material más común para esta pieza según se ha visto en el estudio de mercado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Coste elevado.</li> <li>○ Con radiadores de aluminio, puede desarrollar corrosión galvánica.</li> </ul>
Aluminio	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fácil de mecanizar y forjar.</li> <li>○ Mucho menor coste que el Cu (~10%).</li> <li>○ Mismo material que radiadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Conductividad térmica menor (235 W/mK).</li> <li>○ Estéticamente puede ofrecer un acabado menos <i>premium</i>.</li> </ul>

Tabla 13: Ventajas/Desventajas materiales

Aplicando los resultados de la casa de la calidad realizada en el capítulo anterior, se ha visto que aspectos como acabados exteriores y calidad de materiales han resultado en un mayor peso relativo frente al coste de fabricación. Por tanto, por coherencia con las especificaciones definidas el material que mejor se adapta al producto es el cobre. No obstante, si más adelante se viera que el incremento de costes de fabricación compromete otros requisitos establecidos, como el precio de venta al público inferior a 100€, podría revisarse esta elección.

### 5.2.2 Difusor

El difusor es la pieza encargada de distribuir a lo largo de los micro canales del intercambiador de calor el flujo de líquido impulsado por la bomba. Para ello debe encajar entre ambas piezas. Al no estar sometido a mayores esfuerzos mecánicos no requiere de mayor sujeción que el propio montaje entre ambas piezas.

En cuanto a su diseño, como se ve a continuación consiste en una plancha de 2 mm con un orificio central que dirige el flujo y unos salientes laterales para alinearla con el intercambiador de calor. De nuevo, se pueden ver los planos de detalle de la pieza en el Documento 3: Planos.

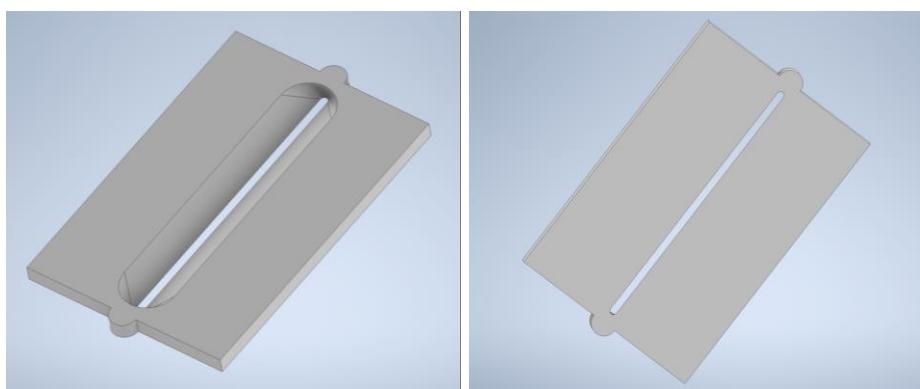


Figura 59: Modelo difusor

En cuanto a los materiales, esta pieza no está sujeta a esfuerzos mecánicos y será de plástico ABS. Este material es un termoplástico resistente a las temperaturas, por lo que es muy adecuado para este tipo de aplicación, donde estará expuesto a temperaturas de hasta 100 °C.

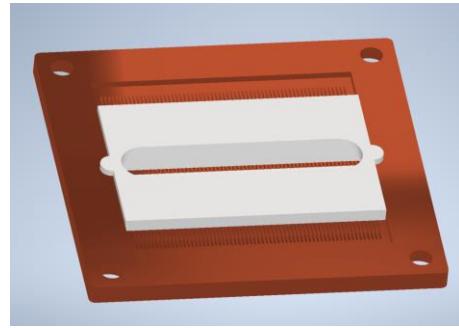


Figura 60: Modelo intercambiador de calor y difusor

### 5.2.3 Cuerpo del bloque

El cuerpo del bloque tiene por función dirigir el flujo de líquido que proviene del radiador hacia las micro aletas del intercambiador de calor. Entre medias, debe pasar por la bomba, que ya se ha seleccionado previamente. Las distintas piezas que lo compongan deberán estar selladas herméticamente para evitar fugas.

Para modelar la pieza mediante *Autodesk Inventor*, se hizo en primer lugar como una única pieza con varios niveles: la entrada, la bomba y la unión con el intercambiador de calor. Posteriormente, este único cuerpo se cortó mediante planos horizontales a distintas alturas para conformar piezas independientes que pueden ser fabricadas de forma más sencilla mediante inyección de plásticos. También, se diseñó en primer lugar sin ángulos de desmoldeo para no trabajar con medidas con decimales a medias alturas, y se le aplicaron ángulos de desmoldeo de 2º al final.

Por último, se recuerdan rápidamente los conceptos que en el capítulo anterior se establecieron para el diseño de esta pieza:

- Entrada y salida del líquido por la parte superior del bloque.
- Rácores a 90º rotatorios.
- Modelo de bomba ya seleccionado integrado en el bloque.
- Sistema de anclaje con presión uniforme.
- Ajuste al intercambiador de calor diseñado.
- Facilidad de mantenimiento.

Siguiendo estas guías se ha diseñado un bloque de agua que consta de 4 piezas más una serie de juntas de estanqueidad encargadas del sellado. Se van a ir comentando una a una a continuación. En primer lugar, esta es la apariencia externa del conjunto. Se ha empleado el modo de visualización sombreado con aristas para facilitar distinguir las piezas que componen el bloque.

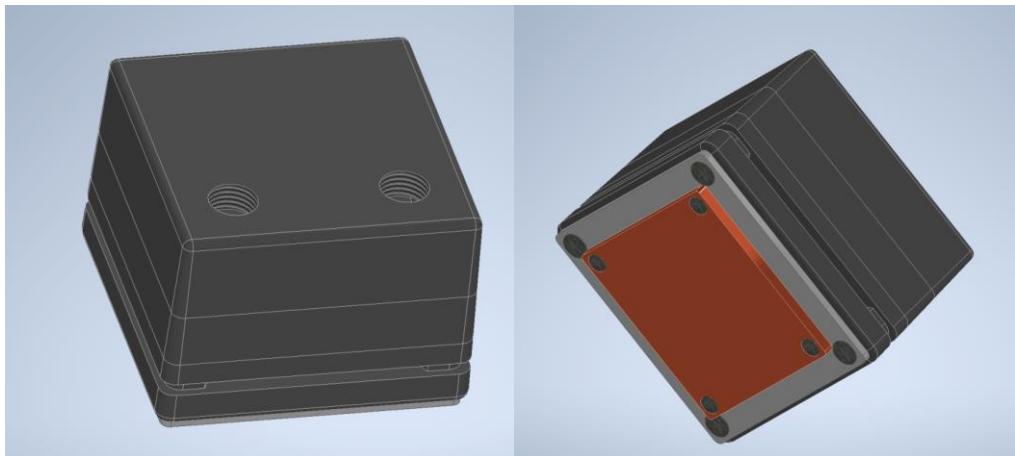


Figura 61: Modelo bloque

La primera pieza es geométricamente la más sencilla, la Tapa superior:

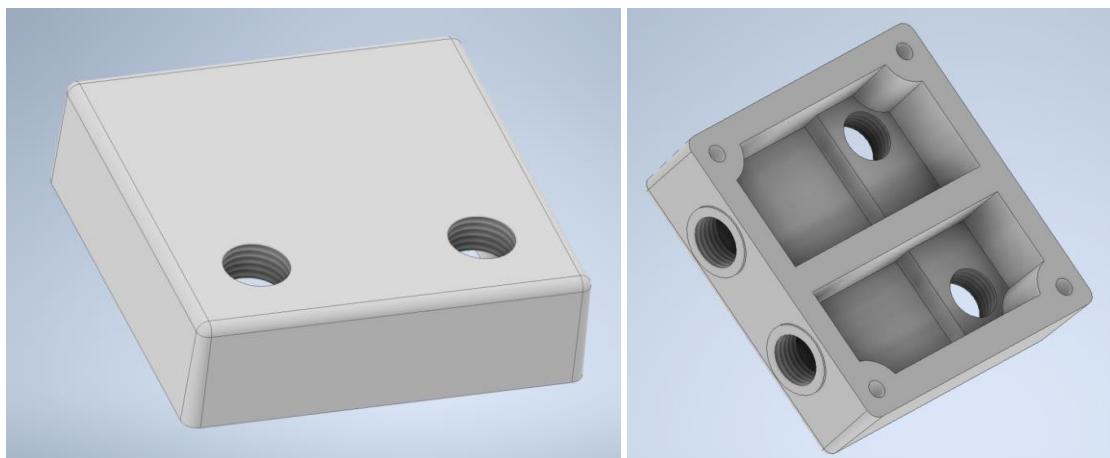


Figura 62: Modelo tapa superior

Cuenta en la parte superior con dos roscas G1/4, estándar de los racores de refrigeración líquida y aplicaciones similares. Esto garantiza facilitar el mantenimiento y modularidad. Están ubicadas en la parte superior como se pretendía, de forma que no puedan colisionar con ningún otro elemento de la placa base.

Cuenta, además, con otras dos roscas G1/4 en la parte lateral. Estas están pensadas para colocar un tapón estándar que pueda emplearse como puerto de relleno y vaciado del sistema, facilitando de nuevo el mantenimiento del circuito y dándole funcionalidades al usuario.

Finalmente, ambas cámaras tienen una sección bastante mayor a la de los tubos o el resto de secciones del bloque. Esto se ha hecho para ralentizar la velocidad del fluido en esta cámara. Al circular el fluido a menor velocidad, las posibles burbujas de aire que puedan surgir en el circuito con el tiempo perderán también velocidad. Esto permitirá que las burbujas se acumulen en la zona superior del bloque por gravedad, a modo de depósito, como se muestra en la siguiente imagen, donde ya se incluye la siguiente pieza. Tiene un diseño asimétrico para darle mayor sección a la entrada del fluido, pues es la que va directamente a la bomba.

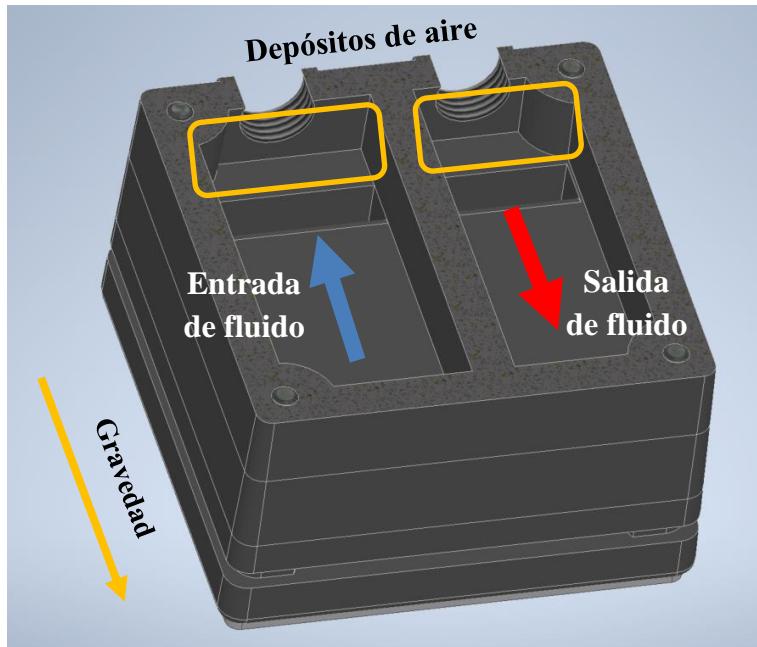


Figura 63: Vista seccionada Tapa superior

Con esto se pretende evitar la acumulación o el paso de bolsas de aire en la bomba, que como se ha visto es causante de mal funcionamiento, degradación y ruidos.

La siguiente pieza es la cámara de la bomba. Su parte superior hace de suelo del primer nivel, con unas secciones por donde entra y vuelve el fluido. También en esta cara se incluyen las hendiduras para las juntas de estanqueidad. Se hará más adelante un apartado especial para comentar las juntas empleadas.

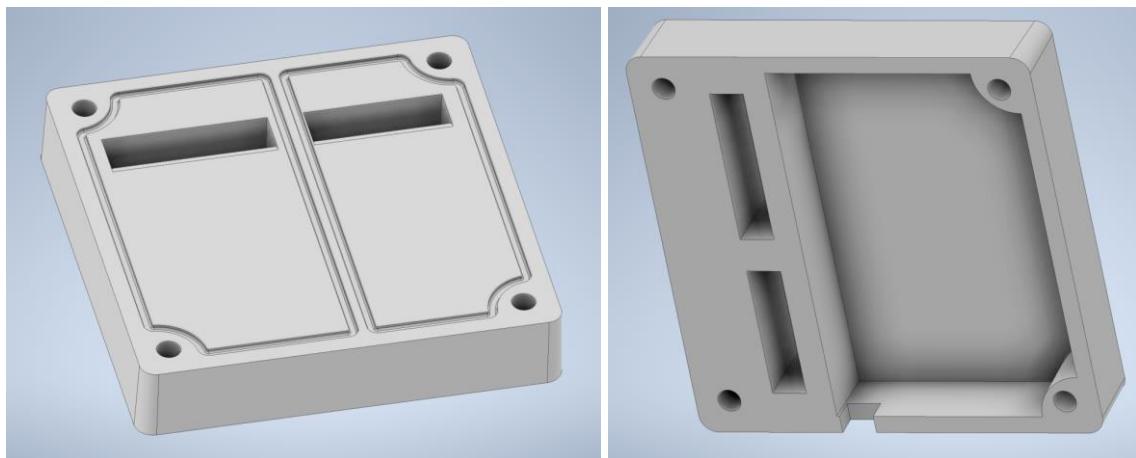


Figura 64: Modelo cámara bomba

Por la parte inferior se tiene la continuación de los conductos, que desenvocan en la siguiente pieza. Además, tiene una cámara abierta al aire libre que es la cámara de la bomba. Aquí se ubica la parte electrónica de la bomba, que debe estar en un compartimento estanco seco. Hay un orificio por el que extraer los cables de la bomba, que el usuario deberá conectar. A falta de tener información exacta de las dimensiones del cable de la bomba se ha creado una salida de dimensiones aproximadas que, con el producto final, podría ajustarse.

A continuación, se muestra una vista seccionada del conjunto con la bomba instalada. Esta va atornillada a la siguiente pieza, que se describirá a continuación.

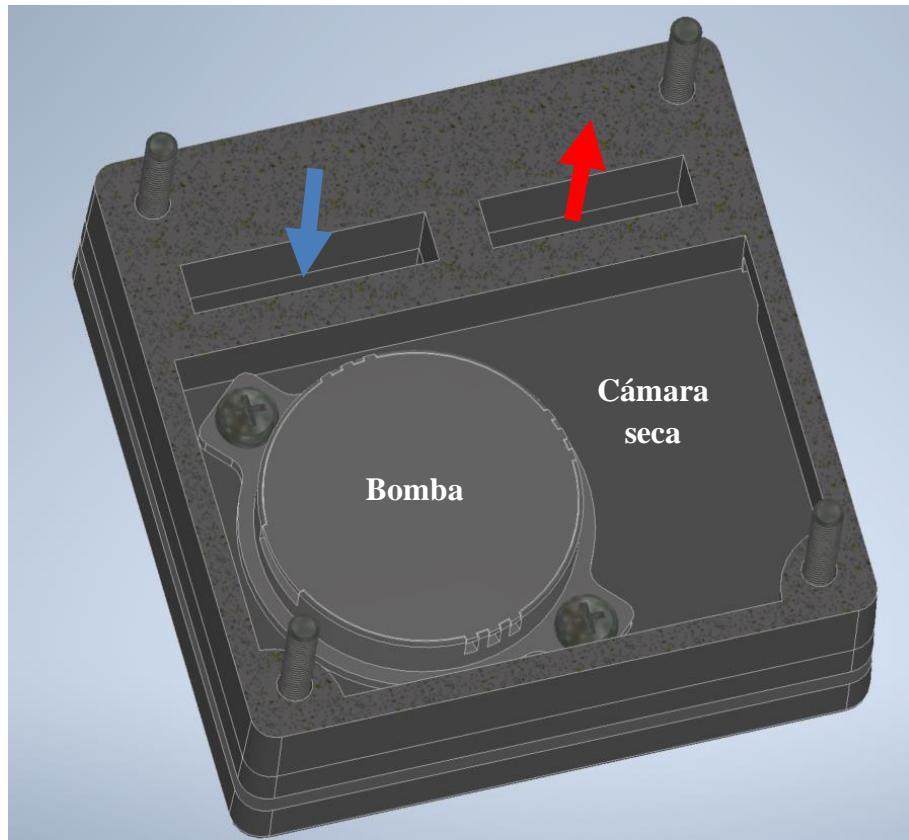


Figura 65: Vista seccionada cámara bomba

El modelo de bomba seleccionado incorpora una junta tórica para sellar herméticamente la cámara donde se ubica el rotor:

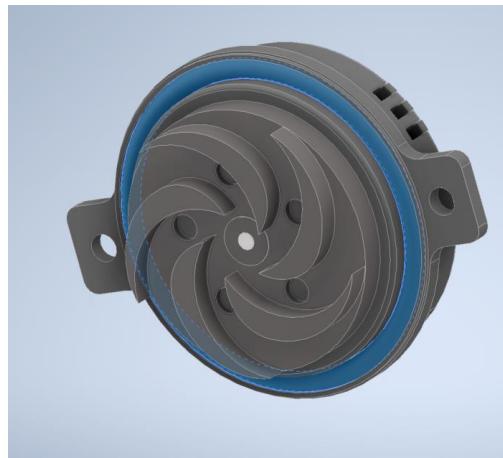


Figura 66: Modelo bomba

La siguiente pieza se ha nombrado Cámara inferior. Es la pieza más compleja ya que, además de dirigir el flujo hacia la entrada de la bomba, también tiene en su exterior las ranuras donde se apoyará el sistema de montaje.

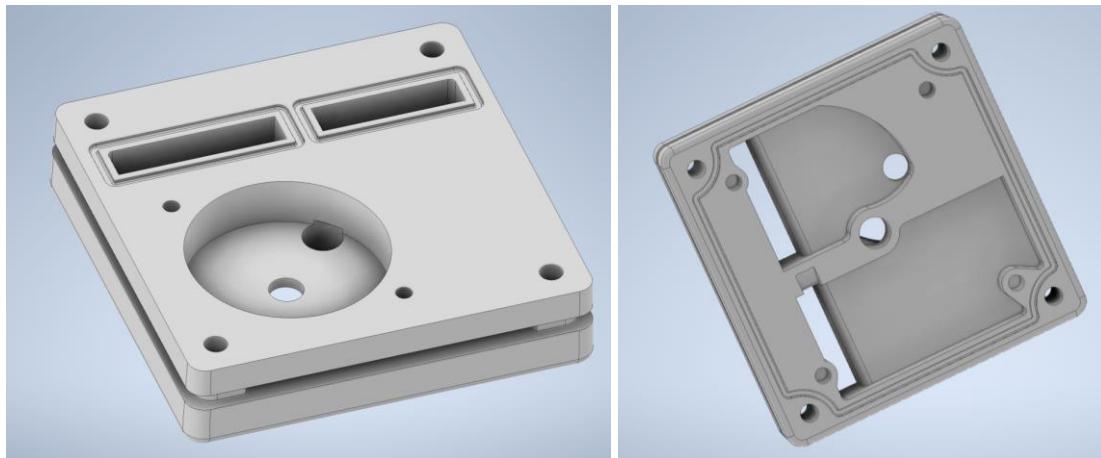


Figura 67: Modelo cámara inferior

Al tratarse de una bomba centrífuga, el fluido debe entrar a la bomba por el centro de la misma y es expulsado con más energía por el lateral. Por ello la bomba está colocada en una posición excéntrica, de forma que la salida de la bomba sí cuadre con el centro del bloque.

El recorrido del fluido se puede ver a continuación:

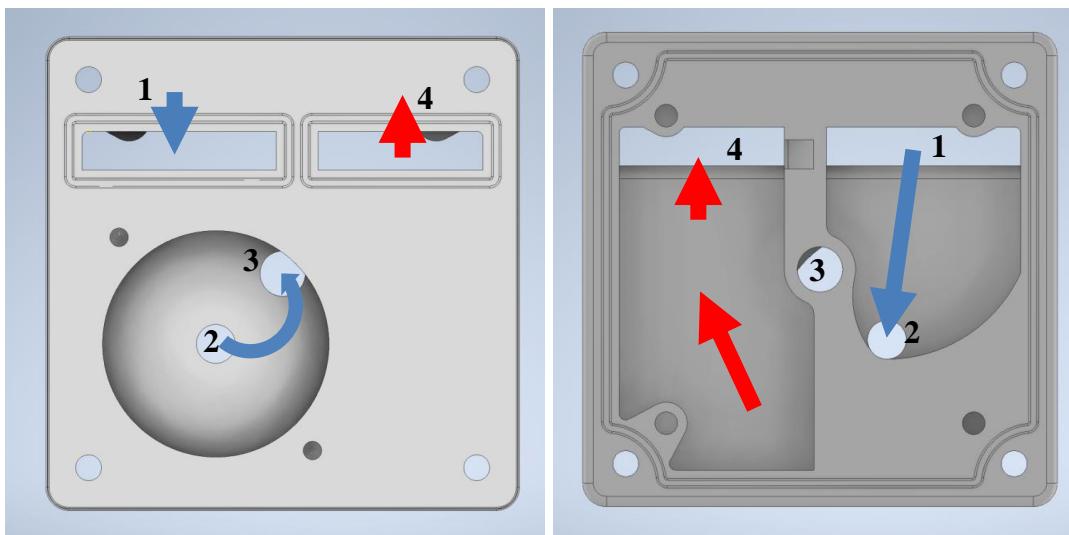


Figura 68: Esquema recorrido fluido

1. Canal de entrada de líquido frío.
2. Puerto de entrada a la bomba.
3. Puerto de salida de la bomba.
4. Salida del agua caliente.

El fluido expulsado por la bomba llega al difusor, atraviesa el intercambiador de cobre y es recogido en la cámara que desemboca en 4.

En esta misma pieza se encuentran las ranuras exteriores para el sistema de anclaje. Esto se describirá en detalle en un apartado específico más adelante.

Por último, el bloque queda unido con el intercambiador de calor y el difusor mediante la Tapa inferior. Esta pieza, de 2 mm de espesor, tiene un rebaje donde encaja el difusor. En el centro del rebaje tiene el agujero de salida del fluido de la bomba. Después es recogido en los canales laterales y redirigido a la salida de agua caliente:

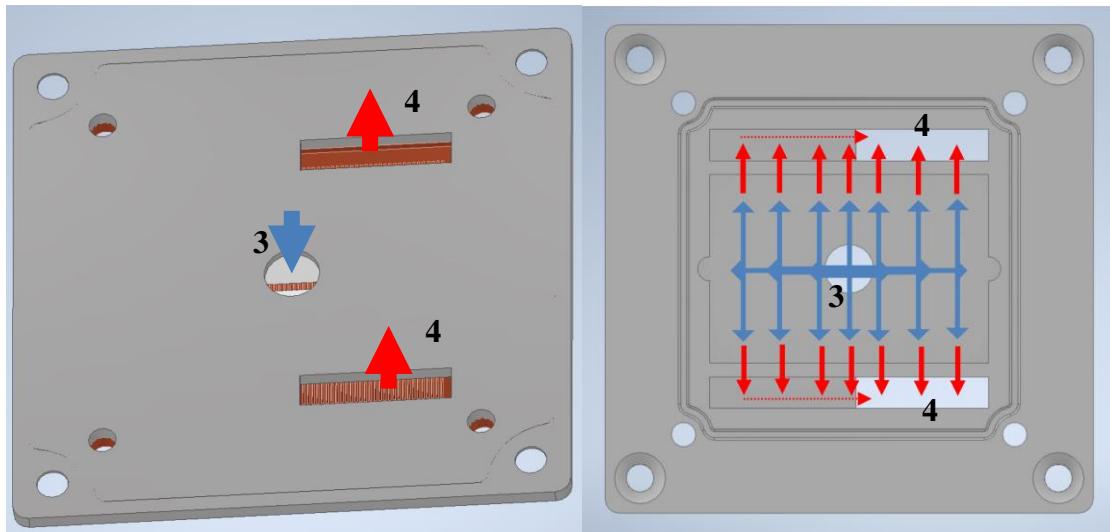


Figura 69: Modelo tapa inferior

Por las características del ABS, de las cuales ya se ha hablado, todas las piezas del bloque serán de este material. Por ello, se ha tenido esto en cuenta en su diseño para poder fabricarse todas estas piezas por inyección de plásticos. Para ello se ha tenido en cuenta en las distintas geometrías y a la hora de separar las distintas piezas que deben poder extraerse del molde y también se les ha aplicado ángulos de salida de  $2^\circ$  a las paredes. También se ha tenido en cuenta el material a la hora de crear paredes de suficiente espesor y en las zonas sometidas a mayores cargas mecánicas, como cerca de los tornillos.

Por último, se va a realizar un esquema visual del recorrido del fluido en el conjunto del bloque:

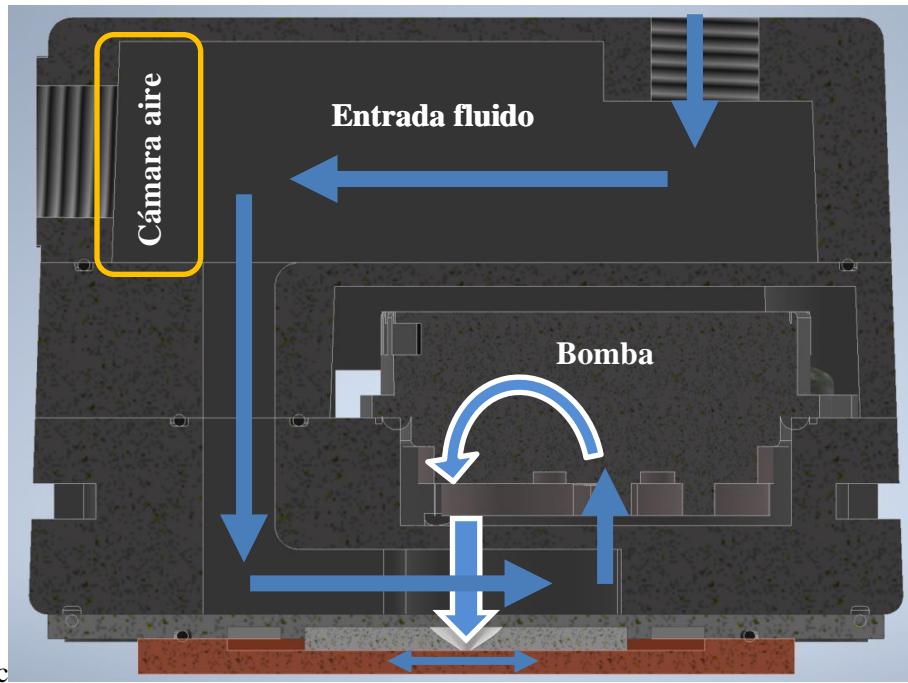


Figura 70: Esquema recorrido fluido frío

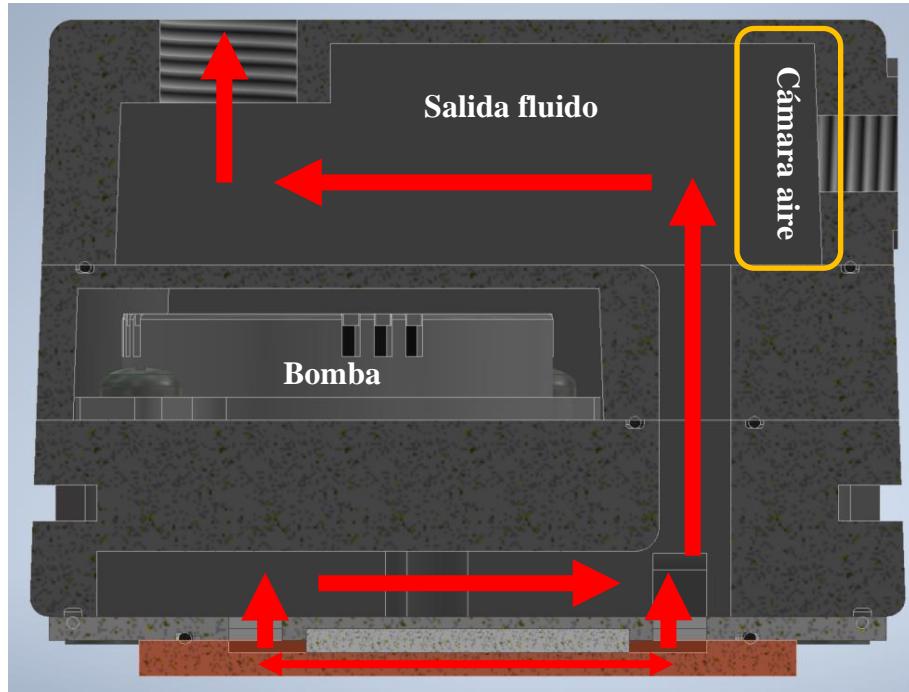


Figura 71: Esquema recorrido fluido caliente

Por último, en cuanto a la tornillería que mantendrá las piezas unidas se han seleccionado tres tipos de tornillo con distinta longitud y diámetro. La placa intercambiadora de calor de cobre emplea cuatro tornillos DIN EN ISO 7046-1 H M3 x 10mm que la unen con la cámara inferior. La tapa inferior, cámara inferior, cámara de la bomba y tapa superior se montan con cuatro tornillos DIN EN ISO 7046-1 H M3,5 x 35 mm de profundidad. Finalmente, la bomba se asegura mediante dos tornillos DIN EN ISO 7045 H M3,5 x 6 mm. De nuevo, se puede comprobar su posición en el conjunto en los planos del Documento 3: Planos.

Tornillo	Cantidad
DIN EN ISO 7046-1 H M3 x 10	4
DIN EN ISO 7046-1 H M3,5 x 35	4
DIN EN ISO 7045 H M3,5 x 6	2

Tabla 14: Tornillería bloque

#### 5.2.4 Juntas de estanqueidad

Se han utilizado una serie de juntas para cerrar herméticamente todo canal por donde circule fluido. Esto es fundamental para que las distintas piezas que componen el bloque queden correctamente unidas y evitar fugas. Para ello, se han empleado juntas de estanqueidad de 1 mm de diámetro, adecuadas a las dimensiones del producto. Las juntas de estanqueidad se diferencian de las juntas tóricas en su forma, ya que pueden fabricarse con formas especiales distintas al toroide.

Empleando un catálogo de juntas de estanqueidad de un fabricante [48] se ha seleccionado como posible material para las juntas el EPDM. Este material soporta temperaturas de hasta 130°C de forma continua, por encima de los 100°C que pueda encontrarse de forma puntual en

un PC de sobremesa. También trabaja correctamente hasta temperaturas de -50°C. Por último, tiene resistencias químicas excelentes, siendo especialmente resistente al agua.

Una vez seleccionado el material, deben comprobarse las dimensiones del alojamiento de la junta, que deberá estar en una de las dos caras a juntar de las piezas. Se trata de un cierre de tipo axial, y de acuerdo al catálogo citado para una junta de diámetro 1 mm la profundidad de la cajera será de 0,70 mm, su anchura 1,50 mm, y se emplearán radios de acuerdo de 0,30 mm en la base:

Diámetro	Cajera para Junta Tórica Radial			Cajera para Junta Tórica Axial		Radio
	Profundidad de Cajera		Anchura de Cajera	Profundidad de Cajera		
	Dinámico h	Estático h	b	+0,05	+0,2	+/-0,1
d	+0,05	+0,05	+0,2	+0,05	+0,2	+/-0,1
1,00	0,80	0,75	1,35	0,70	1,50	0,30
1,50	1,20	1,15	2,00	1,05	2,20	0,30
1,80*	1,45*	1,35*	2,40*	1,30*	2,60*	0,30*
2,00	1,65	1,55	2,70	1,45	2,85	0,30
2,50	2,10	1,95	3,35	1,90	3,55	0,30
2,65*	2,25*	2,05*	3,60*	2,00*	3,80*	0,30*
3,00	2,60	2,40	4,0	2,30	4,20	0,60
3,55*	3,10*	2,90*	4,80*	2,75*	5,00*	0,60*

Figura 72: Catálogo juntas tóricas [48]

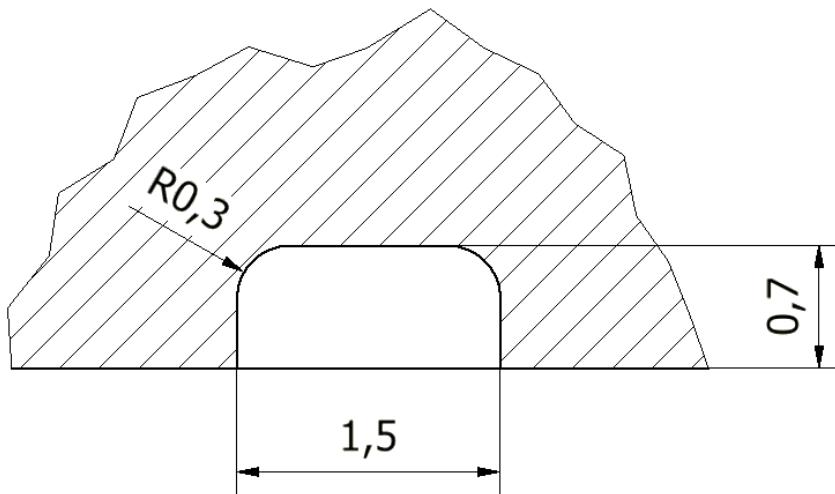


Figura 73: Alojamiento juntas de sellado

### 5.2.5 Ensamblaje del bloque de agua

Finalmente, se muestran a continuación imágenes del ensamblaje del bloque. De nuevo, en el Documento 3: Planos se encuentran los planos detallados de estas piezas y el conjunto con la lista de componentes completa.

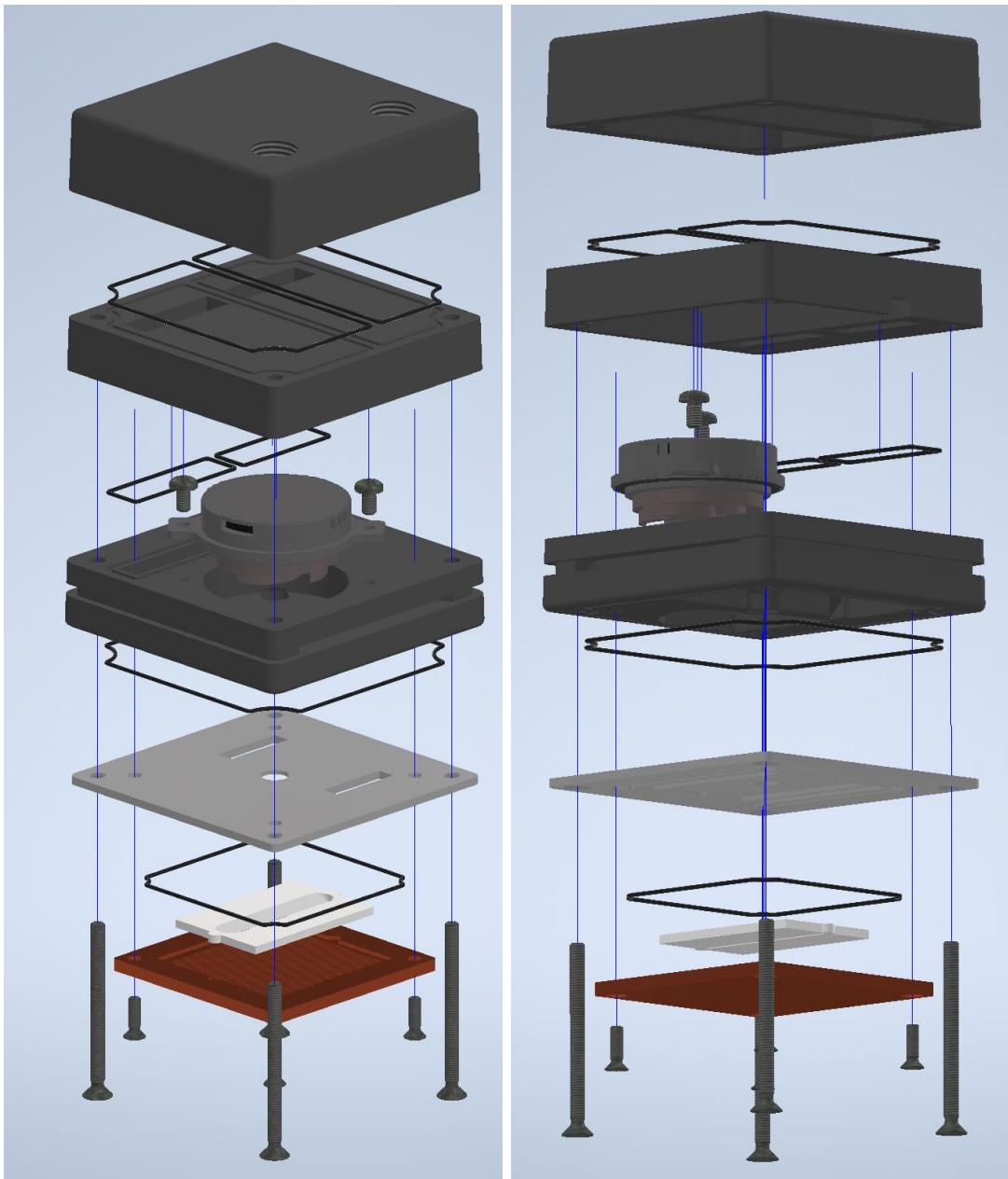


Figura 74: Despiece bloque CPU

#### 5.2.6 Sistema de montaje

Para el sistema de montaje se ha optado por un sistema doble, donde hay una parte general, fija al bloque, que es independiente de la plataforma en que se va a montar, y una parte variable según la plataforma.

La parte del amarre fijo se compone de una pieza de acero inoxidable de 3 mm de espesor que encaja en las hendiduras creadas en la cámara inferior:



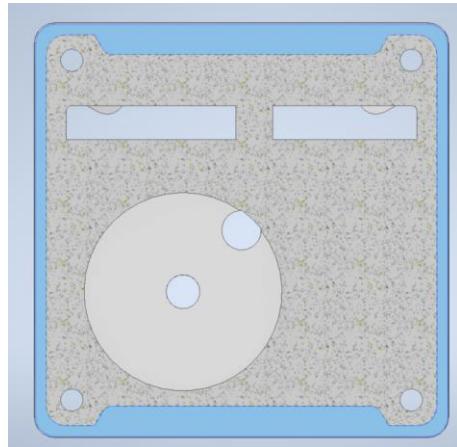


Figura 75: Hendiduras modelo cámara inferior

Estas hendiduras acoplarán la plancha metálica y, al estar distribuida con superficie de apoyo en todo el cuerpo de la pieza, permite una presión de montaje homogénea. La pieza, al ser independiente de las plataformas, se instalaría ya en fábrica. Está realmente conformada por 2 piezas iguales que, al insertarse por los dos extremos de los raíles, quedarían unidas:

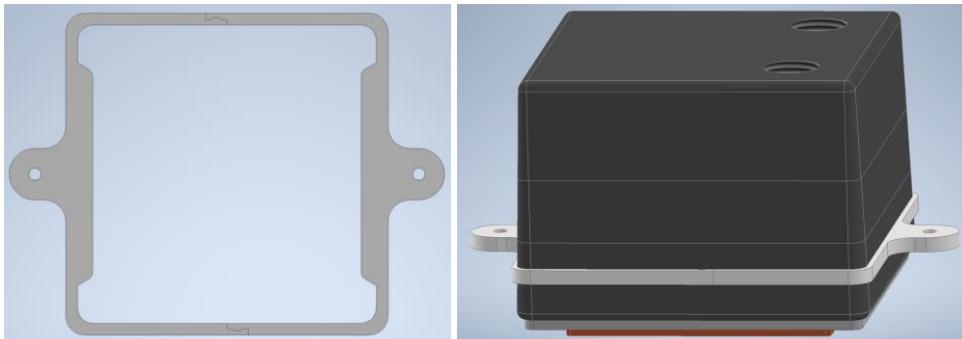


Figura 76: Modelo amarre general

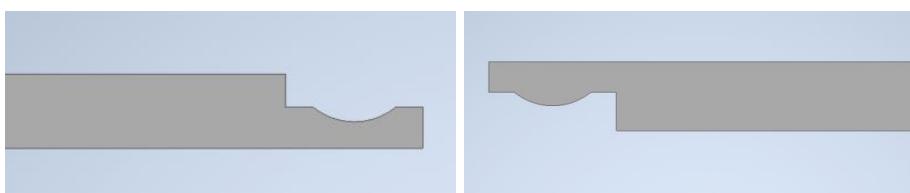


Figura 77: Sistema acople amarre general

De nuevo, los planos detallados de la pieza se pueden consultar en el Documento 3: Planos.

A este sistema de amarre fijo se acoplarán los sistemas dependientes de la plataforma empleada. Como se vio en el análisis de mercado, el producto debe ser como mínimo compatible con las últimas plataformas: Intel LGA1700 y AMD AM4. Ofrecer compatibilidad con plataformas antiguas sería positivo para el producto, pero por las limitaciones de la extensión del trabajo se diseñarán los sistemas de amarre de estas dos plataformas.

Para la plataforma AM4, se creó una placa base de referencia con las especificaciones dimensionales correspondientes a esta plataforma [49]. Para mantener los costes bajos, se evitó dar formas complejas a las piezas, de forma que puedan ser fabricadas de forma barata mediante corte de chapa, corte láser o extrusión:

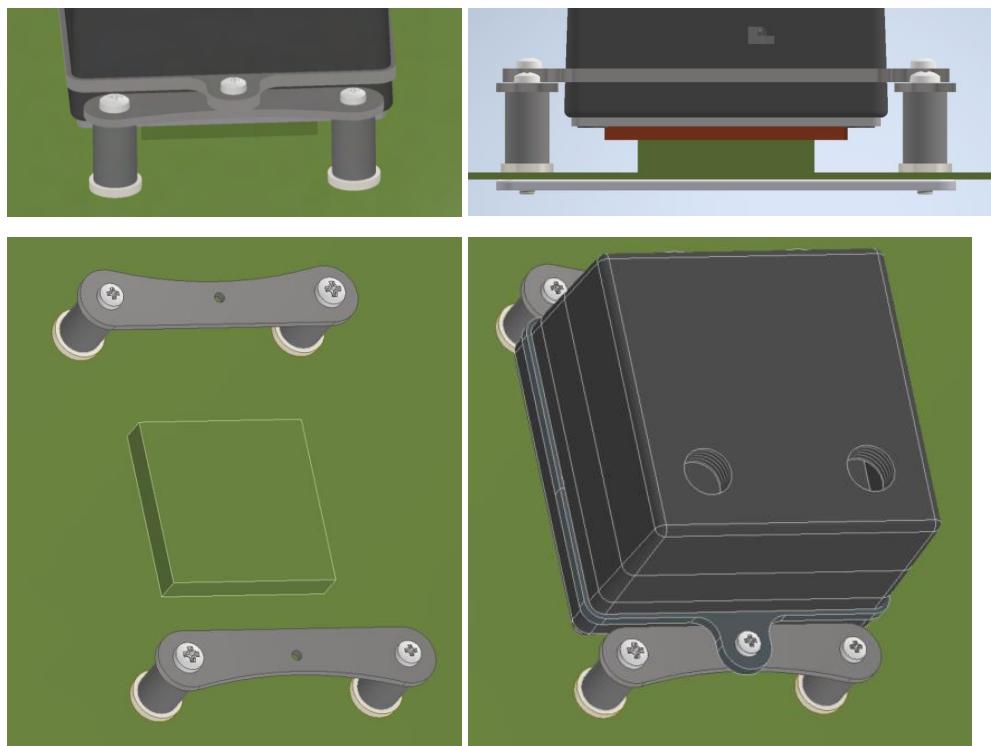
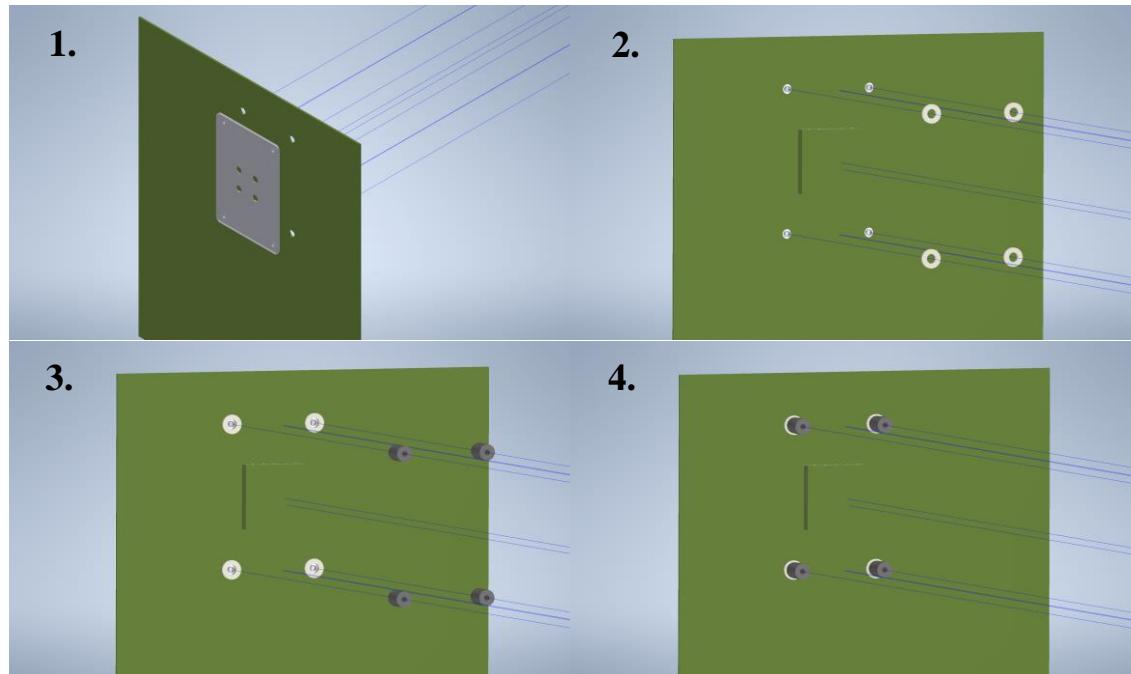


Figura 78: Modelo montaje AM4

Así, la parte correspondiente a la plataforma AM4 se compone de cuatro arandelas de plástico de 2 mm, cuatro espaciadores cilíndricos de 16 mm y una plancha metálica de 2 mm que permite unir el conjunto mediante tornillos. Este sistema permite, además, una instalación muy sencilla, ya que pueden montarse en primer lugar los amarres a la placa y, a continuación, colocar el bloque y amarrarlo mediante los dos tornillos. Se muestra seguidamente la secuencia de montaje:



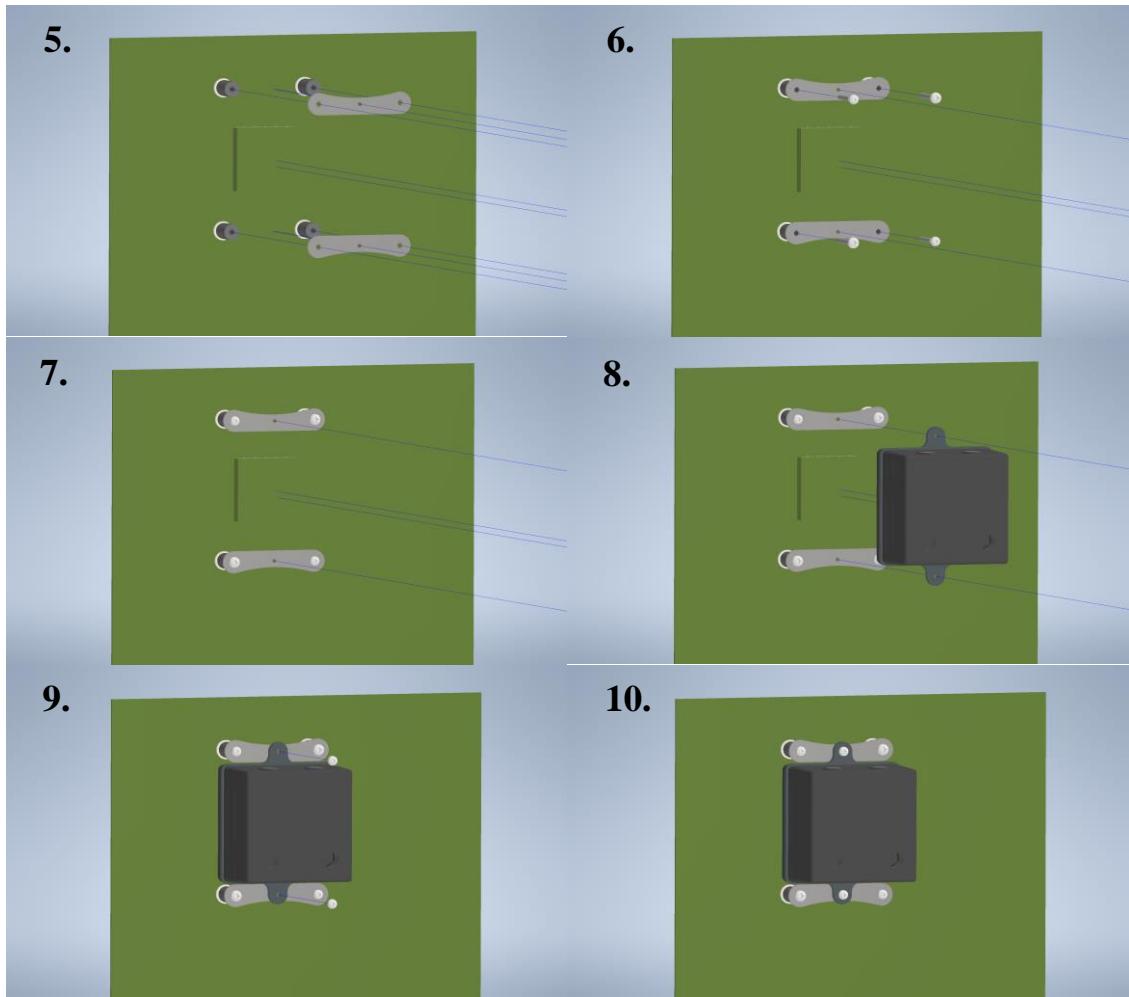


Figura 79: Secuencia de montaje

Pasos:

1. Instalación del *backplate* incluido con la placa base.
2. Colocación de las arandelas de plástico.
3. Colocación de los espaciadores.
4. Conjunto espaciadores y arandelas colocados.
5. Colocación del amarre para AM4.
6. Atornillado de los componentes anteriores al *backplate*.
7. Parte correspondiente al amarre para AM4 instalada.
8. Colocación del bloque.
9. Atornillado del bloque.
10. Instalación finalizada.

Para asegurar la presión suficiente del sistema de montaje, existe un juego mínimo entre ambos amarres de 0,3 mm:

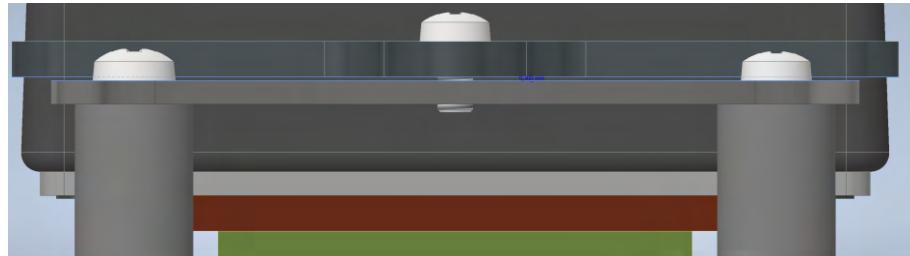


Figura 80: Juego entre amarres

Por último, destacar que todas las placas base de la plataforma AM4 ya llevan incluido un *backplate* trasero, que se ha aprovechado para el sistema. Esto no se da en la plataforma Intel y deberá suministrarse al usuario como parte del kit de montaje.



Figura 81: Backplate AM4

En cuanto a la plataforma Intel LGA1700, se tiene un sistema de amarre muy similar al visto, donde cambian las alturas de los espaciadores y la forma de la chapa de acero inoxidable:

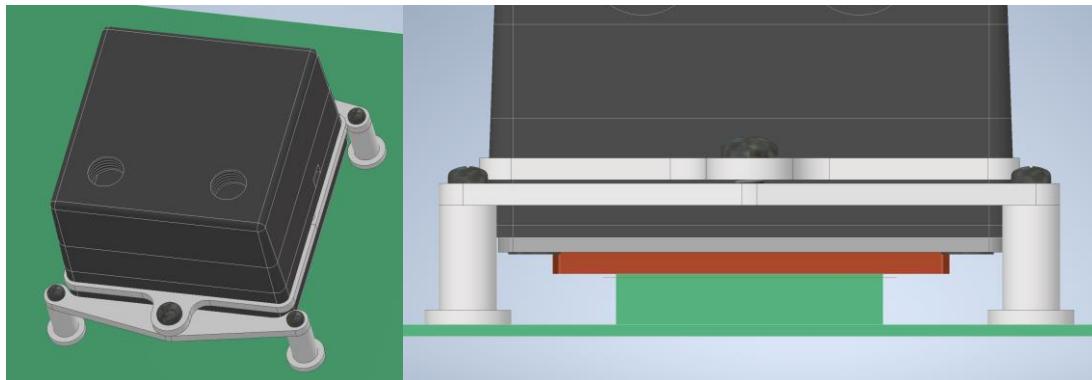


Figura 82: Amarre LGA1700

De nuevo se ha dejado un cierto margen entre las placas para crear algo de presión sobre el montaje. En esta plataforma es especialmente importante debido a que la plataforma presenta tolerancias de hasta 1 mm en la altura del IHS respecto a la placa base [50]. Finalmente, recordar que como estas placas base no incluyen el *backplate* para el montaje, deberá adquirirse por separado y suministrarse al usuario. Esta pieza puede adquirirse directamente a vendedores externos [51]:



Figura 83: Backplate LGA1700 de vendedor externo

Por último, se recuerda que todos los planos de detalle de las distintas piezas descritas se encuentran para su consulta en el Documento 3: Planos y se adjunta una tabla resumen de los componentes de estos subconjuntos, donde además se indica la masa de los elementos diseñados. Este dato, que se ha obtenido mediante el propio software *Autodesk Inventor* especificando el material de las piezas, es relevante para el posterior cálculo del coste de los materiales en el presupuesto.

Subconjunto	Pieza	Cantidad	Origen	Material	Masa (g/ud.)
Bloque	Intercambiador de Calor	1	Fabricación propia.	Cobre	60
	Difusor	1	Fabricación propia.	ABS	2
	Tapa Inferior	1	Fabricación propia.	ABS	8
	Cámara Inferior	1	Fabricación propia.	ABS	61
	Cámara Bomba	1	Fabricación propia.	ABS	33
	Tapa superior	1	Fabricación propia.	ABS	52
	DC-LT 2600 Ultra low noise ceramic 12V	1	Adquirido de terceros.	-	-
	ISO 7046-1 M3 x 10	4	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	-
	ISO 7046-1 M3 ,5 x 44	4	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	-
	ISO 7045 - M3,5 x 6	2	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	-
	Junta de estanqueidad 1	1	Adquirido de terceros.	EPDM	-
	Junta de estanqueidad 2	1	Adquirido de terceros.	EPDM	-
	Junta de estanqueidad 3	1	Adquirido de terceros.	EPDM	-
	Junta de estanqueidad 4	1	Adquirido de terceros.	EPDM	-
	Junta de estanqueidad 5	1	Adquirido de terceros.	EPDM	-
	Junta de estanqueidad 6	1	Adquirido de terceros.	EPDM	-
Sistemas de montaje	Amarre General	2	Fabricación propia.	Acero inoxidable	17
	Amarre AM4	2	Fabricación propia.	Acero inoxidable	12
	Amarre LGA1700	2	Fabricación propia.	Acero inoxidable	15
	Arandelas	4	Fabricación propia.	ABS	<1
	Espaciadores AM4	4	Fabricación propia.	ABS	1
	Espaciadores LGA1700	4	Fabricación propia.	ABS	1
	DIN 7985 M3x6	2	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	-
	DIN 7985 M3,5x25	4	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	-
	DIN 7985 M3x25	4	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	-
	Backplate LGA1700	1	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	-

Tabla 15: Tabla resumen componentes

## 5.3 Prototipado del bloque.

Se ha empleado la impresión 3D para generar un prototipo el bloque de agua diseñado. Mediante una impresora *Anycubic i3 Mega S* se han imprimido las distintas piezas que componen el bloque con filamento PLA. Con este prototipo se ha comprobado a nivel mecánico el encaje de las distintas piezas, su alineación, etc. Se han descubierto gracias a esto algunos desfases entre los canales de distintos niveles, y al mismo tiempo se han visto zonas a reforzar o simplificar. Con esta información, se mejoraron los modelos diseñados. Los cambios realizados ya se han visto directamente reflejados en este documento. Por último, se ha comprobado también el ajuste del amarre al bloque.

### 5.3.1 Tapa superior

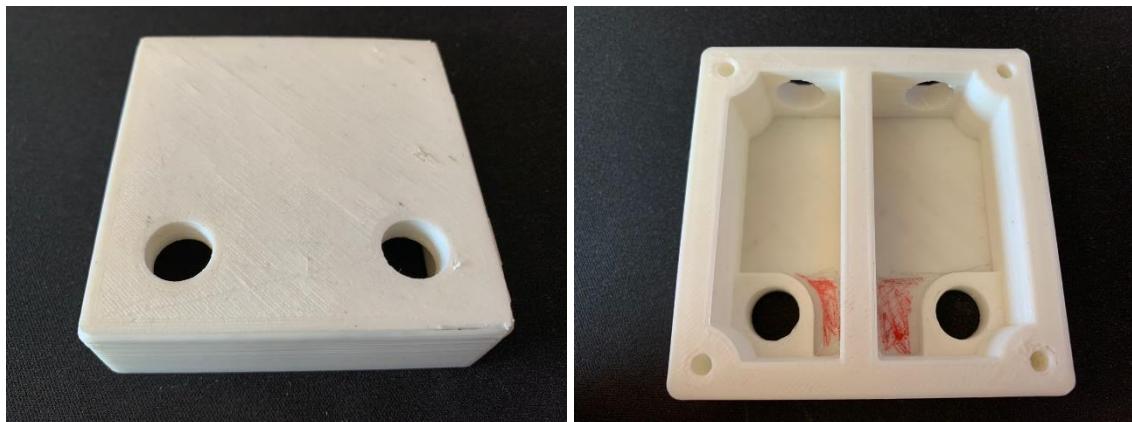


Figura 84: Prototipo tapa superior

Se decidió simplificar la forma reforzando la zona de roscado de los racores G1/4”.

### 5.3.2 Cámara bomba

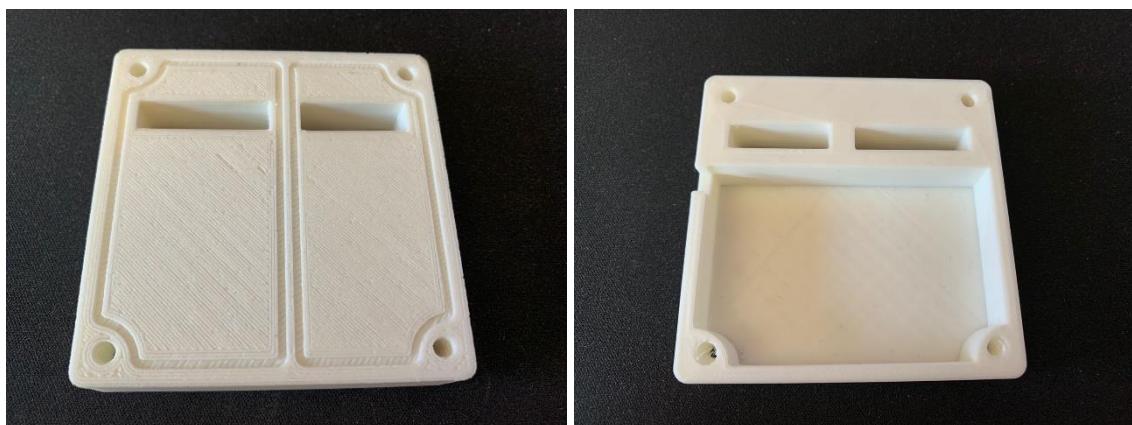


Figura 85: Prototipo cámara bomba

### 5.3.3 Cámara inferior



Figura 86: Prototipo cámara inferior

Se decidió llenar una de las zonas para evitar problemas de acumulación de líquido y dar rigidez a la pieza. También se acabaron igualando las secciones de los canales de entrada y salida, como se ha visto antes en los modelos de *Autodesk Inventor*.

### 5.3.4 Tapa inferior

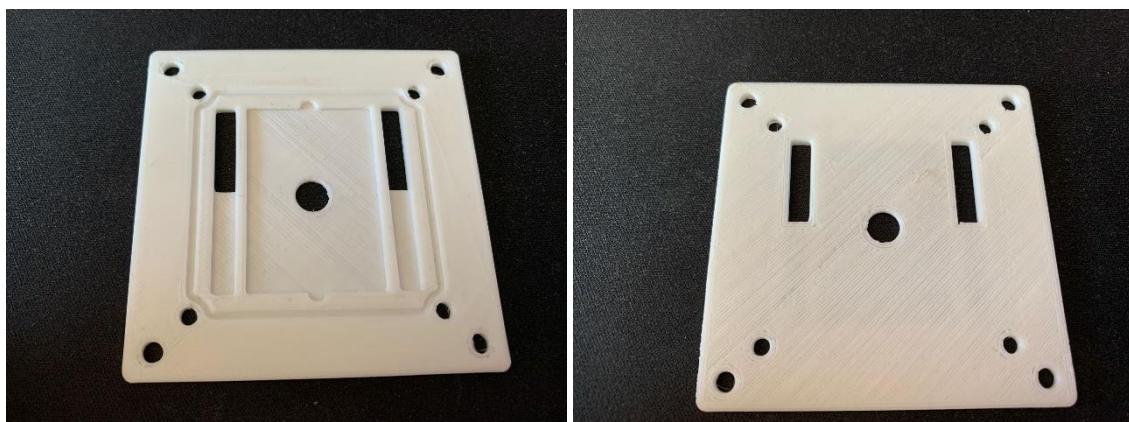


Figura 87: Prototipo tapa inferior

### 5.3.5 Difusor

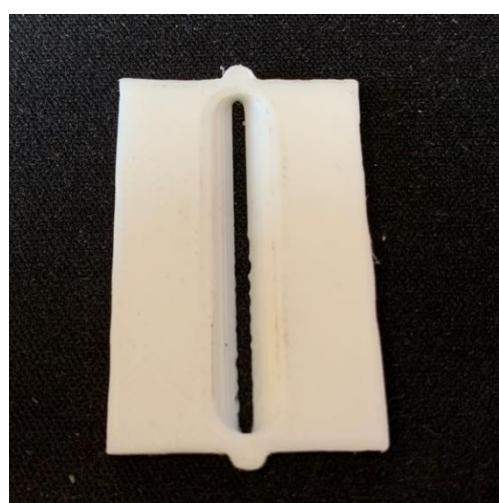


Figura 88: Prototipo difusor

### 5.3.6 Intercambiador de calor

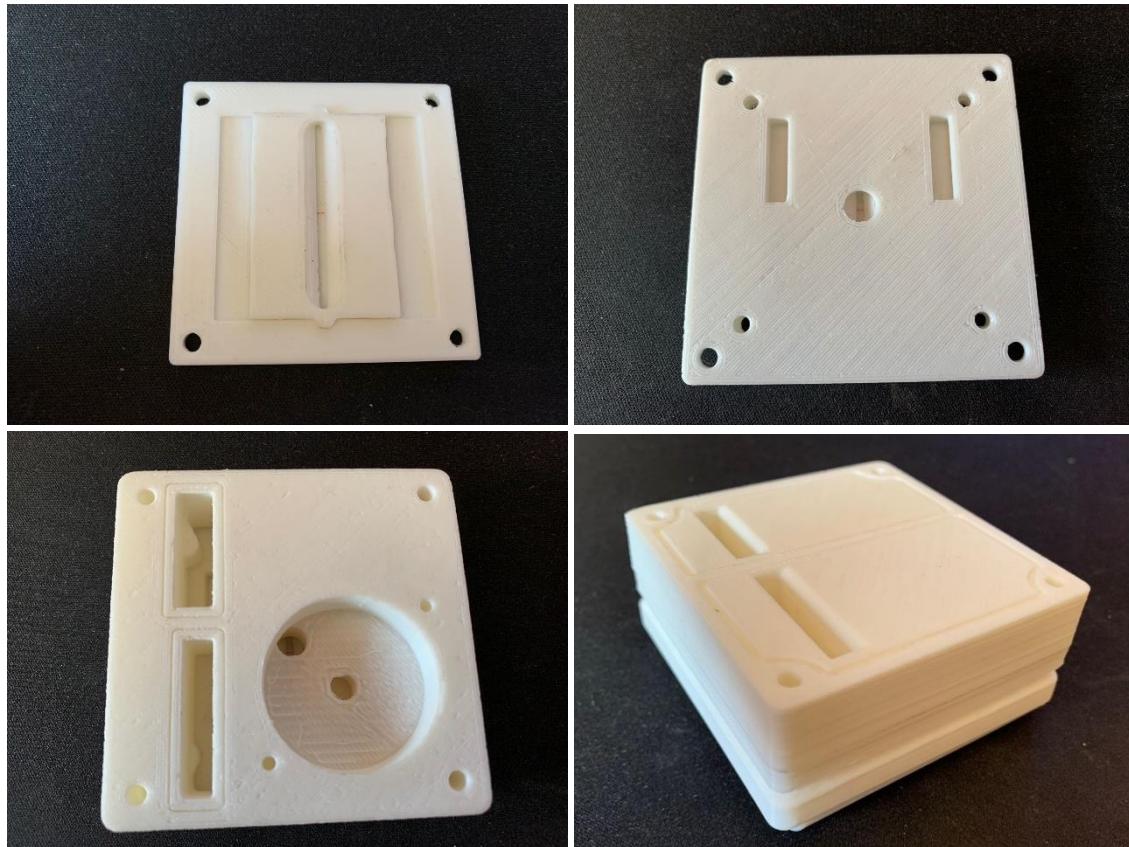


Figura 89: Prototipo intercambiador de calor

Se señala la dirección de las micro aletas, que no se han podido imprimir por su pequeño tamaño.

### 5.3.7 Montaje

Con el montaje se ha comprobado la correcta alineación de los tornillos, la continuidad de los canales



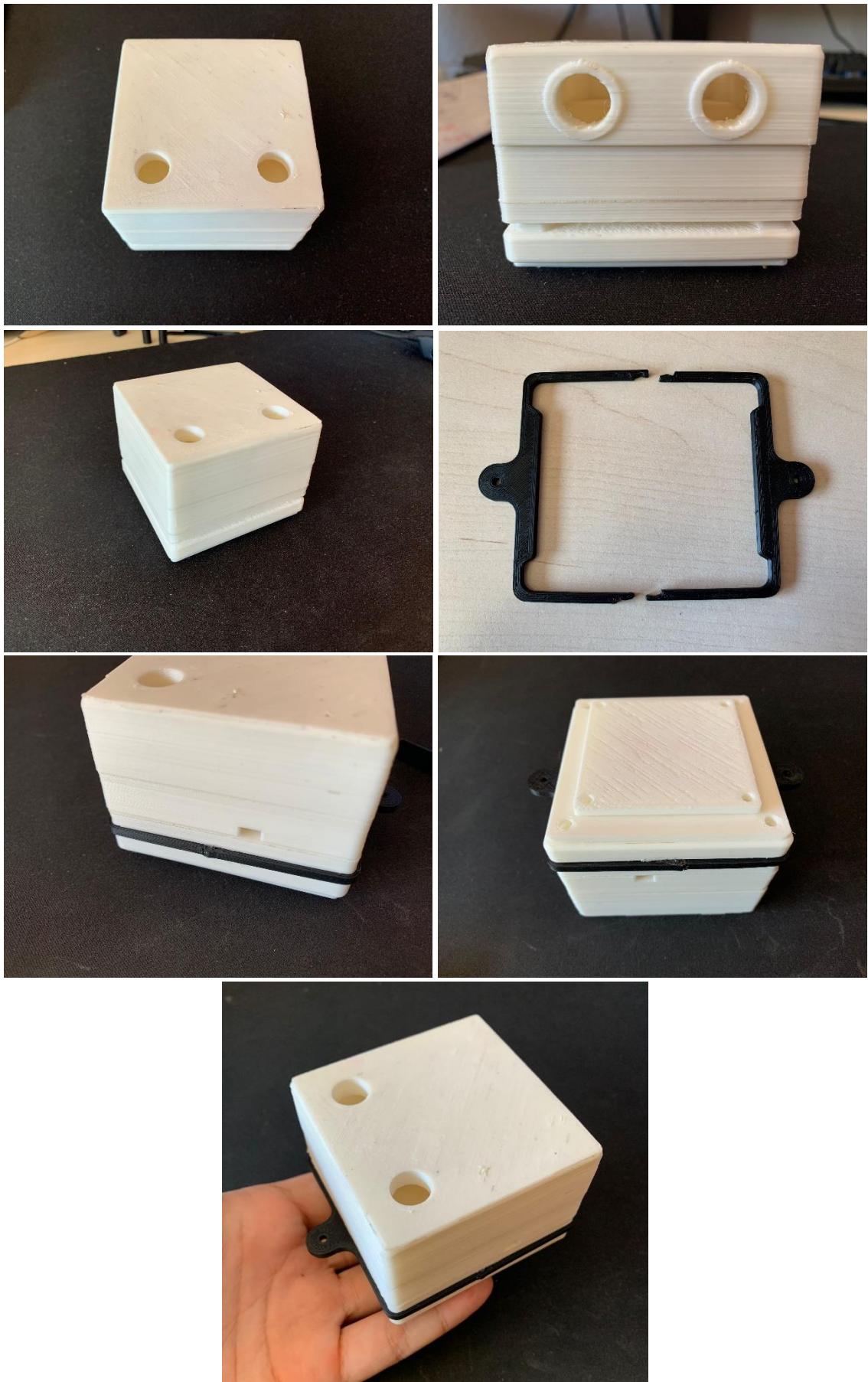


Figura 90: Montaje del prototipo

## 5.4 Diseño del indicador de caudal.

El indicador de caudal fue diseñado y modelado de forma similar al bloque. Estará compuesto de varias piezas: una base, de plástico ABS; una ventana transparente, de metacrilato; el rotor, también en ABS; y un soporte para su montaje, en acero inoxidable.

La base tiene forma de cápsula de café, con un diámetro de 44 mm y una profundidad de 32 mm. Sus dimensiones se han concretado de forma que pueda albergar los canales de entrada y salida del líquido, además del rotor central.

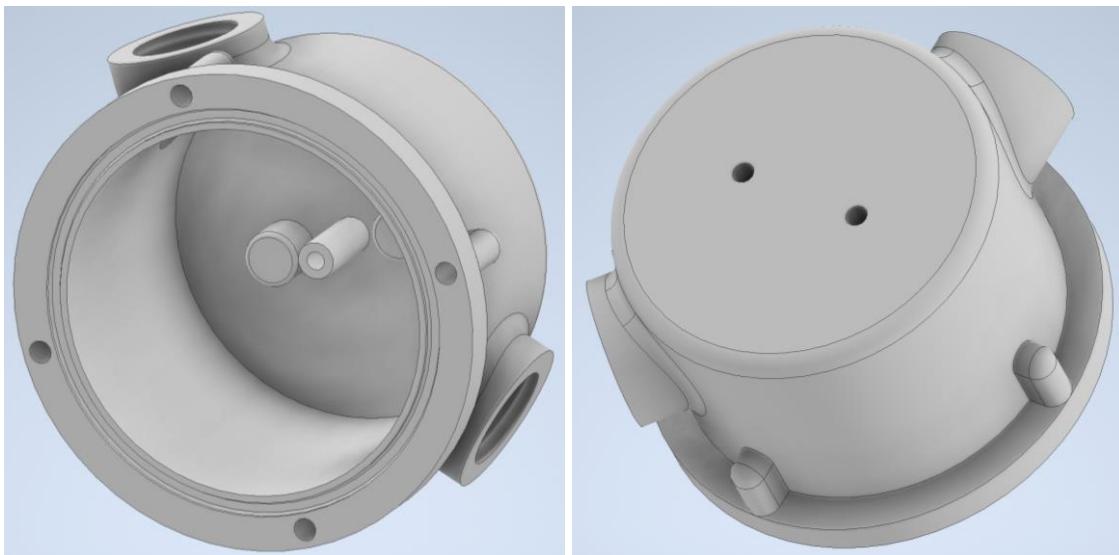


Figura 91: Modelo Base indicador de flujo

En el interior tiene un alojamiento para el eje del rotor. En la parte trasera se ubicarán los dos tornillos para su montaje. Además, en la parte frontal se han colocado 4 alojamientos para los tornillos que soporten la ventana transparente, de forma que ejerzan una presión uniforme y evitar fugas. Al igual que con el bloque de agua, se ha colocado en el interior una ranura donde se ubicará una junta tórica, con la que prevenir fugas.

Finalmente, se les ha dado a los canales de entrada y salida de fluido el ángulo adecuado para que, una vez montado en la posición deseada, los tubos salgan apuntando a su siguiente conexión del sistema, facilitando su enrutamiento y dando una apariencia más limpia al circuito.

La ventana de metacrilato transparente tiene un espesor de 2 mm y tiene cuatro taladros a través de los que pasarán los tornillos que la aseguren.

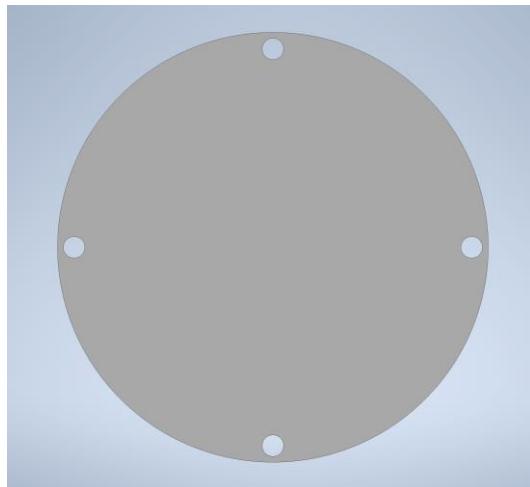


Figura 92: Modelo ventana acrílica

En cuanto al rotor, tiene un diseño muy simple ya que su única función es girar cuando exista circulación de fluido. Por ello, se ha diseñado con paletas rectas. El pequeño eje, de 1,8 mm de diámetro, irá encajado en el cilindro de la base, y se evitará que se salga al colocar la ventana.

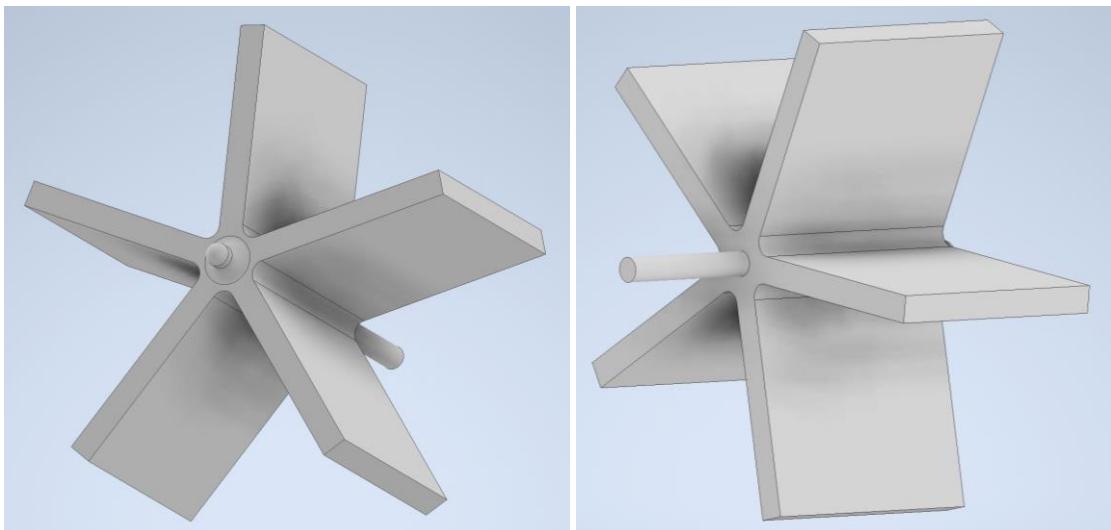


Figura 93: Modelo rotor

Por último, el sistema de montaje será una plancha de acero inoxidable de 1 mm de espesor, ya que el peso de esta pieza será muy bajo. Se asegurarán al sensor de flujo con dos tornillos, y al radiador con otros dos. Los dos tornillos del radiador se han separado la distancia correspondiente a los agujeros de montaje de dos ventiladores consecutivos. Como los ventiladores del sistema AIO se montarán en la parte superior del radiador de 240 mm, los agujeros en la parte inferior quedarán libres. Se han modelado los agujeros para los tornillos en forma de ranura para posibilitar cierto rango de movimiento para el indicador de flujo, tanto a nivel vertical como horizontal.

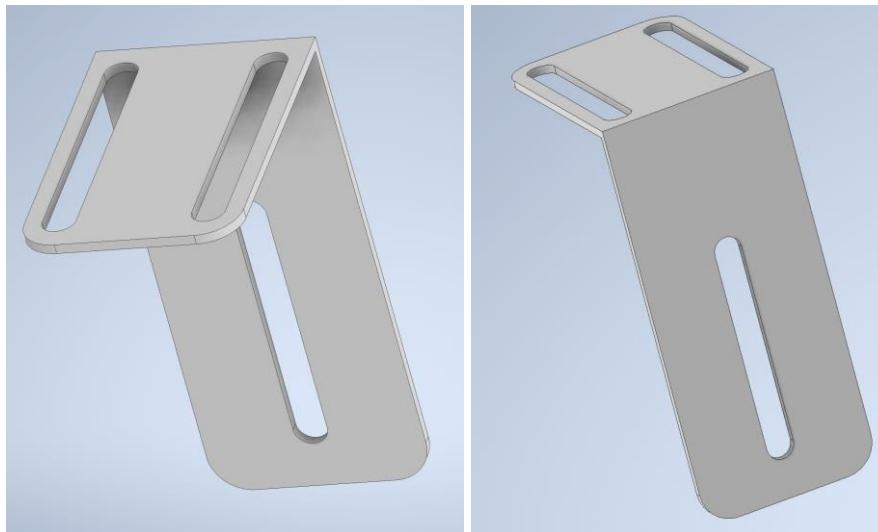


Figura 94: Modelo amarre indicador de flujo

Por último, el ensamblaje final de las piezas comentadas, que conforman el indicador de flujo, resulta:

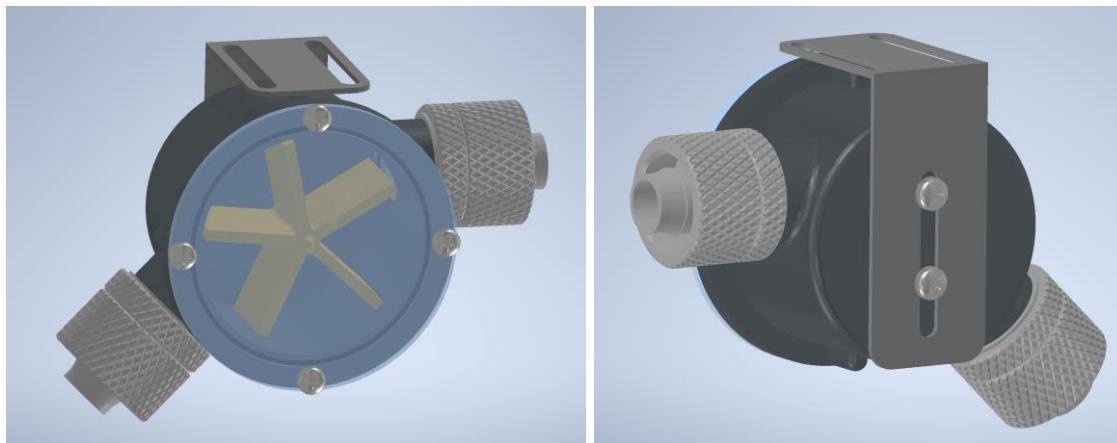


Figura 95: Ensamblaje indicador de flujo

La única consideración a tener para su montaje es que deberá atornillarse, en primer lugar, el sistema de montaje al radiador y, a continuación, el indicador de flujo al sistema de montaje. En el orden inverso no podrían asegurarse los tornillos del radiador.

Nuevamente, los planos de detalle de todas las piezas comentadas y el ensamblaje conjunto se encuentran en el Documento 3: Planos. Finalmente, se adjunta, a continuación, una tabla resumen con los elementos del indicador de flujo, material y masa.

nº	Pieza	Ctd.	Origen	Material	Masa (g/ud.)
1	Base	1	Fabricación propia.	ABS	16
2	Soporte	1	Fabricación propia.	Acero inoxidable	12
3	Acrílico	1	Fabricación propia.	Metacrilato	5
4	Rotor	1	Fabricación propia.	ABS	3
5	Junta tórica IF	1	Adquirido de terceros.	EPDM	-
6	ISO 7045 - M2,5 x 10	4	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	-
7	ISO 7045 - M3 x 6	4	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	-

Tabla 16: Resumen componentes indicador de flujo

## 5.5 Selección de radiadores y ventiladores.

Dada la gran interrelación entre las características del radiador, especialmente espesor y densidad de aletas, y las prestaciones del ventilador empleado, se va a justificar la selección de ambos en un mismo apartado.

En primer lugar, respecto a los radiadores, se van a seleccionar ambos (120 y 240 mm) con las mismas características de grosor y densidad de aletas. De esta forma, los ventiladores usados en ambos radiadores serán igualmente homogéneos.

Como se vio empleando el método de la casa de la calidad, el parámetro de los radiadores más importante en cuanto a rendimiento del sistema es la superficie total. Aspectos como su espesor y la densidad de aletas son de una importancia inferior. Este parámetro, la superficie, ya ha quedado fijado en el proceso de diseño. Se necesita un radiador de 120 mm y otro de 240 mm, dando la superficie equivalente de un radiador de 360 mm. Esto permite que no sea necesario emplear espesores elevados en el radiador, que podrían comprometer la compatibilidad o requerir ventiladores de muy altas prestaciones y, por tanto, perjudicar el coste y la sonoridad.

Por tanto, se van a buscar radiadores de características intermedias que ofrezcan una buena relación entre el rendimiento y la resistencia al paso del aire, de forma que posteriormente puedan seleccionarse ventiladores con una buena relación entre rendimiento, coste y sonoridad.

A continuación, puede verse cómo el rendimiento de un radiador de mucho mayor grosor frente a uno con un 50% más de superficie tan solo se ve igualado con velocidades de ventilador muy elevadas [19]:

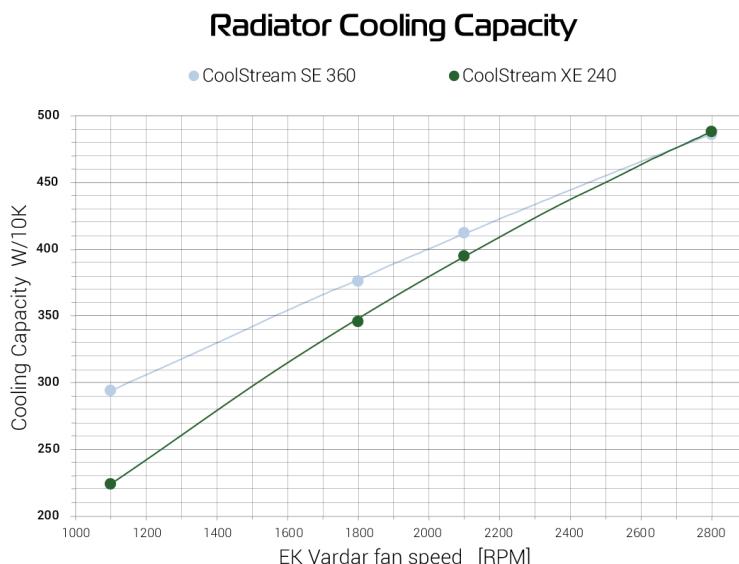


Figura 96: Rendimiento radiador espesor/superficie [19]

Es importante destacar que se empleará un radiador de aluminio que, como se ha visto en el estudio de mercado, es el predominante. Esto se debe al mayor coste y peso del cobre. La pequeña mejora de rendimiento que ofrece este material puede suplirse fácilmente con una mayor densidad de aletas, y por el menor coste material del aluminio revierte en una mucho mejor relación rendimiento/coste.

Las características que debe tener el producto son las siguientes:

- Material aluminio.
- Interfaz G1/4.
- Espesor intermedio, en torno a los 30 mm.
- Densidad de aletas intermedia, en torno a 15 FPI (*fins per inch*).
- Estética correcta.
- Coste bajo.
- Agujeros para montaje siguiendo el estándar ATX.

Se buscaron modelos que satisficieran estas condiciones en mercados de venta al por mayor, como alibaba.com. Finalmente, se encontraron los siguientes modelos del fabricante asiático **FREEZEMOD- JIANGMEN QIANYAN COOLING TECHNOLOGY CO., LTD**:

Elemento	Imagen descriptiva	Precio	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Radiador de 120 mm.</li> <li>○ Aluminio.</li> <li>○ 155mm x 120mm x 27mm</li> <li>○ 17-20 fins per inch</li> </ul>		6,84€/ud.	<a href="#">Página web del fabricante.</a>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Radiador de 240 mm.</li> <li>○ Aluminio.</li> <li>○ 155mm x 120mm x 27mm</li> <li>○ 17-20 fins per inch</li> </ul>		11,73€/ud.	<a href="#">Página web del fabricante.</a>

Tabla 17: Radiadores seleccionados

Ambos radiadores son muy similares estéticamente, ya que son el mismo modelo para los dos tamaños. Emplean como se requería conexiones estándar del tipo G1/4", lo que permite al mismo tiempo emplear racores estándar, que mejoran la modularidad y facilidad de reparación y mantenimiento del sistema.

Por último, el espesor del radiador es de 27 mm, lo que lo sitúa en el rango intermedio-bajo de espesor. Por otro lado, la densidad de aleta se ubica entre las 17-20 FPI, lo que se sitúa en un rango intermedio-alto. Por ello, entre ambos factores se tiene un buen equilibrio en el que no se necesitarán ventiladores de especialmente alto rendimiento. Además, el espesor de 27 mm del radiador es positivo para facilitar la compatibilidad del sistema.

En lo referente a los ventiladores, una vez fijadas las características del radiador se pueden establecer unos valores orientativos para los mismos. De nuevo, en base a la información extraída del análisis de mercado y la explicada en el marco teórico, se va a buscar modelos de ventilador siguiendo las siguientes guías:

- Estándar 120 mm.
- Alimentación 12V.
- Control PWM.
- Velocidad de giro máxima en torno a los 1900-2000 rpm.

- Flujo de aire máximo en torno a los 70 CFM.
- Presión del aire máxima en el rango de 2-2,5 mmH2O.
- Minimizar la sonoridad máxima.
- Estética agradable.
- Como van a montarse vertical y horizontalmente, será preferible el uso de rodamientos tipo *ball bearing*.

De nuevo, buscando en diversos medios modelos de fabricantes al por mayor, se ha encontrado el siguiente modelo del fabricante asiático Toyon Dongguan Xuheng Electronics Co., Ltd:

Elemento	Imagen descriptiva	Precio	Referencia
Ventilador de 120 mm Toyon modelo: TD1225-12M Tabla de características a continuación.		3,20€/ud.	<a href="#">Página web del fabricante.</a>

Tabla 18: Modelo ventilador seleccionado

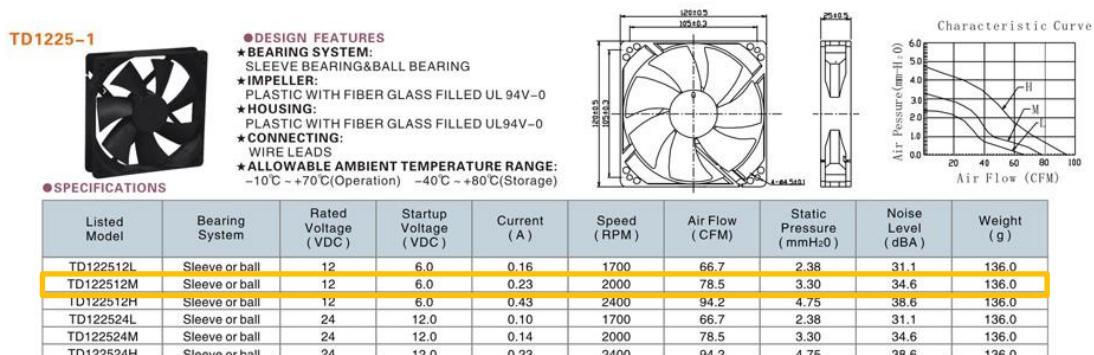


Figura 97: Especificaciones ventilador

En primer lugar, el producto cumple con las dimensiones y voltaje de alimentación estándar ATX. Alcanza una velocidad máxima de 2000 rpm, como se deseaba, y tanto los valores de flujo de aire como los de presión estática son superiores a los marcados. En cuanto a la sonoridad, ofrecería un nivel de ruido de 34,6 dB, un decibelio por encima de la media vista en el estudio de mercado. De nuevo, este dato debe considerarse como orientativo ya que cada fabricante establece su propia forma de realizar los ensayos de sonoridad.

En cuanto a la tecnología del motor y rodamientos, se trata de un motor *brushless* con, al parecer, una combinación de rodamientos tipo *sleeve bearing* y *ball bearing*. Debería confirmarse con el fabricante la información para asegurar el buen funcionamiento de los ventiladores a largo plazo independientemente de su colocación en posición vertical u horizontal.

A nivel estético, los ventiladores presentan una apariencia sobria con un diseño en color negro que debería combinar correctamente con el resto del diseño.

Por último, debe destacarse que el fabricante no lista entre sus especificaciones el tipo de control del ventilador. A la hora de adquirirlo debería confirmarse con el suministrador que, efectivamente, disponga de control de velocidad tipo PWM.

En conclusión, se han seleccionado unos modelos de radiador y ventiladores adecuados para su funcionamiento conjunto y que satisfacen las necesidades establecidas para el sistema de refrigeración líquida AIO diseñado.

## 5.6 Selección de tubos y racorería.

De nuevo, por la imposibilidad de probar una selección de distintos modelos para comprobar su correcto funcionamiento, la elección se basará únicamente en los siguientes factores: compatibilidad, material, estética y precio.

En cuanto a los tubos, ya se ha establecido que serán flexibles, de diámetro interior 10 mm y diámetro exterior 16 mm. El material de este tipo de tubos es el PVC. Al venir este elemento en bobinas, será conveniente buscar el producto en la mayor longitud posible para así obtener el mejor precio por metro de tubos. Con estas condiciones se ha seleccionado el siguiente producto:

Elemento	Imagen descriptiva	Precio	Referencia
Mayhems Ultra Clear Tubing V2 3/8" ID 5/8" OD 10/16mm 30 Metre		1,20€/m	<a href="#">Página web del fabricante.</a>

Tabla 19: Tubo seleccionado

El producto cumple con las dimensiones necesarias, es de color transparente para dejar ver el fluido interior y, al venderse en bobinas de 50 metros, resulta a un precio final económico.

En cuanto a los racores, ya se ha visto que serán necesarios tres modelos: rectos, con giro de 90° y tapones. Todos deberán de ser tipo estándar, es decir, con rosca G1/4". Además, deberán ser compatibles con el tubo seleccionado: diámetro interno 10 mm, externo 16 mm (o 3/8" x 5/8" en sistema imperial).

Elemento	Imagen descriptiva	Precio	Referencia
Barrow THKN-3/8-V3  Racor recto con rosca G1/4" y conexión para tubos de 10/16 mm. Incluye O-ring.		1,80 €/ud.	<a href="#">Página web del fabricante.</a>
Barrow FBWT90  Codo a 90° con capacidad de rotación 360°. Incluye O-ring.		3,00€/ud.	<a href="#">Página web del fabricante.</a>
Barrow TBKDS G1/4  Tapón G1/4		0,30€/ud.	<a href="#">Página web del fabricante.</a>

Tabla 20: Racores seleccionados

Los tres elementos, seleccionados del mismo fabricante, están hechos de latón, que es un material muy empleado para estas aplicaciones. Además, el fabricante ofrece las dimensiones de los productos para tomarlas como referencia.

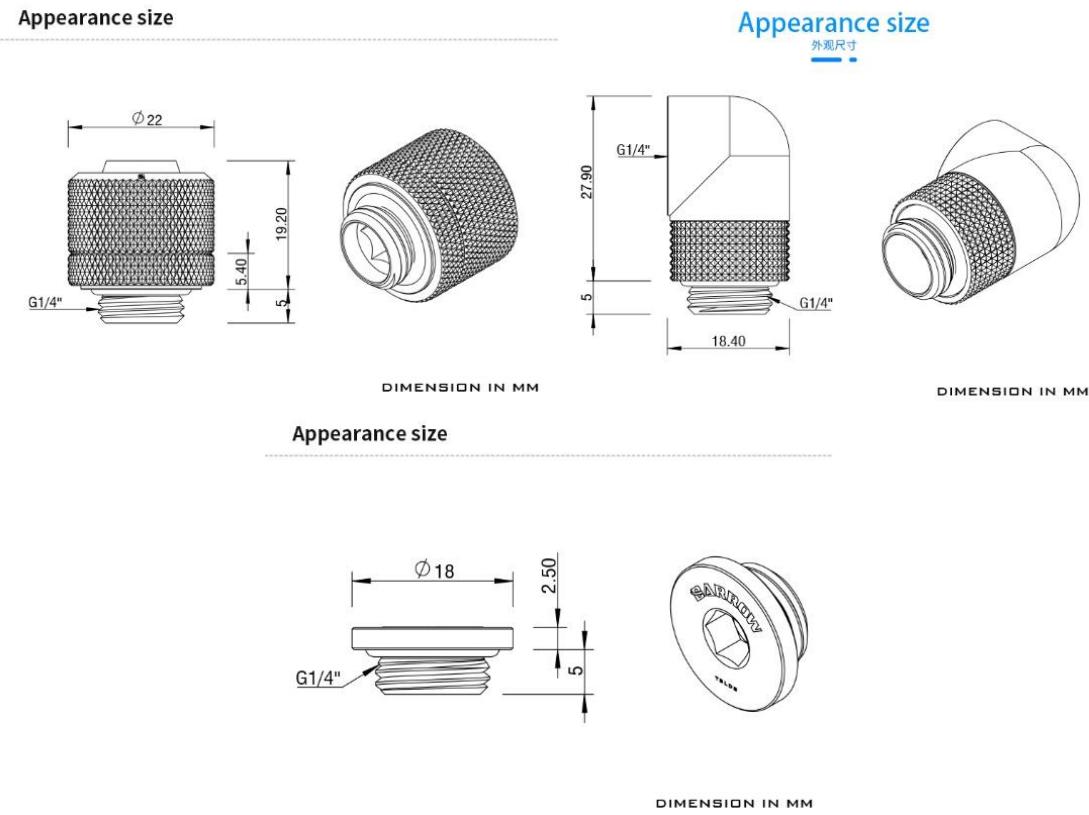


Figura 98: Planos racores

Finalmente, debe tenerse en cuenta que el codo a  $90^\circ$  es un adaptador macho-hembra. Por tanto, cada codo deberá llevar, además, una salida recta para acoplar el tubo. Como se puede comprobar, el uso de racores estándar y la inclusión de codos rotativos conforman unos costes importantes para el producto, aunque puede considerarse que los costes de compra de estas piezas al por mayor serán menores.

## 5.7 Composición del fluido y aditivos.

Existen distintos fabricantes de fluido para sistemas de refrigeración líquida con fórmulas más o menos complejas. Por lo general, la mayoría de fluidos están basados en una solución de agua destilada, por su alta capacidad de transferencia de calor unido a su baja conductividad eléctrica y ausencia de microorganismos, a los que se le añaden una serie de aditivos para mejorar sus capacidades [52]. Esta composición ofrece la mejor relación rendimiento/coste y con los aditivos reduce enormemente las necesidades de mantenimiento por parte del usuario.

En cuanto a los aditivos, deben realizar, al menos, las siguientes funciones [53]:

- Minimizar la corrosión. El agua destilada con alto nivel de pureza puede resultar corrosiva para los distintos metales del circuito, ya que químicamente las moléculas buscan volver a un estado de mayor equilibrio formando iones con los metales presentes. Además, también deben mitigarse los efectos de la corrosión galvánica, fruto de emplear distintos metales en el circuito. Principalmente, el cobre del intercambiador de calor y el aluminio del radiador.
- Prevenir la aparición de microorganismos. Principalmente bacterias y algas.
- Prevenir la congelación del fluido. En caso de dejar el sistema apagado en condiciones bajo cero, el fluido podría congelarse y, por expansión, estropear la bomba o reventar alguno de los conductos.
- Mejorar la transferencia de calor. Generalmente se consigue con sustancias tensoactivas, que reducen la tensión superficial del líquido facilitando su paso por las micro aletas, reduciendo la presencia de burbujas de aire en el fluido y reduciendo ligeramente su viscosidad.
- Modificar el color del fluido. Mediante el uso de distintos colorantes. Se evitarán colorantes que añaden partículas en suspensión al fluido que puedan acumularse en las micro aletas y perjudicar al rendimiento.

Generalmente, a la hora de adquirir aditivos un solo producto cubrirá varias funciones. Debe tenerse en cuenta que se trata de un uso doméstico, por lo que se tratarán de evitar sustancias altamente tóxicas para los humanos que sí se emplean para otras funciones similares, como el refrigerante de motor.

Tras investigar diversas alternativas se ha concluido que el líquido estará compuesto de cinco elementos principales. En primer lugar, como se ha dicho, agua destilada, que será la base del líquido. Se puede adquirir en grandes cantidades para reducir el coste por litro:

Elemento	Imagen descriptiva	Precio	Referencia
Agua Desionizada (Destilada) en Contenedor ODL de 1000 litros		275€	<a href="#">Página web del fabricante.</a>

Tabla 21: Agua destilada seleccionada

En segundo lugar, se utilizará un *super coolant*. Estos productos se emplean mezclados con agua destilada para la refrigeración de motores de coche de carreras, ya que está prohibido utilizar directamente líquido anticongelante en el circuito. Tiene una doble función como inhibidor de la corrosión y agente tensoactivo, mejorando las propiedades térmicas del fluido. Se ha seleccionado el siguiente producto [54], que además garantiza ser inocuo para las juntas de sellado y tubos del circuito.

Elemento	Imagen descriptiva	Precio	Referencia
SILKOLENE PRO CCA ULTRA 1 L		24,67€/L	<a href="#">Página web del fabricante.</a>

Tabla 22: Super coolant seleccionado

De acuerdo con las indicaciones del fabricante, se debe usar en una proporción del 3 al 5% en agua. Como no se va a emplear en un circuito de refrigeración de altas prestaciones, se empleará al 3%.

En cuanto a las propiedades para evitar la congelación del fluido, se empleará un anticongelante basado en propilenglicol que, a diferencia del etilenglicol usado en anticongelantes tradicionales, no es tóxico para humanos ni animales. Es, de hecho, usado incluso en la industria alimentaria [55]. Se ha seleccionado un producto especializado en refrigerante de placas solares que es, además, totalmente miscible en agua:

Elemento	Imagen descriptiva	Precio	Referencia
PROPILENGLICOL GRADO TÉCNICO 20 L		159€	<a href="#">Página web del fabricante.</a>

Tabla 23: Anticongelante seleccionado

Se trata de una solución pura y de color transparente, por lo que tampoco modificará el color del líquido.

De acuerdo con [56], estos son los puntos de congelación para distintas concentraciones de agua/propilenglicol:

Freezing Point °C	Boiling Point °F/760 mm/Hg	Boiling Point °C@ 0.96 / Barr	Ethylene Glycol Wt. %	Ethylene Glycol Vol. %
0.0	212.0	100.0	0.0	0.0
-1.4	213.0	101.0	5.0	4.4
-3.2	214.0	101.0	10.0	8.9
-5.4	215.0	102.0	15.0	13.6
-7.8	216.0	102.0	20.0	18.1
-8.4	216.0	102.0	21.0	19.2
-8.9	216.0	102.0	22.0	20.1
-9.5	217.0	103.0	23.0	21.0
-10.2	217.0	103.0	24.0	22.0
-10.7	218.0	103.0	25.0	22.9
-11.4	218.0	103.0	26.0	23.9
-12.0	218.0	103.0	27.0	24.8
-12.6	219.0	104.0	28.0	25.8
-13.3	219.0	104.0	29.0	26.7
-14.1	220.0	104.0	30.0	27.7
-14.8	220.0	104.0	31.0	28.7
-15.4	220.0	104.0	32.0	29.6
-16.2	220.0	104.0	33.0	30.6
-17.0	220.0	104.0	34.0	31.6
-17.9	221.0	105.0	35.0	32.6
-18.6	221.0	105.0	36.0	33.5
-19.4	221.0	105.0	37.0	34.5
-20.3	221.0	105.0	38.0	35.5

Tabla 24: Puntos de congelación concentración agua/glicol [56]

Debido a que los líquidos anticongelantes tienen una viscosidad algo mayor que el agua, debe buscarse un compromiso entre eficacia anticongelante y rendimiento. Con un 25% de etilenglicol en volumen se podrán alcanzar puntos de hasta -12°C sin peligro de congelarse el circuito. Se considera un valor suficientemente conservador, pues los ordenadores de sobremesa suelen encontrarse en entornos domésticos o de oficina que, por lo general, no alcanzan temperaturas tan bajas de forma prolongada. Además, esta concentración no debería cambiar las capacidades térmicas del fluido de forma sustancial.

En cuarto lugar, se va a seleccionar un producto biocida para evitar la aparición de microorganismos. El sulfato de cobre se utiliza en cantidades muy bajas para este tipo de aplicaciones, ya que se diluye totalmente en agua. Se recomienda 1 gota (aproximadamente 0.05 ml) de disolución al 0,5% por litro de refrigerante. También se puede adquirir en seco, para lo que se necesita aproximadamente 0.25 gramos por litro de disolución.

Elemento	Imagen descriptiva	Precio	Referencia
Sulfato de Cobre 5H polvo 25 kg		195€	<a href="#">Página web del fabricante.</a>

Tabla 25: Selección biocida

Por la poca cantidad de material necesaria tiene un precio muy económico por litro de fluido, de 0,002 €/litro.

Por último, para añadir distintas combinaciones de color al líquido, que permitan cierto nivel de customización, se van a usar colorantes que no dejen partículas en suspensión que puedan acumularse y bloquear las micro aletas u otras zonas. La cantidad de gotas de colorante necesarias por litro de líquido depende en gran medida de su composición, y del color y opacidad deseados. Por ello, no se van a seleccionar aquí unos tintes concretos ya que debería realizarse de una forma experimental. Con la composición sin tintes actual se tendría la variante del producto con líquido transparente.

Para acabar, una tabla resumen de la composición del fluido. Los porcentajes han variado respecto a los datos anteriores porque el propilenglicol y el *super coolant* deben su proporción a al volumen de agua, no al de agua más otros elementos.

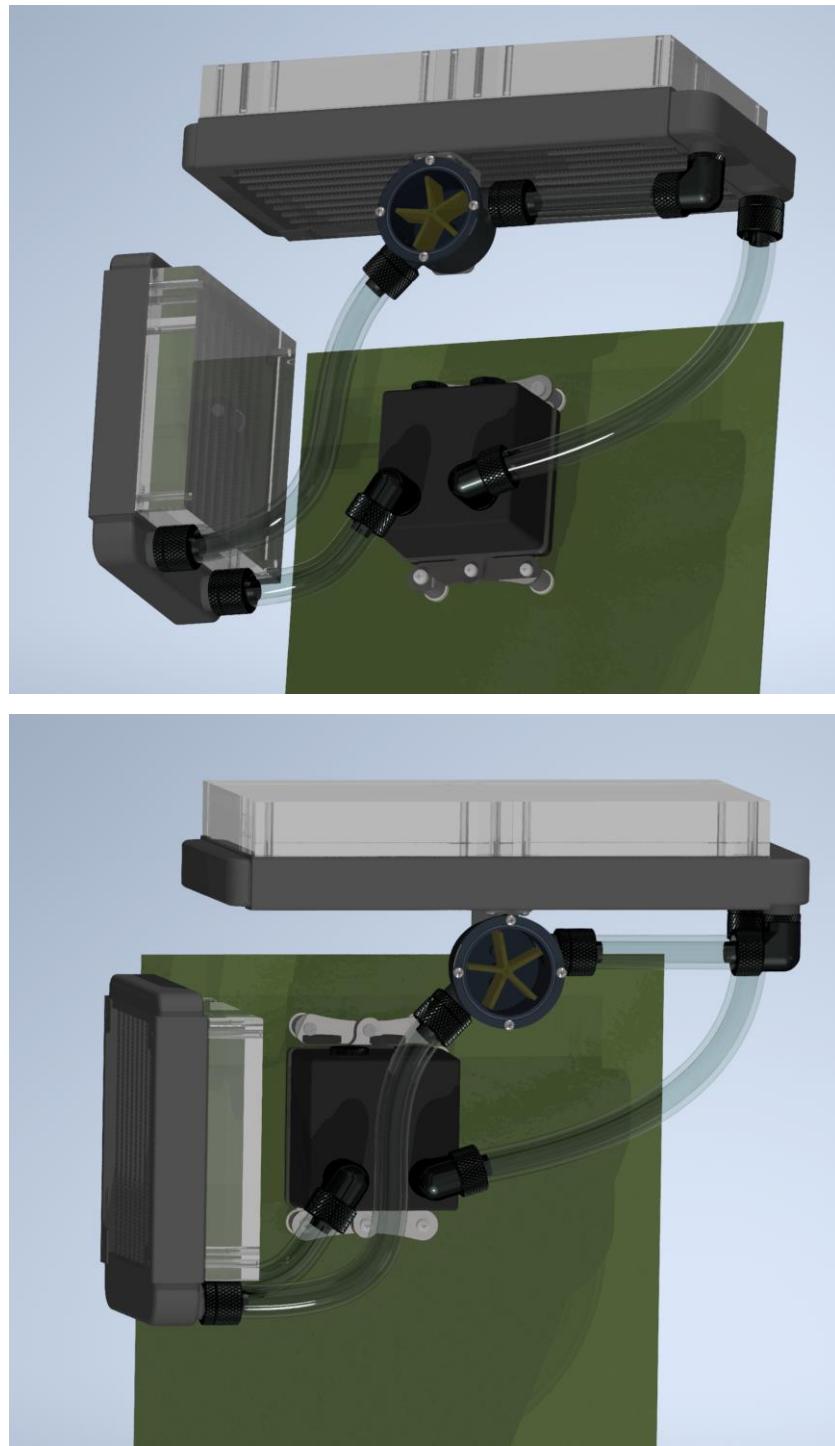
Elemento	Porcentaje en volumen	Precio
Agua destilada	73,35%	0,275 €/L
Propilenglicol	24,45%	7,95 €/L
<i>Super Coolant</i>	2,2%	24,67 €/L
Sulfato de cobre	(0,25 g/L)	0,002 €/L

Tabla 26: Resumen composición líquido refrigerante

El fluido empleado tendrá, por tanto, un coste de 2,69€ por litro. Además, tendrá las propiedades deseadas de resistencia a la corrosión, prevención de aparición de microorganismos y algas, y anticongelante. Estos efectos, además, deberían mantenerse a largo plazo, minimizando la necesidad de mantenimiento del sistema. El efecto negativo del propilenglicol en el rendimiento térmico del fluido debería ser bajo por su baja proporción y, además, verse en cierta medida compensado por las propiedades como agente tensoactivo del *super coolant* empleado. No obstante, si hubiera sido posible lo ideal hubiera sido disponer de la capacidad de hacer pruebas con varias concentraciones de los distintos componentes para encontrar la concentración óptima.

## 5.8 Ensamblaje del conjunto y listado de componentes.

Se han visto las distintas piezas y subconjuntos que componen el sistema AIO. A continuación, se van a mostrar imágenes del ensamblaje conjunto. Para los componentes adquiridos a través de otros fabricantes, como los radiadores y racores, se han empleado modelos similares obtenidos del centro de contenidos 3D de alphacool [57]. Igualmente, se ha marcado la posición de los ventiladores mediante bloques de sus mismas dimensiones transparentes.



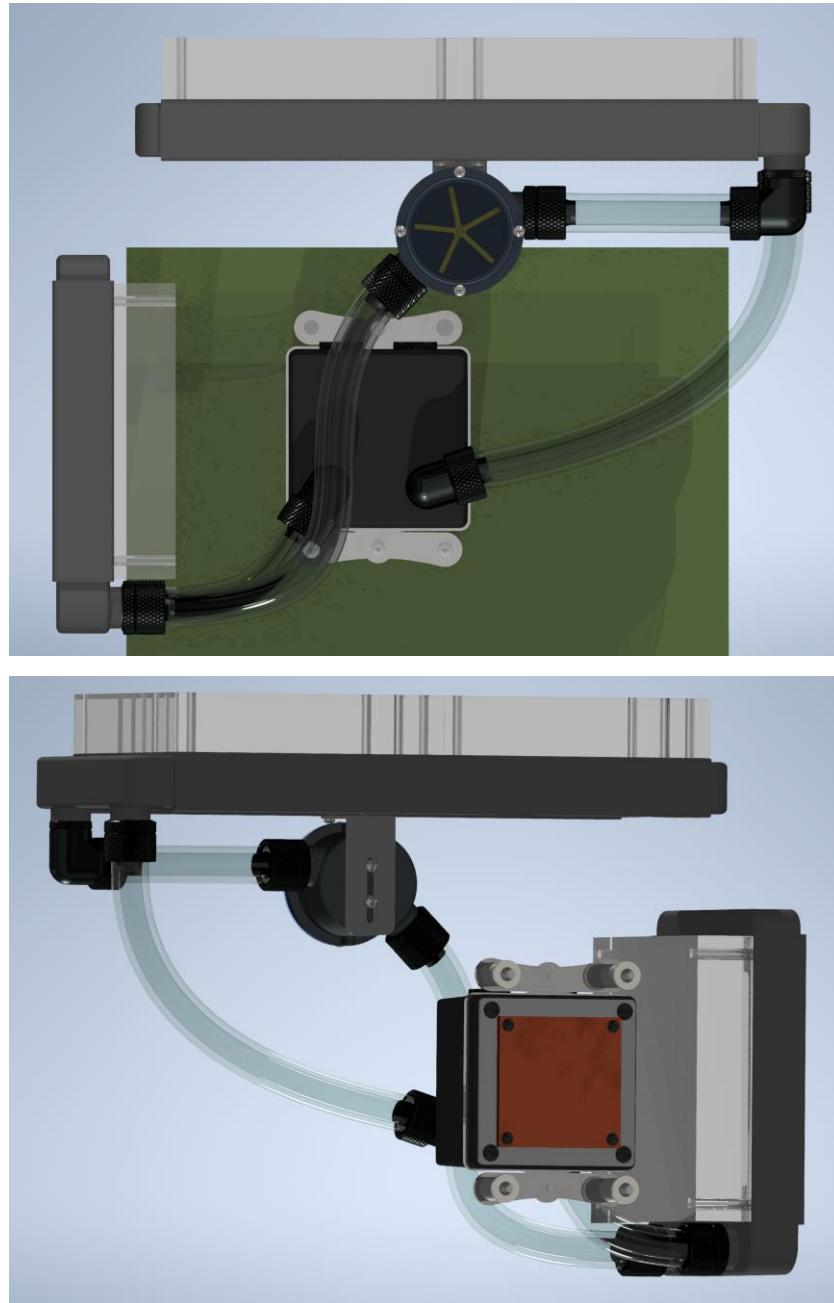


Figura 99: Ensamblaje sistema conjunto

En el Documento 3: Planos se pueden encontrar los planos de las distintas piezas individuales, de los subconjuntos principales y del conjunto.

Por último, se va a incluir, a continuación, un listado con las distintas piezas, su cantidad y descripción:

nº	Subconjunto	Pieza	Cantidad	Origen	Material	Descripción
1	-	FreezeMod 240 mm Aluminium Radiator	1	Adquirido de terceros.	Aluminio	Radiador de 240 mm.
2	-	FreezeMod 120 mm Aluminium Radiator	1	Adquirido de terceros.	Aluminio	Radiador de 120 mm.
3	Bloque	Intercambiador de Calor	1	Fabricación propia.	Cobre	Placa de cobre con micro aletas.
4		Difusor	1	Fabricación propia.	ABS	Distribuye el flujo de salida de la bomba sobre las microaletas.
5		Tapa Inferior	1	Fabricación propia.	ABS	Pieza inferior del bloque.
6		Cámara Inferior	1	Fabricación propia.	ABS	Canaliza la entrada y salida del fluido a la bomba.
7		Cámara Bomba	1	Fabricación propia.	ABS	Alberga la bomba y varios conductos.
8		Tapa superior	1	Fabricación propia.	ABS	Entrada y salida del líquido al bloque.
9		DC-LT 2600 Ultra low noise ceramic 12V	1	Adquirido de terceros.	-	Bomba de agua.
10		ISO 7046-1 M3 x 10	4	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	Tornillos.
11		ISO 7046-1 M3 ,5 x 44	4	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	Tornillos.
12		ISO 7045 - M3,5 x 6	2	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	Tornillos.
13		Junta de estanqueidad 1	1	Adquirido de terceros.	EPDM	-
14		Junta de estanqueidad 2	1	Adquirido de terceros.	EPDM	-
15		Junta de estanqueidad 3	1	Adquirido de terceros.	EPDM	-
16		Junta de estanqueidad 4	1	Adquirido de terceros.	EPDM	-
17		Junta de estanqueidad 5	1	Adquirido de terceros.	EPDM	-
18		Junta de estanqueidad 6	1	Adquirido de terceros.	EPDM	-
19	Sistemas de montaje	Amar General	2	Fabricación propia.	Acero inoxidable	Sistema de montaje alojado en el bloque.
20		Amar AM4	2	Fabricación propia.	Acero inoxidable	Placas de montaje para plataforma AM4.
21		Amar LGA1700	2	Fabricación propia.	Acero inoxidable	Placas de montaje para plataforma LGA1700.
22		Arandelas	4	Fabricación propia.	ABS	Arandelas de plástico de 2 mm de espesor.
23		Espaciadores AM4	4	Fabricación propia.	ABS	Espaciadores de plástico de 16 mm de largo.
24		Espaciadores LGA1700	4	Fabricación propia.	ABS	Espaciadores de plástico de 14,5 mm de largo.
25		DIN 7985 M3x6	2	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	Tornillos montaje amarre general - amarre específico
26		DIN 7985 M3,5x25	4	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	Tornillos montaje amarre AM4 - backplate AM4.
27		DIN 7985 M3x25	4	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	Tornillos montaje amarre LGA1700 - backplate LGA1700.
28		Backplate LGA1700	1	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	Placa trasera que no viene incluida con las placas base.
29	Indicador de flujo	Base	1	Fabricación propia.	ABS	Pieza base del indicador de flujo.
30		Soporte	1	Fabricación propia.	Acero inoxidable	Escuadra de acero inoxidable para el montaje en el radiador.
31		Acrílico	1	Fabricación propia.	Metacrilato	Ventana transparente para ver el giro del rotor.
32		Rotor	1	Fabricación propia.	ABS	Aletas con eje que giran al pasar el fluido.
33		Junta tórica IF	1	Adquirido de terceros.	EPDM	-
34		ISO 7045 - M2,5 x 10	4	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	Tornillos para asegurar la ventana acrílica.
35		ISO 7045 - M3 x 6	4	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	Tornillos para asegurar la escuadra.
36	Tubos	Tubo 1	1	Adquirido de terceros.	PVC	Segmento de tubería flexible de 67mm.
37		Tubo 2	1	Adquirido de terceros.	PVC	Segmento de tubería flexible de 270mm.
38		Tubo 3	1	Adquirido de terceros.	PVC	Segmento de tubería flexible de 270mm.
39		Tubo 4	1	Adquirido de terceros.	PVC	Segmento de tubería flexible de 120mm.
40	Racores	Barrow THKN-3/8-V3	8	Adquirido de terceros.	Latón	Racor G1/4 16/10 recto.
41		Barrow FJWT90	3	Adquirido de terceros.	Latón	Racor G1/4 16/10 a 90° rotativo.
42		Barrow TBKDS	2	Adquirido de terceros.	Latón	Tapón G1/4.
43	Vent. Racores	TD1225-12M	3	Adquirido de terceros.	-	Ventiladores de 120 mm.
44		DIN 7985 M2,5x30	12	Adquirido de terceros.	Acero inoxidable	Tornillos para ventiladores en radiador.
45	-	Líquido	0,25 l	Fabricación propia.	-	Líquido refrigerante del circuito.

Tabla 27: Listado de piezas del sistema

La longitud final de los tubos se ha calculado con amplios márgenes, de forma que se asegure la compatibilidad del producto con cualquier modelo de caja estándar del mercado. La ubicación de cada una de las piezas listadas puede encontrarse en los planos de los subconjuntos, en el Documento 3: Planos.

## 5.9 Diseño de moldes de inyección

Para finalizar la fase de diseño de detalle, se van a generar los moldes de las principales piezas de plástico diseñadas que conforman el sistema de refrigeración líquida AIO. Igualmente, se realizará la preselección de los puntos de inyección.

Para la pieza Tapa Superior, del bloque del procesador, se ha requerido el uso, además del núcleo y la cavidad, de una inserción lateral:

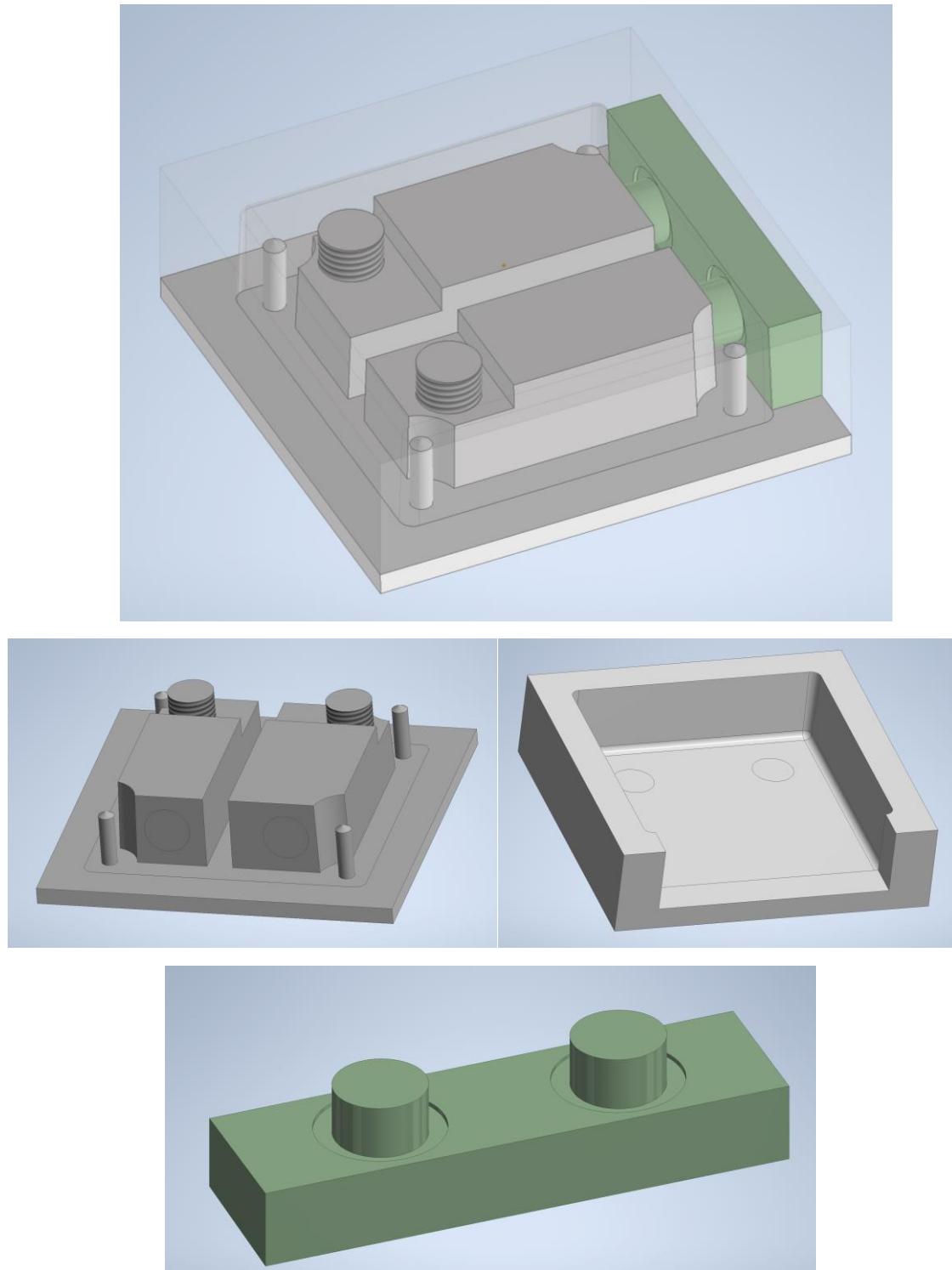


Figura 100: Moldes tapa superior

La pieza Cámara Bomba es, por su diseño, más sencilla. Por ello, no requiere de ninguna inserción:

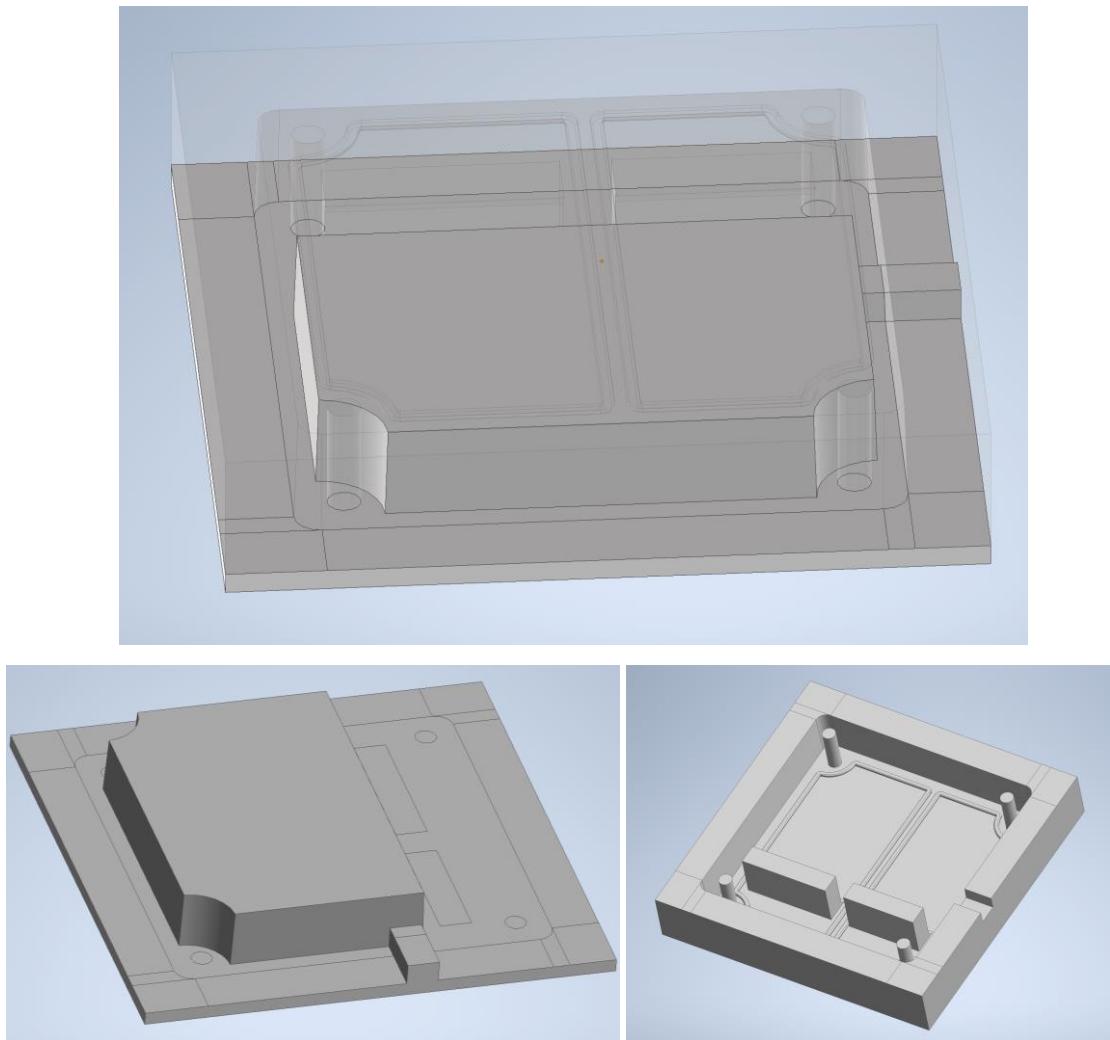


Figura 101: Moldes cámara bomba

Lo contrario ocurre con la pieza Cámara Inferior que, como se ha visto, incluye las ranuras laterales en las que se asienta el mecanismo de montaje. Por ello, requiere de cuatro inserciones laterales:

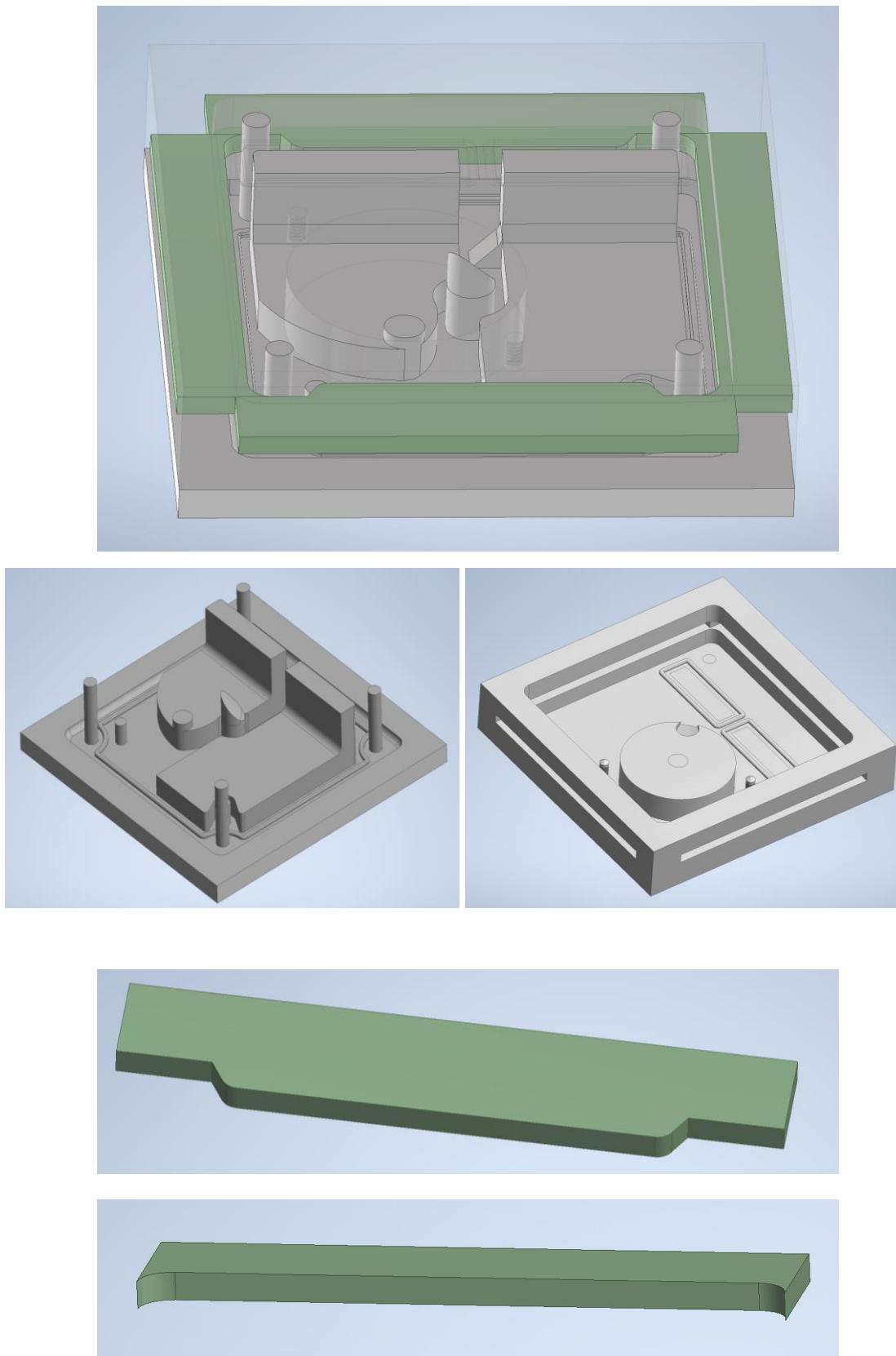


Figura 102: Moldes cámara inferior

El difusor es, de nuevo, una pieza muy sencilla en el que sólo la cavidad requiere ser mecanizada:

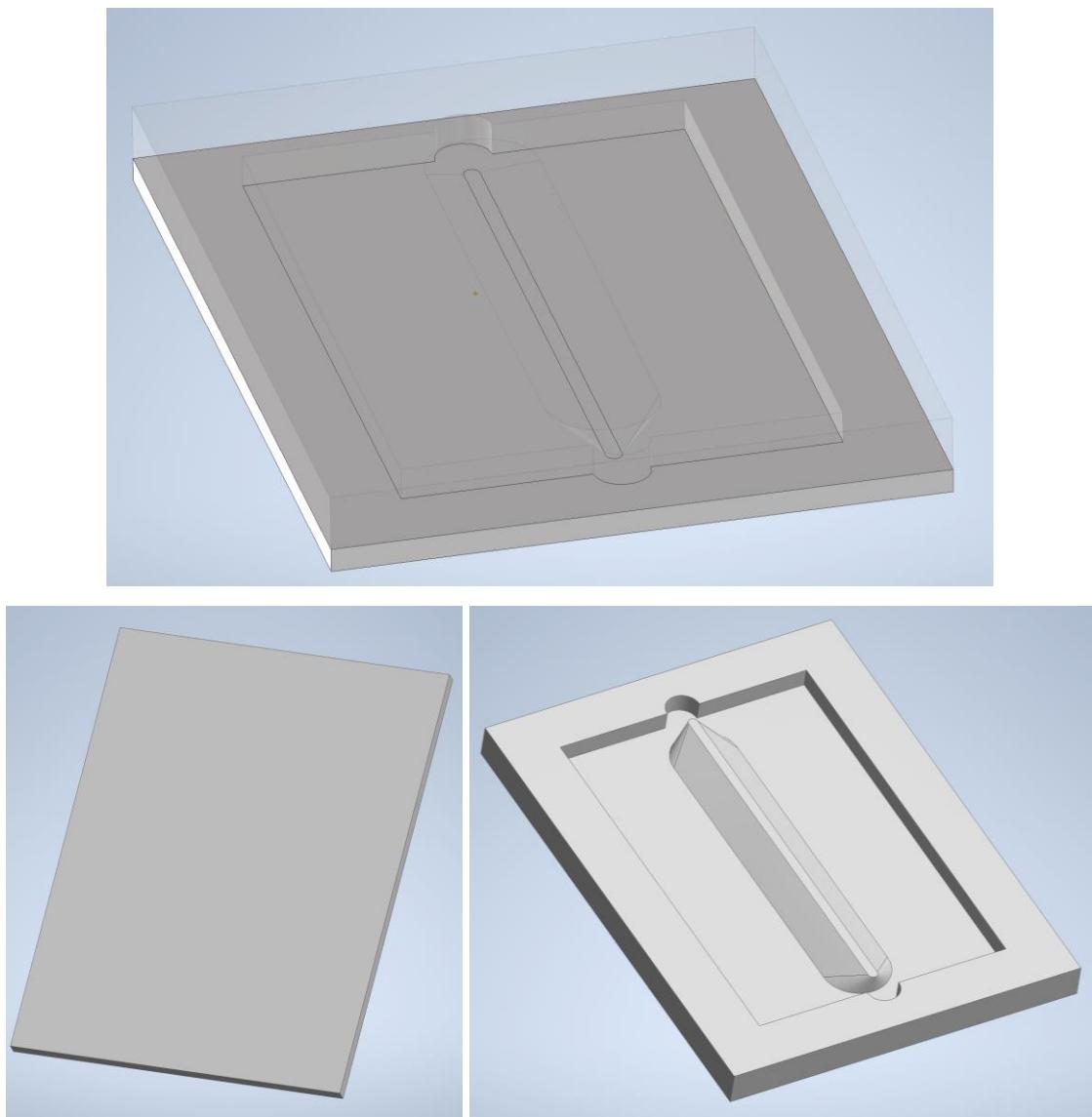


Figura 103: Moldes difusor

La Tapa Inferior tampoco requiere de inserciones y la cavidad es plana:

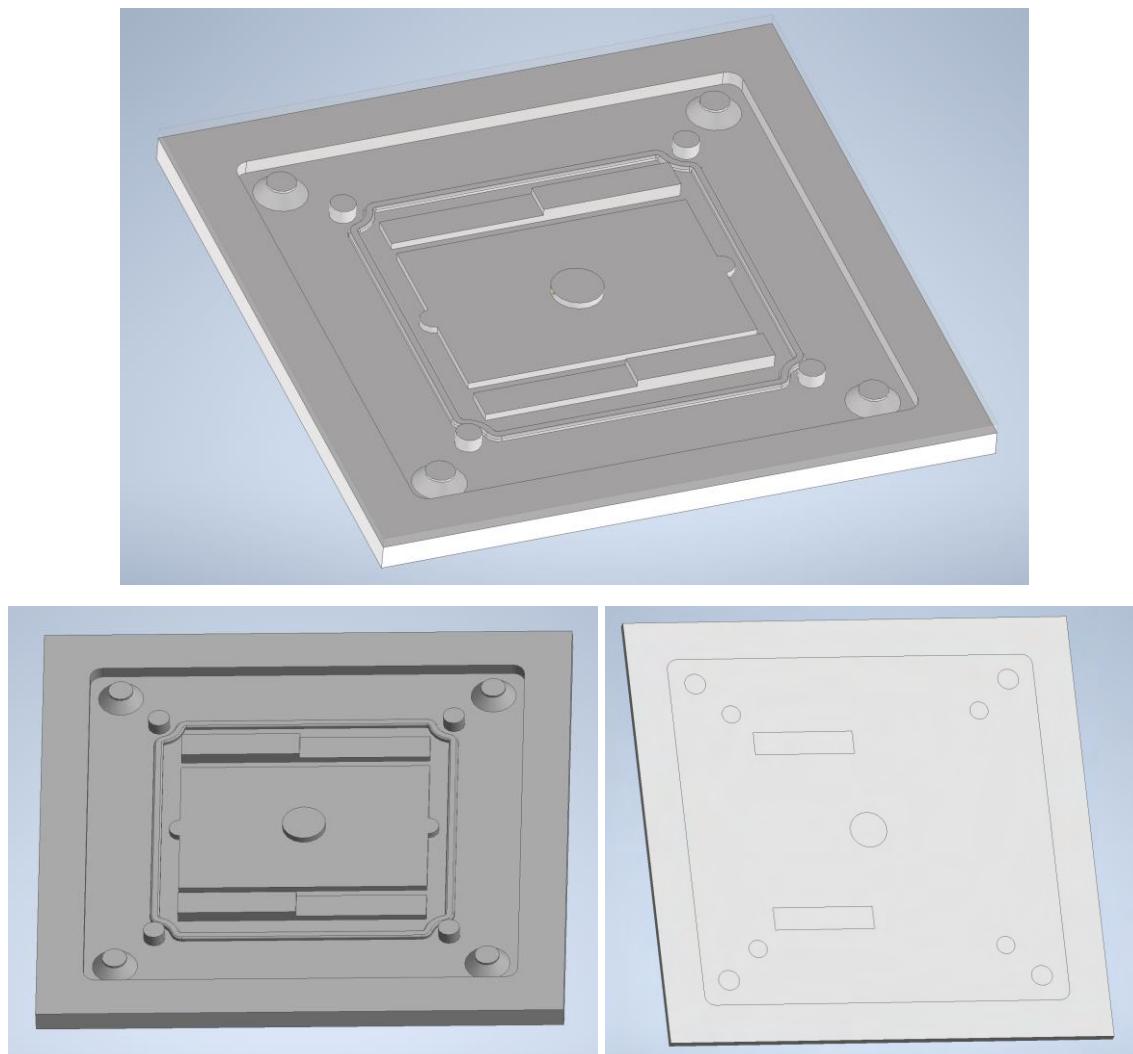


Figura 104: Molde tapa inferior

Por último, la Base del indicador de flujo, también realizada en plástico ABS, tiene el molde más complicado debido a la necesidad de colocar las entradas y salidas de líquido a cierto ángulo. Se ha empleado un bloque inicial con un chaflán en una de las esquinas, haciendo coincidir así un lado plano en cada entrada/salida de fluido. Así, en esas coordenadas se han colocado inserciones:

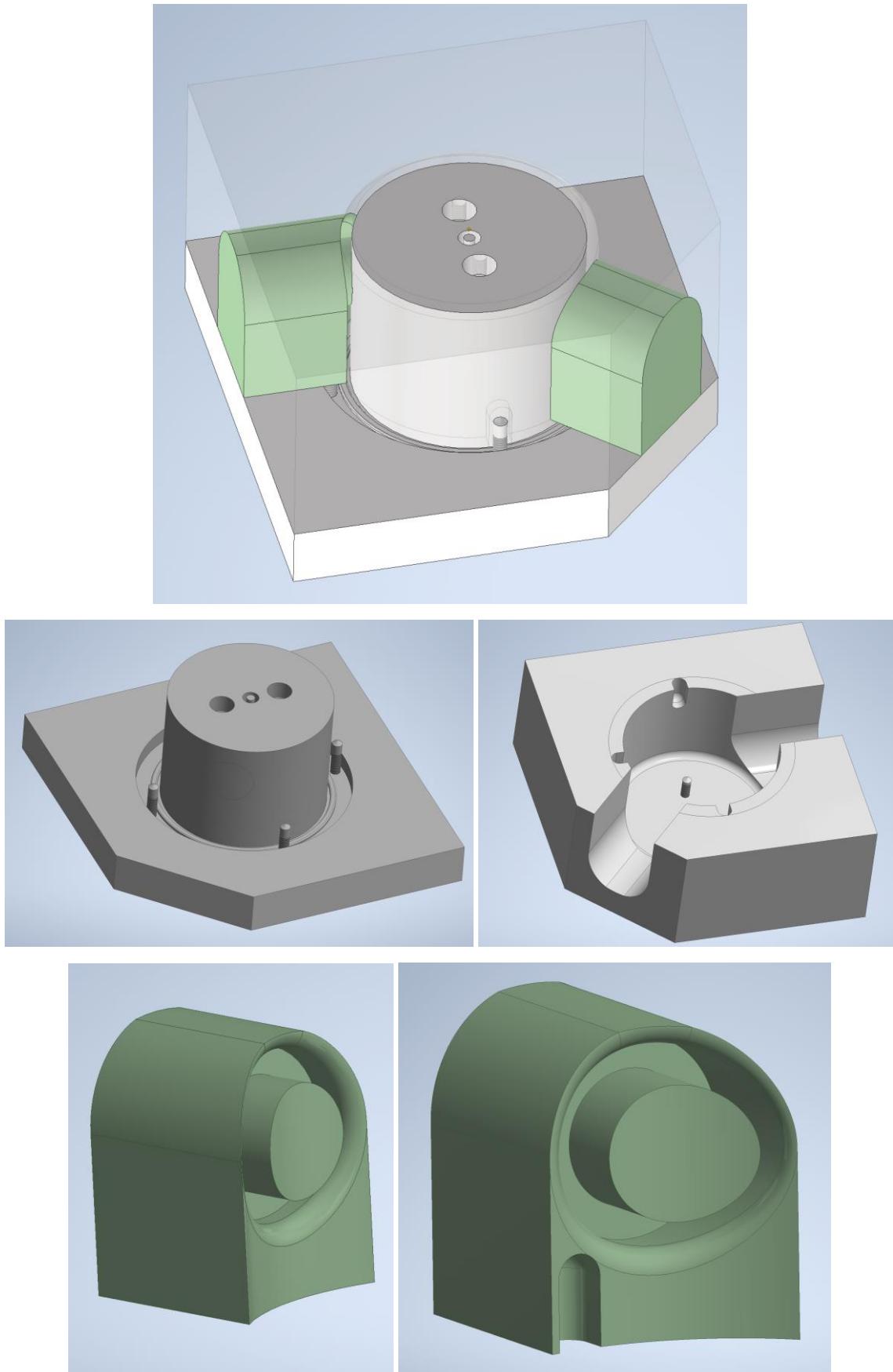


Figura 105: Moldes Base indicador de flujo

Todos los moldes se han realizado considerando la correcta extracción de las piezas.

## 5.10 Presentación visual del producto

Finalmente, se han exportado los modelos realizados en *Autodesk Inventor* a formato STL para, mediante el software Blender, obtener *renders* del producto en una escena virtual. Para ello, se ha implementado el sistema de refrigeración líquida en el entorno virtual y se le han aplicado las texturas deseadas, de acuerdo al material del componente. Se han renderizado imágenes con distintos colores de líquido refrigerante para remarcar el componente de customización del producto diseñado. El catálogo de imágenes a tamaño completo se encuentra en el Anexo 4.





Figura 106: Renders del producto en una escena

## CAPÍTULO 6: VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA.

Una vez finalizado el diseño de detalle del sistema de refrigeración líquida AIO, se puede realizar un análisis sobre la viabilidad técnica y económica del proyecto.

A nivel técnico, el producto basa su funcionamiento en una tipología de sistemas de refrigeración plenamente conocida, como son los sistemas de refrigeración líquida. Los aspectos innovadores del proyecto, como el doble radiador o el indicador de flujo, no alteran el fundamento tecnológico del sistema. Además, los cálculos de potencia de la bomba se han realizado con un enfoque conservador, con coeficientes de seguridad elevados.

No obstante, sí sería muy conveniente, antes de realizar una producción en masa del producto, fabricar un prototipo totalmente funcional del sistema con el que poder comprobar su correcto funcionamiento. Deberían hacerse pruebas de resistencia a fugas, presurizando ligeramente el circuito durante un tiempo suficiente para asegurar que no desciende la presión; pruebas mecánicas de montaje para las diversas plataformas, ensayos de enfriamiento para comprobar el rendimiento del sistema, pruebas de sonoridad de los ventiladores adquiridos, comprobación de las características del fluido refrigerante, etc. Además, sería también conveniente adquirir una selección de cajas de diversos tamaños para certificar su compatibilidad o, en caso necesario, realizar las mejoras adecuadas.

En conclusión, de acuerdo con el diseño de detalle realizado el producto es viable a nivel técnico, aunque deberá desarrollarse un prototipo completamente funcional para asegurar el correcto funcionamiento antes de una producción en masa.

En cuanto a la viabilidad económica, durante el análisis de mercado y diseño conceptual del producto se estableció enfocar el producto al rango de precios de venta al público inferior a los 100€. Para comprobar la consecución de este objetivo, se ha realizado un presupuesto a modo de estimación del coste de fabricación del sistema de refrigeración líquida diseñado. Este presupuesto se puede consultar en su totalidad en el Documento 2: Presupuesto.

Cabe destacar que a lo largo del Capítulo 5 se han detallado los componentes a fabricar y los adquiridos ya fabricados por terceros. Para el presupuesto, se han empleado los costes indicados de compra de los distintos materiales cuando se trata de ventas al por mayor. Por el contrario, para los elementos que no se han encontrado en venta al por mayor se ha aplicado un descuento del 50% sobre el precio de venta al público. Esto ha quedado ya reflejado sobre el presupuesto realizado. Otros elementos, como los tiempos de uso de la maquinaria y operarios para la fabricación de las piezas, se han establecido de forma orientativa y simplificada. Se ha asumido la fabricación del producto en lotes grandes. Los costes de amortización de los moldes empleados para la inyección se plástico se han considerado incluidos en los porcentajes de costes complementarios de cada unidad de obra. Además, unos gastos generales del 15% cubrirían posibles sobrecostes.

Así, el presupuesto de inversión resultado del presupuesto realizado asciende a 95,44€. Esto incluye el IVA y un beneficio industrial del 5%. Por ello, se considera que es viable la venta del producto por un PVP inferior al 100€, habiéndose por tanto cumplido este objetivo.

Se ha observado que la mayor parte de los costes de fabricación proceden de la adquisición de piezas a terceros. Es por ello que sería muy relevante la negociación de los precios a la hora de adquirir estos componentes de los proveedores. También podría considerarse la opción de integrar la fabricación de estos elementos. Por ejemplo, los racores empleados suponen más de un 20% del coste total de los elementos adquiridos de terceros, y son piezas sencillas cuya fabricación no sería problemática en grandes lotes.

En conclusión, se ha analizado mediante un presupuesto la viabilidad económica del producto y se cumple con cierto margen el objetivo de ofrecer el producto a un precio de venta al público inferior a los 100€. Por ello, se considera el producto diseñado viable a nivel económico.

# CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES, MEJORAS Y FUTUROS TRABAJOS.

## 7.1 Conclusiones

El objetivo principal de este trabajo era el de realizar el diseño de un sistema de refrigeración líquida *All-In-One* para ordenador de sobremesa. Para ello, se establecieron una serie de objetivos parciales.

En primer lugar, en el Capítulo 2: Marco Teórico se han estudiado los aspectos fundamentales del funcionamiento de los sistemas de refrigeración líquida. Se han establecido así las bases para las posteriores fases de diseño.

En segundo lugar, se ha realizado un estudio de mercado, en el cual se han analizado, extraído datos y comparado una lista de modelos relevantes del mercado. A partir de esta información, se han establecido una serie de requisitos para el producto.

A partir de estos requisitos, se ha empleado el método QFD para obtener una serie de especificaciones de diseño ordenadas por importancia relativa. Apoyándose en estas especificaciones de diseño, en conjunto con la información obtenida durante el estudio de mercado y marco teórico, se han propuesto una serie de ideas o diseños conceptuales. Estos diseños iniciales han sido refinados hasta alcanzar un diseño final que cumpliera en la máxima medida los requisitos fijados.

Una vez seleccionado este diseño final, se ha avanzado a la fase de diseño de detalle. En esta fase, se han definido en profundidad los aspectos técnicos y de diseño necesarios para la fabricación el producto, asegurando el cumplimiento de las especificaciones fijadas. Se han diseñado los modelos 3D mediante *Autodesk Inventor*, creado los planos de las distintas piezas, asignado materiales y seleccionado los componentes necesarios de adquirir en el mercado, una vez hechos los cálculos y justificaciones pertinentes. Además, se han diseñado los moldes para las piezas de plástico y se han obtenido *renders* del producto final mediante el software *Blender*.

Por último, una vez finalizada la etapa de diseño de detalle, se ha analizado la viabilidad técnica y económica del producto. Para ello, se ha realizado un presupuesto del mismo, comprobando así que se cumplieran los objetivos marcados en cuanto a precio de venta al público del sistema de refrigeración líquida AIO diseñado.

En conclusión, se ha realizado el proceso de diseño de un sistema de refrigeración líquida AIO, consiguiendo un producto que cumple con las especificaciones y requisitos marcados a lo largo del trabajo. El sistema destaca por ofrecer un rendimiento equivalente a los sistemas del segmento de radiadores de 360 mm, pero al mismo tiempo ofrecer al comprador la compatibilidad superior de los sistemas de 240 mm, que como se ha visto son los preferidos por los usuarios.

Además, se ha logrado colocar en el rango de precios por debajo de los 100€, por lo que en términos de precio de venta compite con estos sistemas de 240 mm. A nivel estético y de customización, los tubos transparentes recorriendo parte del radiador y el indicador de flujo con ventana le dan un aspecto moderno e innovador. Las distintas posibilidades de coloración del fluido añaden variedad y personalización del producto.

Por último, el sistema resultante se ha diseñado asegurando la fiabilidad y robustez, empleando además una instalación del mismo sencilla para el usuario. Está pensado para no requerir de mantenimiento y, además, emplea componentes estándar para facilitar al usuario posibilidades de modularidad y reparaciones sencillas.

Por lo tanto, se considera que se han alcanzado todos los objetivos planteados al inicio del proyecto. Por ello, se valora como alcanzado el objetivo principal del Trabajo de Final de Máster de realizar el diseño de un sistema de refrigeración líquida AIO para ordenador de sobremesa.

## 7.2 Mejoras y futuros trabajos.

Por las limitaciones en la extensión de un Trabajo de Final de Máster, el proceso de diseño ha finalizado con la definición del producto mediante modelos 3D y planos. No obstante, y como se ha comentado en varios puntos a lo largo del trabajo, existen varios frentes en los que convendría seguir avanzando antes de lanzar este producto a una posible fase de fabricación para su venta.

En primer lugar, y más importante, se debería fabricar un prototipo complemento funcional del sistema. Con este prototipo se realizarían pruebas y ensayos para asegurar la estanqueidad de los distintos componentes del circuito, así como el rendimiento adecuado a nivel térmico. Se comprobaría, además, la aptitud de la bomba seleccionada, ya que se han tenido que realizar estimaciones a la hora de establecer las caídas de presión en el bloque y los radiadores. La realización de ensayos con los que certificar las características de los ventiladores y radiadores adquiridos a terceros también serían muy positivos.

En cuanto a los sistemas de montaje, se han diseñado los dos correspondientes a las plataformas más actuales del mercado. Diseñar sistemas de montaje para plataformas anteriores permitiría a usuarios con estas plataformas, con ordenadores de sobremesa ya montados, actualizar sus sistemas de refrigeración. En todo caso, también sería necesario realizar pruebas relacionadas con asegurar la presión adecuada del sistema de montaje con las distintas plataformas, estudiando la posibilidad de añadir resortes de compresión para mejorar la distribución de la presión, y certificar la compatibilidad total del sistema AIO con distintos modelos de cajas del mercado.

Otro aspecto a incidir sería, como se ha comentado en el apartado correspondiente al fluido refrigerante, el de comprobar el efecto de distintas concentraciones de los aditivos seleccionados sobre las propiedades térmicas del agua destilada que funciona como base del fluido. Además, también se ha comentado la necesidad de obtener experimentalmente las cantidades de tinte que añadir al fluido para obtener distintos colores que ofertar a los clientes.

Por último, como se ha comentado al tratar el tema de la viabilidad económica, podría estudiarse la opción de diseñar y fabricar, también, algunos de los elementos comprados a terceros que más encarecen el precio, como por ejemplo los racores.

## Bibliografía

- [1] Asymco, «IBM and Apple: Catharsis,» 15 July 2014. [En línea]. Available: <http://www.asymco.com/2014/07/15/catharsis/>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [2] Y. Fernández, «Productos OEM: qué son y para qué se usan, tanto en hardware como software,» 5 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/basics/productos-oem-que-se-usan-hardware-como-software>.
- [3] TechPlanet, «The History of Water Cooling,» 07 April 2021. [En línea]. Available: <https://techplanet.today/post/the-history-of-water-cooling>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [4] Intel, «CPU Cooler: Liquid Cooling Vs. Air Cooling,» [En línea]. Available: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/gaming/resources/cpu-cooler-liquid-cooling-vs-air-cooling.html>. [Último acceso: 05 2022].
- [5] P. Mason, «Asetek intros new all-in-one liquid CPU cooler with miniautre 92mm radiator.,» 01 12 2010. [En línea]. Available: <https://hexus.net/tech/news/cooling/27770-asetek-intros-new-all-in-one-liquid-cpu-cooler-miniature-92mm-radiator/>. [Último acceso: 05 2022].
- [6] I. Martínez, «Review: Corsair iCUE H100i Elite, líquida dual con ARGB en el depósito,» 07 07 2022. [En línea]. Available: <https://elchapuzasinformatico.com/2022/07/corsair-icue-h100i-elite-review/>. [Último acceso: 07 07 2022].
- [7] S. McAnally, «Water Cooling Components- Radiators,» 07 06 2021. [En línea]. Available: <https://www.titanrig.com/blog/post/water-cooling-components-radiators>. [Último acceso: 05 2022].
- [8] xtremerigs.net, «Alphacool NexXxos UT60 280 Radiator Review,» 27 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.xtremerigs.net/2016/02/27/alphacool-nexxxos-ut60-280mm-radiator-review/>. [Último acceso: 05 2022].
- [9] T. DeWitt, «Why Do Aluminum radiators cool better,» [En línea]. Available: <https://www.dewitts.com/blogs/news/14759109-why-aluminum-radiators-cool-better>. [Último acceso: 05 2022].
- [10] Arctic, [En línea]. Available: <https://www.arctic.de/en/blog/new-look-for-flagship-aio-series>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [11] M. Teitelman, «Water Cooling Radiator Comparison: Thickness vs Fin density,» 31 Mayo 2013. [En línea]. Available: <https://pcper.com/2013/05/water-cooling-radiator-comparison-thickness-vs-fin-density/>. [Último acceso: 05 2022].

- [12] Intel Products, «4-Wire Pulse Width Modulation Controlled Fans Specification,» September 2005. [En línea]. Available: [https://web.archive.org/web/20110726062453/http://www.formfactors.org/developer/specs/4\\_Wire\\_PWM\\_Spec.pdf](https://web.archive.org/web/20110726062453/http://www.formfactors.org/developer/specs/4_Wire_PWM_Spec.pdf). [Último acceso: 05 2022].
- [13] C. Park, «Types of Computer Fans: Purpose, Size, and ratings explained,» 02 September 2021. [En línea]. Available: <https://emeraldforhome.com/types-of-computer-fans/#Brushless-DC-BLDC-Motors>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [14] J. Thorén y A. Widell, Development of Liquid Cooling for PCs. Component ANalysis for Factory Sealed Systems. Tesis., Göteborg, Sweden, 2011.
- [15] Tech4Gamers.com, «Push vs Pull vs Push-Pull Radiator Configuration,» 8 April 2022. [En línea]. Available: <https://tech4gamers.com/push-vs-pull-vs-push-pull-radiator/>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [16] HEID, «What's inside a cheap AIO CPU Liquid Cooler,» 12 may 2019. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=wb1PljDH2ME>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [17] UPV, Apuntes de Mecánica de Fluidos - Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, Curso 17/18.
- [18] S. Burke, «Technical Deep-Dive: Closed Loop Liquid Cooling,» 26 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.gamersnexus.net/guides/2926-how-liquid-coolers-work-deep-dive>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [19] A. Gobor, «RADIATORS PART 3 – SMALL AND THICK OR SLIM AND BIG?,» 4 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.ekwb.com/blog/radiators-part-3-surface-thickness/>. [Último acceso: 06 2022].
- [20] S. McAnally, «Water cooling components - Tubing,» 26 July 2021. [En línea]. Available: <https://www.titanrig.com/blog/post/water-cooling-components-tubing>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [21] Intel Corporation, «Desktop Platform Form Factors Power Supply,» June 2018. [En línea]. Available: <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/guides/power-supply-design-guide-june.pdf>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [22] Intel Corporation, «ATX Specification Version 2.2,» 2004. [En línea]. Available: <https://cdn.instructables.com/ORIG/FS8/5ILB/GU59Z1AT/FS85ILBGU59Z1AT.pdf>. [Último acceso: Marzo 2022].
- [23] Asetek, «United States Patent 8240362,» 14 08 2012. [En línea]. Available: <https://www.freepatentsonline.com/8240362.html>. [Último acceso: Mayo 2022].

- [24] Asetek, «United States Patent 8245764,» 21 08 2012. [En línea]. Available: <https://www.freepatentsonline.com/8245764.html>.
- [25] P. Lilly, «Cooler Master coughs up \$600k to Asetek for liquid cooling infringement,» 27 April 2017. [En línea]. Available: <https://www.pcgamer.com/cooler-master-coughs-up-600k-to-asetek-for-liquid-cooling-infringement/>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [26] H. Hagedoom, «Asetek loses patent infringement case Cooler Master in The Netherlands,» 21 09 2017. [En línea]. Available: <https://www.guru3d.com/news-story/asetek-looses-patent-infringement-case-cooler-master-in-the-netherlands.html>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [27] A. Sandys, «Supreme Court success for Brinkhof and Cooler Master over cooling systems,» 12 January 2021. [En línea]. Available: <https://www.juve-patent.com/news-and-stories/cases/supreme-court-success-for-brinkhof-and-cooler-master-over-cooling-systems/>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [28] R. A. Shaikh, «LGA 1200 socket is compatible with LGA 115X CPU coolers,» 24 April 2020. [En línea]. Available: <https://thinkcomputers.org/lga-1200-socket-is-compatible-with-lga-115x-cpu-coolers/>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [29] R. Solé, «Disipadores para el socket AMD AM4 serán compatibles con el socket AMD AM5,» 17 agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.profesionalreview.com/2021/08/17/socket-amd-am5/>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [30] P. Lathan y S. Burke, «AMD Ryzen TDP Explained: Deep-Dive on TDP Definitions & What Cooler Manufacturers Think,» Gamers Nexus, 20 October 2019. [En línea]. Available: <https://www.gamersnexus.net/guides/3525-amd-ryzen-tdp-explained-deep-dive-cooler-manufacturer-opinions>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [31] elEconomista.es, «Ranking Nacional de Empresas. Sector: Comercio al por mayor de aparatos electrodomésticos.,» 2020. [En línea]. Available: [https://ranking-empresas.eleconomista.es/ranking\\_empresas\\_nacional.html?qSectorNorm=4643](https://ranking-empresas.eleconomista.es/ranking_empresas_nacional.html?qSectorNorm=4643).
- [32] Cooler Master, «Cooler Master Masterliquid Lite 120,» [En línea]. Available: <https://www.coolermaster.com/la/es-la/catalog/coolers/cpu-liquid-coolers/masterliquid-lite-120/>. [Último acceso: Junio 2022].
- [33] Corsair, «Refrigerador líquido de CPU iCUE H100i ELITE CAPELLIX,» [En línea]. Available: Refrigerador líquido de CPU iCUE H100i ELITE CAPELLIX. [Último acceso: Junio 2022].
- [34] Corsair, «Refrigerador iCUE H150i ELITE LCD Display Liquid CPU,» [En línea]. Available: <https://www.corsair.com/es/es/Categor%C3%A3Das/Productos/Refrigeraci%C3%B3n-B3n->

- 1%C3%ADquida/iCUE-ELITE-LCD-Display-Liquid-CPU-Cooler/p/CW-9060062-WW. [Último acceso: Junio 2022].
- [35] S. Burke, «Gamers Nexus,» 8 2019. [En línea]. Available: <https://www.gamersnexus.net/hwreviews/3499-evga-clc-360-liquid-cooler-review-noise-normalized-thermals>.
- [36] J. Livingston, «QFD Online,» 31 3 2008. [En línea]. Available: <http://www.qfdonline.com/archives/whats-the-use/>.
- [37] Darwin PC, «Filling a monster watercooling loop for PC with 3 radiators! Twin Core P5 gaming PC mod,» 24 may 2016. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=u9ctmFKCPTc>. [Último acceso: Junio 2022].
- [38] S. Nauman, «Akasa is releasing Alder Lake, LGA1700 compatible CPU coolers,» 22 01 2022. [En línea]. Available: <https://www.enostech.com/akasa-is-releasing-alder-lake-lga1700-compatible-cpu-coolers/#:~:text=Due%20to%20the%20new%20sizes,37.5%20mm%20x%2045%20mm..>
- [39] Corsair, «Pack de bomba/depósito Hydro X Series XD5 RGB,» [En línea]. Available: <https://www.corsair.com/es/es/Categor%C3%ADAs/Productos/Custom-Cooling/Bomba-dep%C3%B3sitos/Hydro-X-Series-XD5-RGB-Pump-Reservoir-Combo/p/CX-9040002-WW#tab-tech-specs>. [Último acceso: junio 2022].
- [40] R. Hartung, «Testing one of the Weirdest Water Cooling Myths - A SLOWER Flow Rate will result in BETTER Temps?,» 16 agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=MFoWyYGqBxE&t=615s>. [Último acceso: Junio 2022].
- [41] Martin's Liquid Lab, «XSPC Edge Acrylic CPU Waterblock Preview,» 2008. [En línea]. Available: <http://martinsliquidlab.petrastech.com/XSPC-Edge-Acrylic-CPU-Preview.html>.
- [42] Martin's Liquid Lab, «XSPC RS120 Radiator Review,» 2008. [En línea]. Available: <http://martinsliquidlab.petrastech.com/XSPC-RS120-Radiator-Review.html>.
- [43] Martin's Liquid Lab, «XSPC RS240 Radiator Review,» 2008. [En línea]. Available: <http://martinsliquidlab.petrastech.com/XSPC-RS240-Radiator-Review.html>.
- [44] UPV, Apuntes de termodinámica - Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, Curso 17/18.
- [45] Alphacool, «DC-LT 2600 Ultra low noise Ceramic - 12V DC,» [En línea]. Available: <https://www.alphacool.com/shop/pumpen/dc-lt/20729/alphacool-dc-lt-2600-ultra-low-noise-ceramic-12v-dc>. [Último acceso: Junio 2022].

- [46] X. Xie, Z. Liu, Y. He y W. Tao, «Numerical study of laminar heat transfer and pressure drop characteristics in a water-cooled minichannel heat sink,» *Elsevier Applied Thermal Engineering*, nº 64-74, 2008.
- [47] ALESA, «Circular saw blades side milling cutters,» 2014. [En línea]. Available: [https://www.irapen.es/pdf/ALESA\\_Fresado-Nutex.pdf](https://www.irapen.es/pdf/ALESA_Fresado-Nutex.pdf). [Último acceso: 05 2022].
- [48] Juntas Besma S.A., «Catálogo juntas tóricas,» [En línea]. Available: <https://www.juntasbesma.com/pdfs/catalogojuntastoricas.pdf>. [Último acceso: 05 2022].
- [49] Wikichip, «Socket AM4,» [En línea]. Available: [https://en.wikichip.org/wiki/amd/packages/socket\\_am4#Package\\_Diagrams](https://en.wikichip.org/wiki/amd/packages/socket_am4#Package_Diagrams). [Último acceso: 5 2022].
- [50] I. Wallossek, «Intel Socket LGA-1700 and LGA-1800 in detail – Exclusive data and drawings for the new CPUs starting with Alder Lake | Leak,» 28 06 2021. [En línea]. Available: <https://www.igorslab.de/en/intel-socket-lga-1700-and-lga-1800-in-detail-exclusive-data-and-drawings-for-the-new-cpus-ab-alder-lake/>. [Último acceso: 05 2022].
- [51] AliExpress, «Soporte Intel CPU LGA1700, placa posterior de montaje de bloque de CPU,» [En línea]. Available: [https://es.aliexpress.com/item/1005004509021572.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.72b17551IICLS2&algo\\_pvid=af7c4eb1-0cf7-4aaf-955c-2074641e6dc3&algo\\_exp\\_id=af7c4eb1-0cf7-4aaf-955c-2074641e6dc3-8&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000029411996325%22%7D&pdp\\_npi=.](https://es.aliexpress.com/item/1005004509021572.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.72b17551IICLS2&algo_pvid=af7c4eb1-0cf7-4aaf-955c-2074641e6dc3&algo_exp_id=af7c4eb1-0cf7-4aaf-955c-2074641e6dc3-8&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000029411996325%22%7D&pdp_npi=.) [Último acceso: 06 2022].
- [52] Laird Thermal Systems, «Common Coolant Types and their Uses in Liquid Cooling Systems,» [En línea]. Available: <https://lairdthermal.com/thermal-technical-library/application-notes/common-coolant-types-and-their-uses-liquid-cooling-systems>. [Último acceso: Junio 2022].
- [53] M. Matthews, «PC Water Coolant Chemistry - Part II,» 5 Mayo 2004. [En línea]. Available: [https://www.overclockers.com/pc-water-coolant-chemistry-part-ii/#Too\\_Pure](https://www.overclockers.com/pc-water-coolant-chemistry-part-ii/#Too_Pure). [Último acceso: 06 2022].
- [54] Silkolene, «Silkolene Pro CCA Ultra Technical Data,» Julio 2015. [En línea]. Available: <https://passionparts.ch/wp-content/uploads/2021/01/Technisches-Datenblatt-Pro-CCA-Ultra.pdf>. [Último acceso: Junio 2022].
- [55] PG Propylene Glycol, «What are Propylene Glycols,» [En línea]. Available: <https://www.propylene-glycol.com/what-is-propylene-glycol>. [Último acceso: Junio 2022].

- [56] Corechem, «Ethylene Glycol Heat Transfer Fluid Freeze Point Chart,» [En línea]. Available: <https://corecheminc.com/wp-content/uploads/2020/06/Freeze-Point-Chart-GlycoChill-Ethylene-Glycol-Heat-Transfer-Fluid.pdf>. [Último acceso: Junio 2022].
- [57] alphacool, «alphacool.com,» [En línea]. Available: <https://www.alphacool.com/3d-downloadcenter>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [58] Advantage, «ttequip.com,» 14 4 1995. [En línea]. Available: <https://ttequip.com/wp-content/uploads/2018/01/Proper-Use-Of-Inhibited-Propylene-Glycol.pdf>. [Último acceso: Junio 2022].
- [59] A. Gobor, «Fittings and tubing guide,» 6 September 2020. [En línea]. Available: <https://www.ekwb.com/blog/fittings-and-tubing-guide/>. [Último acceso: Mayo 2022].



# **DOCUMENTO II:**

# **PRESUPUESTO**



## 1. Introducción

La realización de un presupuesto es fundamental para el análisis de la viabilidad económica del proyecto. A continuación, se hará un desglose de los distintos gastos estimados para la fabricación del producto objeto del proyecto. Para ello, se hará va a desarrollar el cuadro de precios básicos, el cuadro de precios descompuestos, el cuadro de precios unitarios y el presupuesto de inversión.

## 2. Cuadro de precios básicos

A continuación, se presentan los principales costes de materiales, maquinaria y mano de obra estimados para la fabricación del sistema. Para los materiales que no han sido encontrados con precios de venta al por mayor se ha considerado una rebaja del 50% sobre el PVP encontrado.

Cuadro de precios básicos		
Unidad	Descripción	Precio por unidad
<b>Mano de obra</b>		
h	Técnico de maquinaria	20.00
h	Técnico de montaje	15.00
<b>Materiales</b>		
kg	Cobre en planchas	10.24
kg	Acero inoxidable en chapas	3.58
kg	Plástico ABS en gránulos	1.80
kg	Plástico PMMA en planchas	1.80
kg	Pasta térmica GD900 1kg	111.13
ud	FreezeMod 240 mm Aluminium Radiator	11.73
ud	FreezeMod 120 mm Aluminium Radiator	6.84
ud	DC-LT 2600 Ultra low noise ceramic 12V	11.39
ud	ISO 7046-1 M3 x 10	0.02
ud	ISO 7046-1 M3,5 x 44	0.04
ud	ISO 7045 - M3,5 x 6	0.02
ud	Junta de estanqueidad EPDM	0.06
ud	DIN 7985 M3x6	0.02
ud	DIN 7985 M3,5x25	0.04
ud	Backplate LGA1700	1.85
ud	ISO 7045 - M2,5 x 10	0.02
ud	ISO 7045 - M3 x 6	0.02
m	Tubo PVC flexible 16/10	0.60
ud	Barrow THKN-3/8-V3	0.90
ud	Barrow FBTW90	1.50
ud	Barrow TBKDS	0.30
ud	TD1225-12M	1.60
ud	DIN 7985 M2,5x30	0.04
L	Líquido (ya mezclado)	2.69
<b>Equipo/Maquinaria</b>		
h	Máquina de corte láser	35.00
h	Prensa plegadora	12.00
h	Equipo de inyección de plásticos	40.00
h	Máquina de Fresado	40.00

### 3. Cuadro de precios descompuestos

En este apartado se detallan las distintas unidades de obra que componen el proyecto. Se han aplicado unos costes directos complementarios del 2% para todas las unidades. La masa de cada pieza se ha obtenido a través de las propiedades de cada una de las piezas con el material seleccionado en *Autodesk Inventor*.

Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-1	ud	Mecanizado intercambiador de calor		2.65	
1.1	kg	Cobre en planchas	0.060	10.24	0.614
1.2	h	Máquina de Fresado	0.033	40.00	1.320
1.3	h	Técnico de maquinaria	0.033	20.00	0.660
	%	Costes directos complementarios	0.020	2.59	0.052
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-2	ud	Fabricación del difusor en ABS		0.62	
2.1	kg	Plástico ABS en gránulos	0.002	1.80	0.004
2.2	h	Equipo de inyección de plásticos	0.010	40.00	0.400
2.3	h	Técnico de maquinaria	0.010	20.00	0.200
	%	Costes directos complementarios	0.020	0.604	0.012
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-3	ud	Fabricación Tapa Inferior en ABS		0.44	
3.1	kg	Plástico ABS en gránulos	0.008	1.80	0.014
3.2	h	Equipo de inyección de plásticos	0.010	40.00	0.400
3.3	h	Técnico de maquinaria	0.010	20.00	0.020
	%	Costes directos complementarios	0.020	0.43	0.009
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-4	ud	Fabricación Cámara Inferior en ABS		0.54	
4.1	kg	Plástico ABS en gránulos	0.061	1.80	0.110
4.2	h	Equipo de inyección de plásticos	0.010	40.00	0.400
4.3	h	Técnico de maquinaria	0.010	20.00	0.020
	%	Costes directos complementarios	0.020	0.53	0.011
<hr/>					

Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-5	ud	Fabricación Cámara Bomba en ABS		0.49	
5.1	kg	Plástico ABS en gránulos	0.033	1.80	0.059
5.2	h	Equipo de inyección de plásticos	0.010	40.00	0.400
5.3	h	Técnico de maquinaria	0.010	20.00	0.020
	%	Costes directos complementarios	0.020	0.48	0.010
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-6	ud	Fabricación Tapa Superior en ABS		0.52	
6.1	kg	Plástico ABS en gránulos	0.052	1.80	0.094
6.2	h	Equipo de inyección de plásticos	0.010	40.00	0.400
6.3	h	Técnico de maquinaria	0.010	20.00	0.020
	%	Costes directos complementarios	0.020	0.51	0.010
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-7	ud	Fabricación Componentes plásticos de montaje		0.44	
7.1	kg	Plástico ABS en gránulos	0.008	1.80	0.014
7.2	h	Equipo de inyección de plásticos	0.010	40.00	0.400
7.3	h	Técnico de maquinaria	0.010	20.00	0.020
	%	Costes directos complementarios	0.020	0.43	0.009
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-8	ud	Corte Amarre General		0.34	
8.1	kg	Acero inoxidable en chapas	0.017	3.58	0.061
8.2	h	Máquina de corte láser	0.005	35.00	0.175
8.3	h	Técnico de maquinaria	0.005	20.00	0.100
	%	Costes directos complementarios	0.020	0.34	0.007
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-9	ud	Corte Amarre AM4		0.32	
9.1	kg	Acero inoxidable en chapas	0.012	3.58	0.043
9.2	h	Máquina de corte láser	0.005	35.00	0.175
9.3	h	Técnico de maquinaria	0.005	20.00	0.100
	%	Costes directos complementarios	0.020	0.32	0.006
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-10	ud	Corte Amarre LGA1700		0.34	
10.1	kg	Acero inoxidable en chapas	0.015	3.58	0.054
10.2	h	Máquina de corte láser	0.005	35.00	0.175
10.3	h	Técnico de maquinaria	0.005	20.00	0.100
	%	Costes directos complementarios	0.020	0.33	0.007
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-11	ud	Fabricación Base Indicador Flujo en ABS		0.46	
11.1	kg	Plástico ABS en gránulos	0.016	1.80	0.029
11.2	h	Equipo de inyección de plásticos	0.010	40.00	0.400
11.3	h	Técnico de maquinaria	0.010	20.00	0.020
	%	Costes directos complementarios	0.020	0.45	0.009

Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-12	ud	Fabricación Rotor Indicador Flujo en ABS		0.43	
12.1	kg	Plástico ABS en gránulos	0.003	1.80	0.005
12.2	h	Equipo de inyección de plásticos	0.010	40.00	0.400
12.3	h	Técnico de maquinaria	0.010	20.00	0.020
	%	Costes directos complementarios	0.020	0.43	0.009
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-13	ud	Corte Ventana metacrilato		0.38	
13.1	kg	Plástico PMMA en planchas	0.003	1.80	0.005
13.2	h	Máquina de corte láser	0.010	35.00	0.350
13.3	h	Técnico de maquinaria	0.010	20.00	0.020
	%	Costes directos complementarios	0.020	0.38	0.008
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-14	ud	Fabricación soporte indicador de flujo		0.37	
14.1	kg	Acero inoxidable en chapas	0.012	3.58	0.043
14.2	h	Máquina de corte láser	0.005	35.00	0.175
14.3	h	Prensa plegadora	0.001	12.00	0.020
14.4	h	Técnico de maquinaria	0.006	20.00	0.120
	%	Costes directos complementarios	0.020	0.36	0.007
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-15	ud	Montaje del sistema		53.84	
15.1	h	Técnico de montaje	0.07	15.00	1.050
15.2	ud	FreezeMod 240 mm Aluminium Radiator	1.00	11.73	11.730
15.3	ud	FreezeMod 120 mm Aluminium Radiator	1.00	6.84	6.840
15.4	ud	DC-LT 2600 Ultra low noise ceramic 12	1.00	11.39	11.390
15.5	ud	ISO 7046-1 M3 x 10	4.00	0.02	0.080
15.6	ud	ISO 7046-1 M3,5 x 44	4.00	0.04	0.160
15.7	ud	ISO 7045 - M3,5 x 6	2.00	0.02	0.040
15.8	ud	Junta de estanqueidad EPDM	7.00	0.06	0.420
15.9	ud	DIN 7985 M3x6	2.00	0.02	0.040
15.10	ud	DIN 7985 M3,5x25	4.00	0.04	0.160
15.11	ud	DIN 7985 M3x25	4.00	0.04	0.160
15.12	ud	Backplate LGA1700	1.00	1.85	1.850
15.13	ud	ISO 7045 - M2,5 x 10	4.00	0.02	0.080
15.14	ud	ISO 7045 - M3 x 6	4.00	0.02	0.080
15.15	m	Tubo PVC flexible 16/10	0.73	0.60	0.436
15.16	ud	Barrow THKN-3/8-V3	8.00	0.90	7.200
15.17	ud	Barrow FBWT90	3.00	1.50	4.500
15.18	ud	Barrow TBKDS	2.00	0.30	0.600
15.19	ud	TD1225-12M	3.00	1.60	4.800
15.20	ud	DIN 7985 M2,5x30	12.00	0.04	0.480
15.21	L	Líquido (ya mezclado)	0.25	2.69	0.673
15.22	kg	Pasta térmica GD900 1kg	0.00015	111.13	0.017
	%	Costes directos complementarios	0.02	52.785	1.056

## 4. Cuadro de precios unitarios

Para los precios unitarios se ha considerado que los costes indirectos conformen el 4% de los costes directos.

Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-1	ud	Mecanizado intercambiador de calor		2.75	
	ud	Costes directos	1	2.65	2.65
%		Costes indirectos	0.04	2.65	0.11
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-2	ud	Fabricación del difusor en ABS		0.64	
	ud	Costes directos	1	0.62	0.62
%		Costes indirectos	0.04	0.62	0.02
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-3	ud	Fabricación Tapa Inferior en ABS		0.46	
	ud	Costes directos	1	0.44	0.44
%		Costes indirectos	0.04	0.44	0.02
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-4	ud	Fabricación Cámara Inferior en ABS		0.56	
	ud	Costes directos	1	0.54	0.54
%		Costes indirectos	0.04	0.54	0.02
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-5	ud	Fabricación Cámara Bomba en ABS		0.51	
	ud	Costes directos	1	0.49	0.49
%		Costes indirectos	0.04	0.49	0.02
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-6	ud	Fabricación Tapa Superior en ABS		0.54	
	ud	Costes directos	1	0.52	0.52
%		Costes indirectos	0.04	0.52	0.02
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-7	ud	Fabricación Componentes plásticos de montaje		0.46	
	ud	Costes directos	1	0.44	0.44
%		Costes indirectos	0.04	0.44	0.02
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-8	ud	Corte Amarre General		0.36	
	ud	Costes directos	1	0.34	0.34
%		Costes indirectos	0.04	0.34	0.01
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-9	ud	Corte Amarre AM4		0.34	
	ud	Costes directos	1	0.32	0.32
%		Costes indirectos	0.04	0.32	0.01
<hr/>					
Código	Unidad	Elemento	Cantidad	Precio por ud.	Importe
UO-10	ud	Corte Amarre LGA1700		0.36	
	ud	Costes directos	1	0.34	0.34
%		Costes indirectos	0.04	0.34	0.01
<hr/>					

<b>Código</b>	<b>Unidad</b>	<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio por ud.</b>	<b>Importe</b>
UO-11	ud	Fabricación Base Indicador Flujo en ABS		0.48	
	ud	Costes directos	1	0.46	0.46
	%	Costes indirectos	0.04	0.46	0.02
UO-12	ud	Fabricación Rotor Indicador Flujo en ABS		0.45	
	ud	Costes directos	1	0.43	0.43
	%	Costes indirectos	0.04	0.43	0.02
UO-13	ud	Corte Ventana metacrilato		0.40	
	ud	Costes directos	1	0.38	0.38
	%	Costes indirectos	0.04	0.38	0.02
UO-14	ud	Fabricación soporte indicador de flujo		0.38	
	ud	Costes directos	1	0.37	0.37
	%	Costes indirectos	0.04	0.37	0.01
UO-15	ud	Montaje del sistema		55.98	
	ud	Costes directos	1	53.82	53.82
	%	Costes indirectos	0.04	53.82	2.15

## 5. Presupuesto de inversión

Se han aplicado unos gastos generales del 15% y un 5% de beneficio industrial sobre el PEM (Presupuesto de Ejecución Material). Además, se ha considerado el 21% de IVA propio de España.

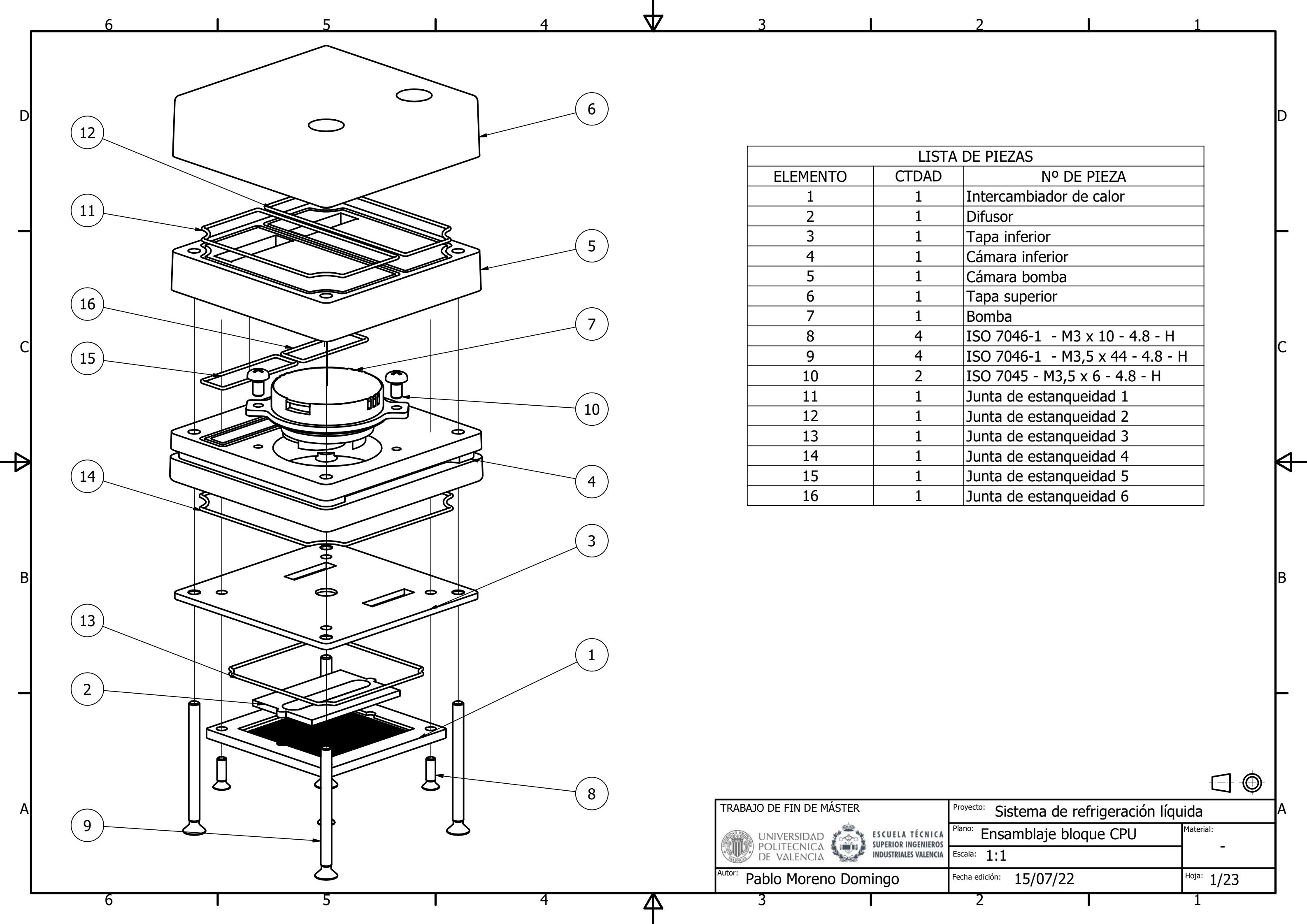
Código	Unidad	Elemento	Medición	Precio por unidad	Importe [€]
UO-1	ud	Mecanizado intercambiador de calor	1	2.75	2.75
UO-2	ud	Fabricación del difusor en ABS	1	0.64	0.64
UO-3	ud	Fabricación Tapa Inferior en ABS	1	0.46	0.46
UO-4	ud	Fabricación Cámara Inferior en ABS	1	0.56	0.56
UO-5	ud	Fabricación Cámara Bomba en ABS	1	0.51	0.51
UO-6	ud	Fabricación Tapa Superior en ABS	1	0.54	0.54
UO-7	ud	Fabricación Componentes plásticos de montaje	1	0.46	0.46
UO-8	ud	Corte Amarre General	2	0.36	0.71
UO-9	ud	Corte Amarre AM4	2	0.34	0.67
UO-10	ud	Corte Amarre LGA1700	2	0.36	0.71
UO-11	ud	Fabricación Base Indicador Flujo en ABS	1	0.48	0.48
UO-12	ud	Fabricación Rotor Indicador Flujo en ABS	1	0.45	0.45
UO-13	ud	Corte Ventana metacrilato	1	0.40	0.40
UO-14	ud	Fabricación soporte indicador de flujo	1	0.38	0.38
UO-15	ud	Montaje del sistema	1	55.99	55.99
<b>Presupuesto de Ejecución Material (PEM)</b>					<b>65.73</b>
- Gastos Generales (15% del PEM)					9.86
- Beneficio Industrial (5% del PEM)					3.29
<b>Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)</b>					<b>78.87</b>
- IVA (21% del PEC)					16.56
<b>Presupuesto de Inversión</b>					<b>95.44</b>

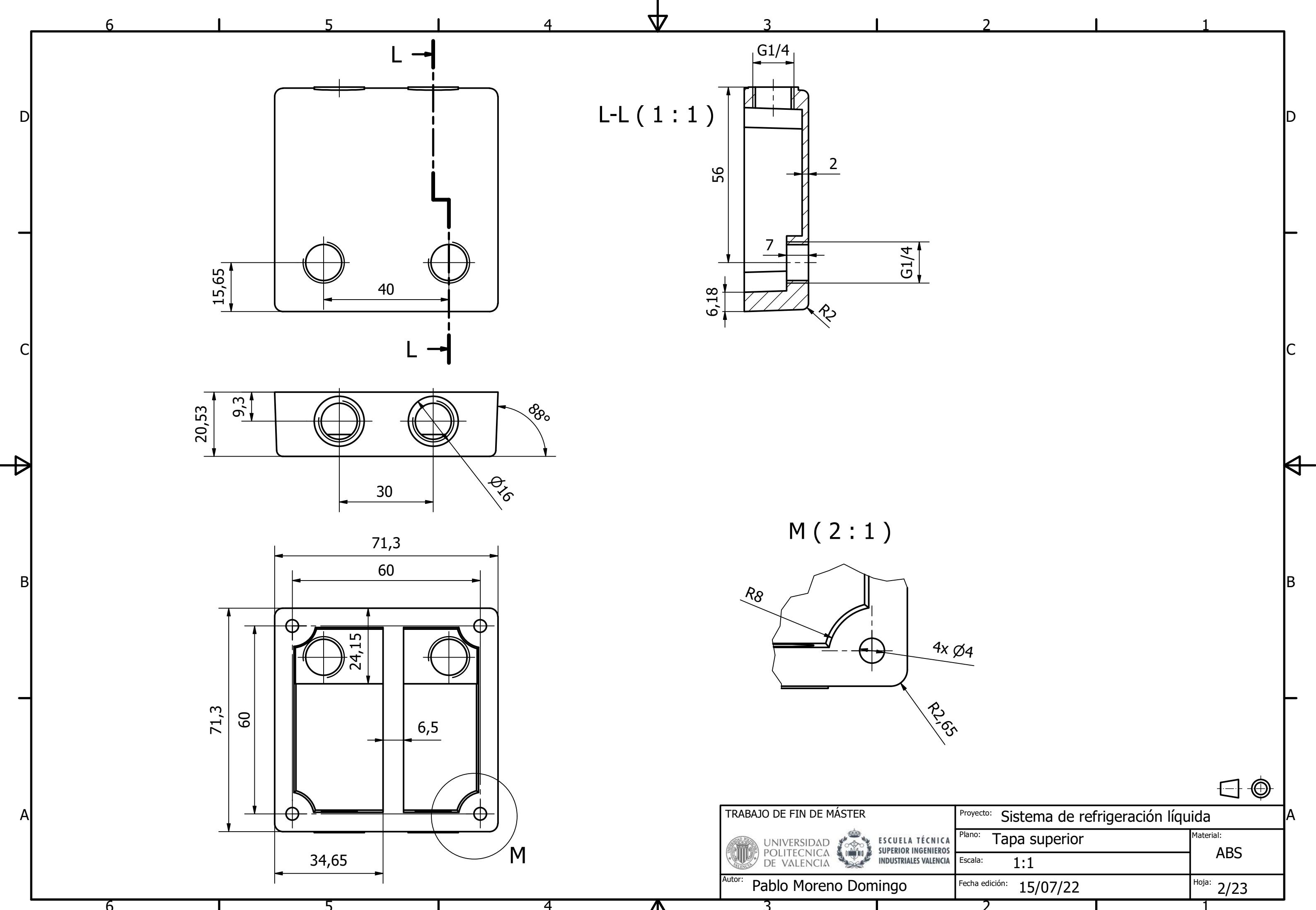
Así, el presupuesto de inversión asciende a la cantidad de NOVENTA Y CINCO EUROS CON CUARENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.

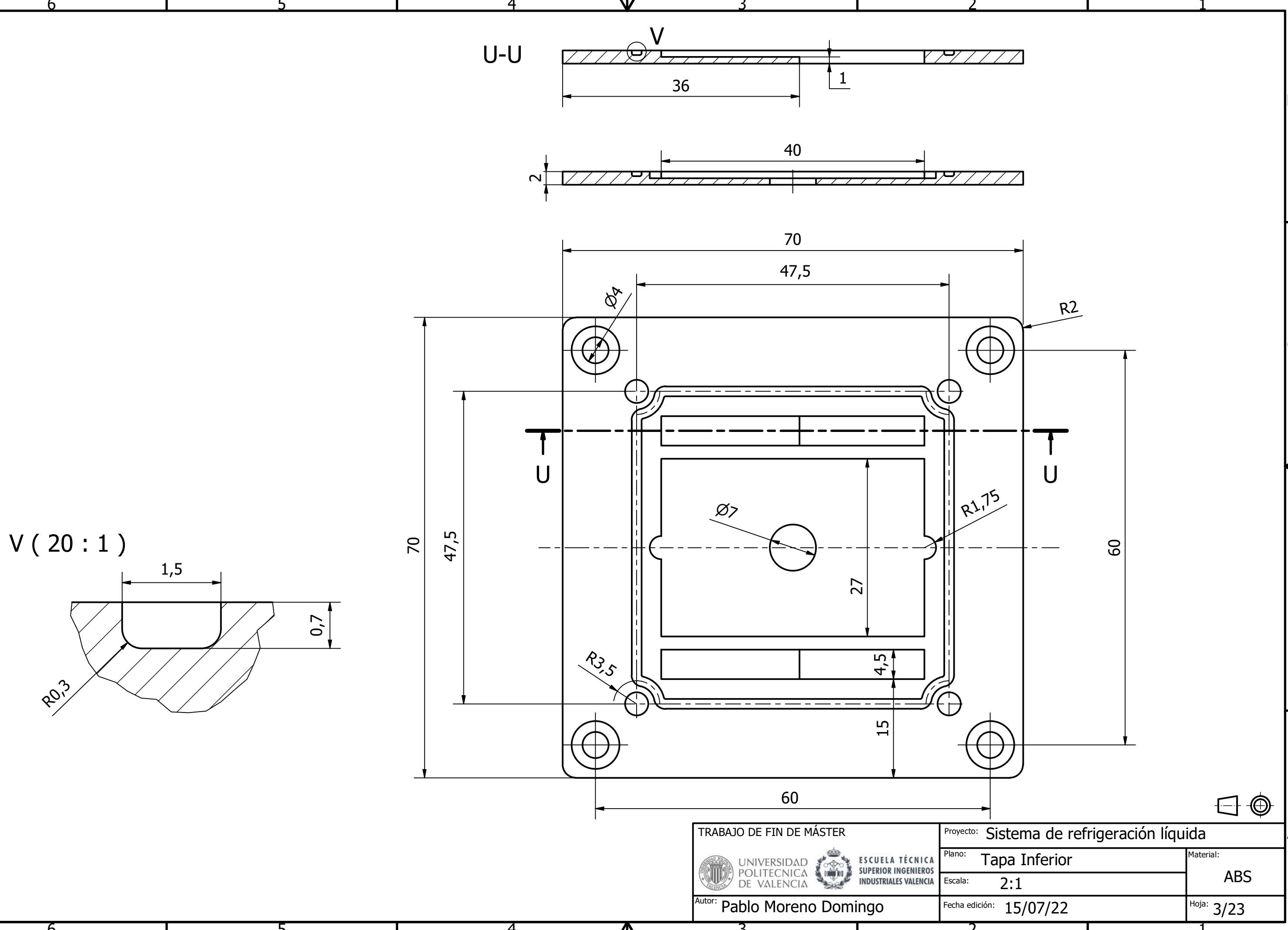


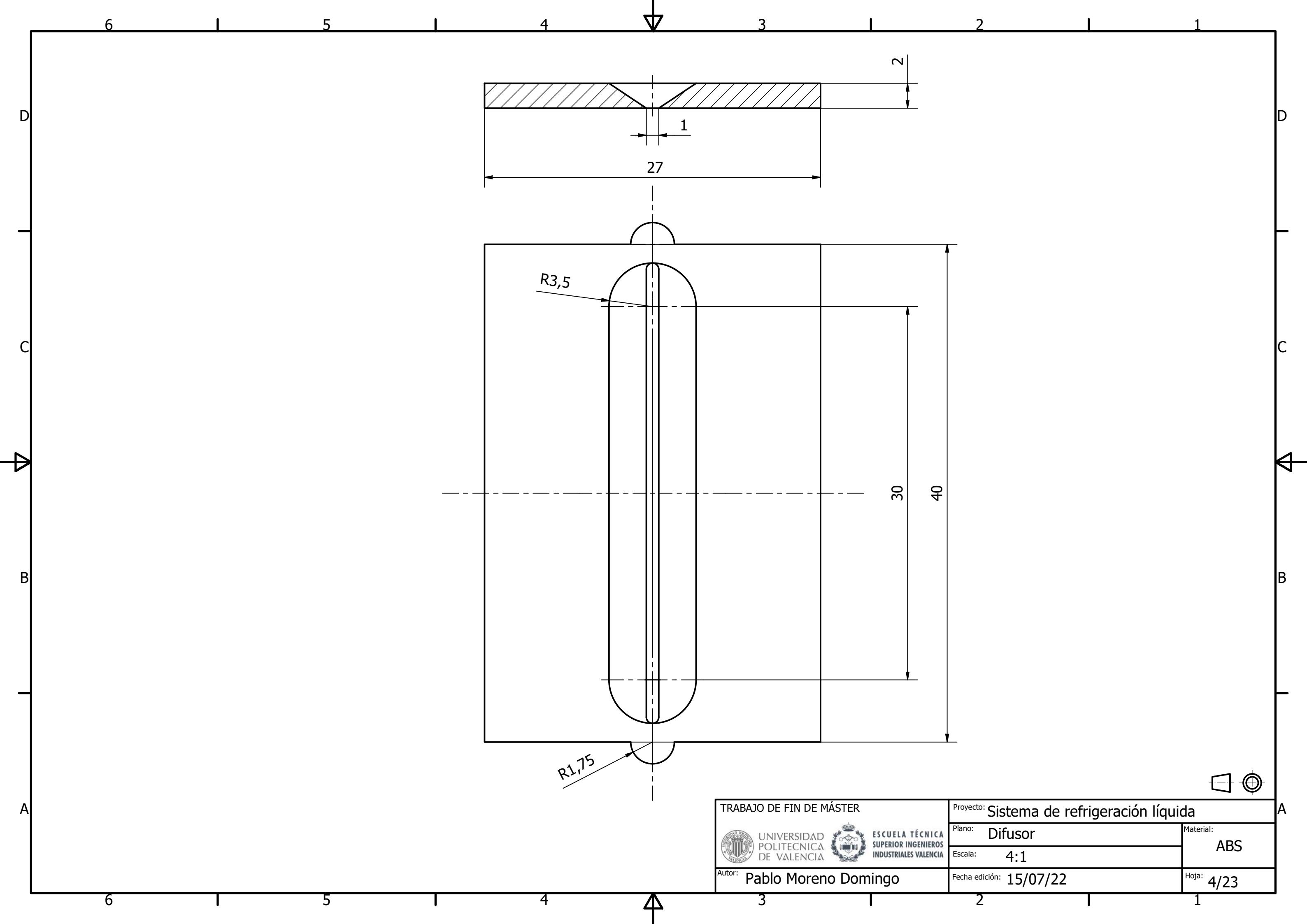
# **DOCUMENTO III:**

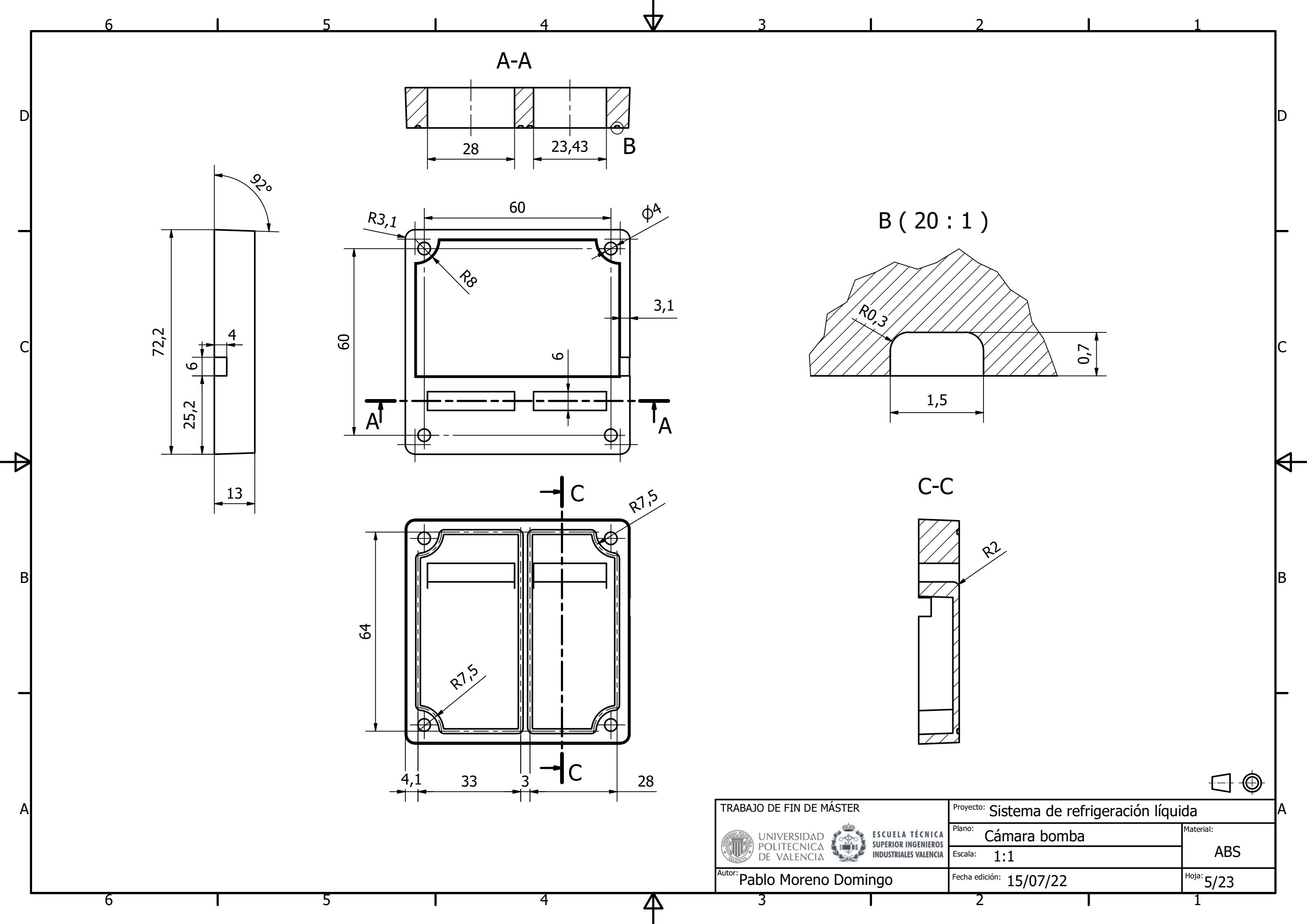
# **PLANOS**

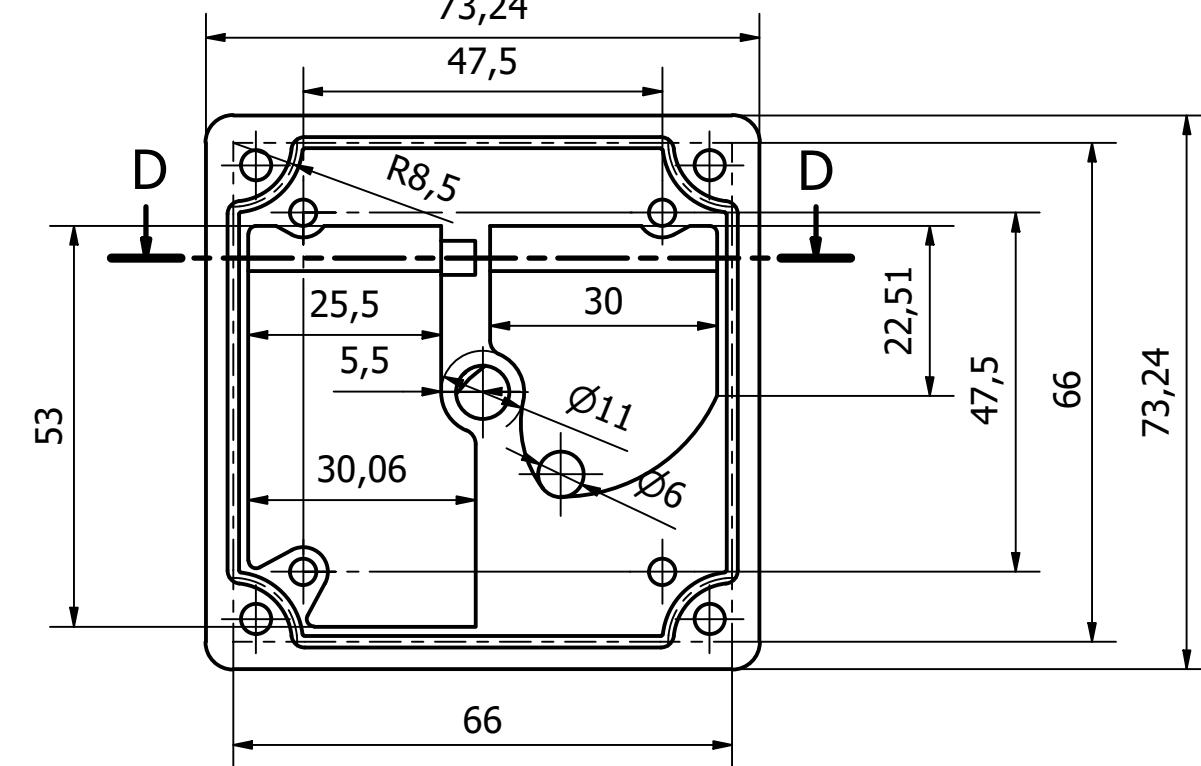
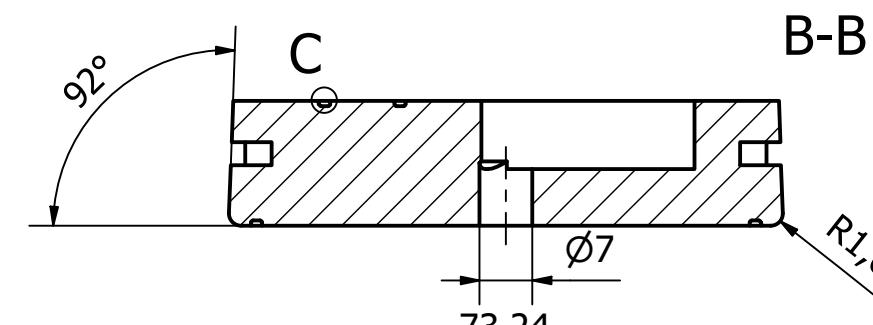
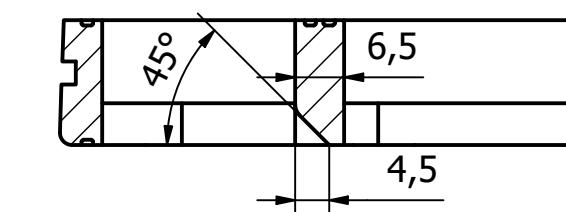
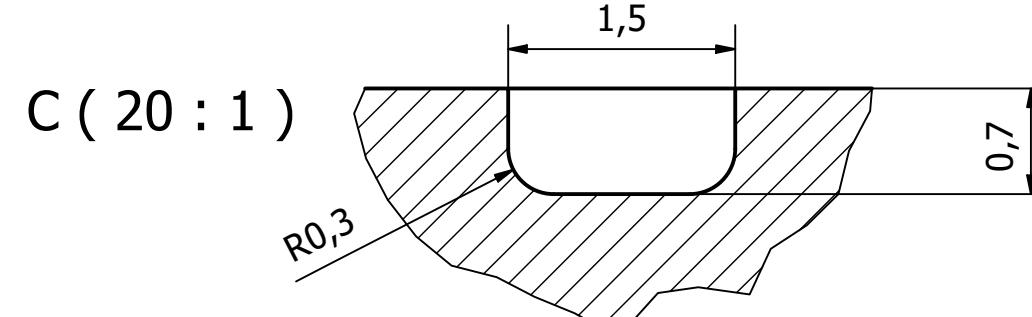
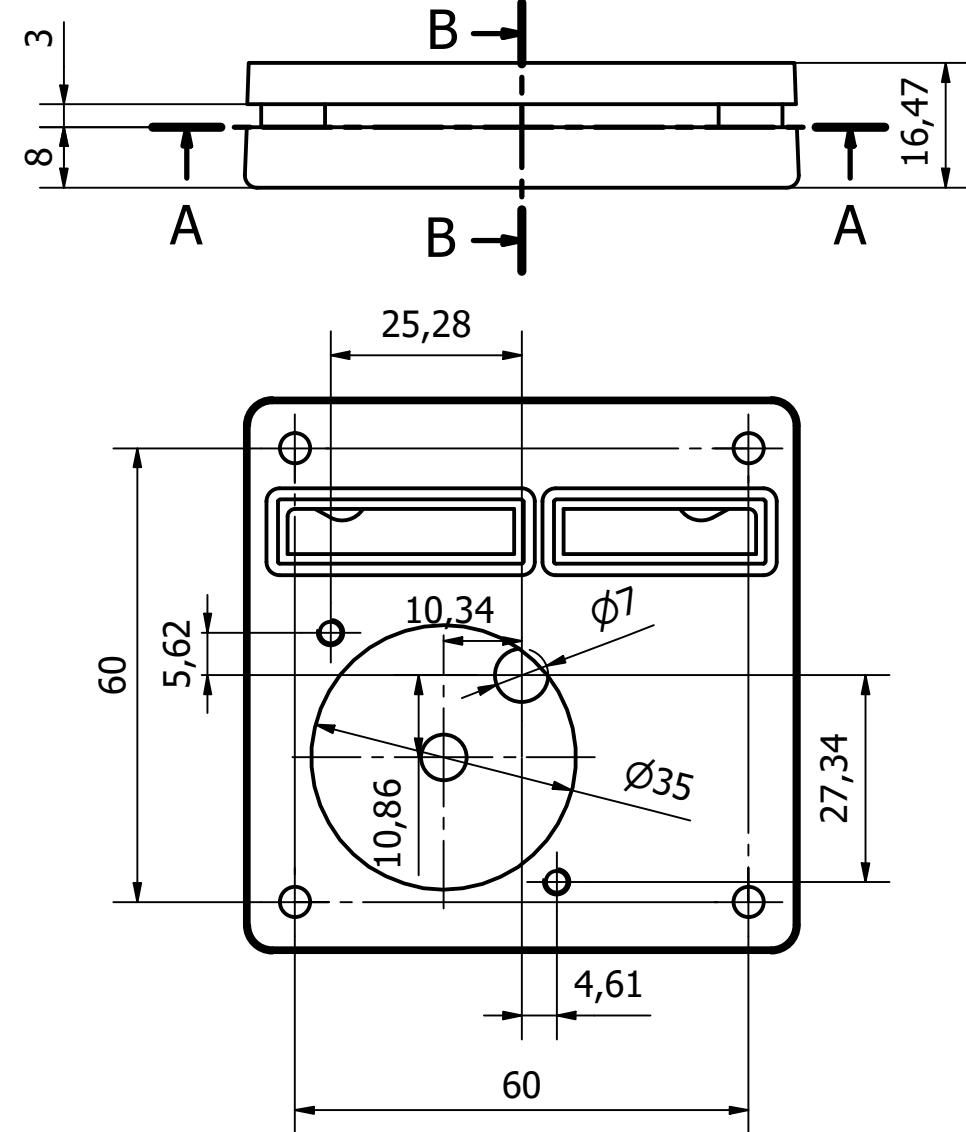
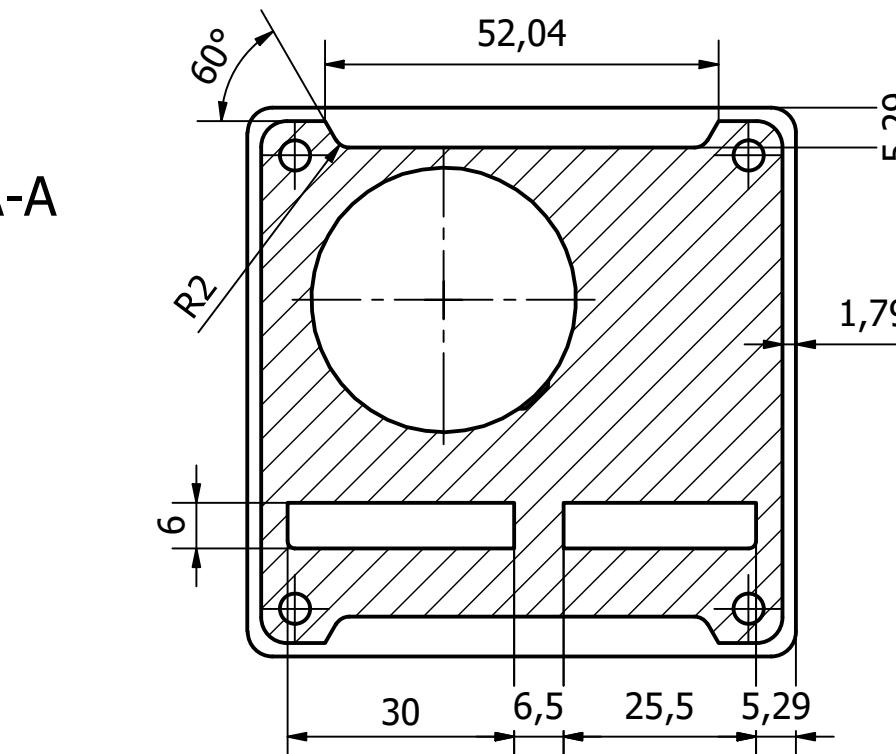


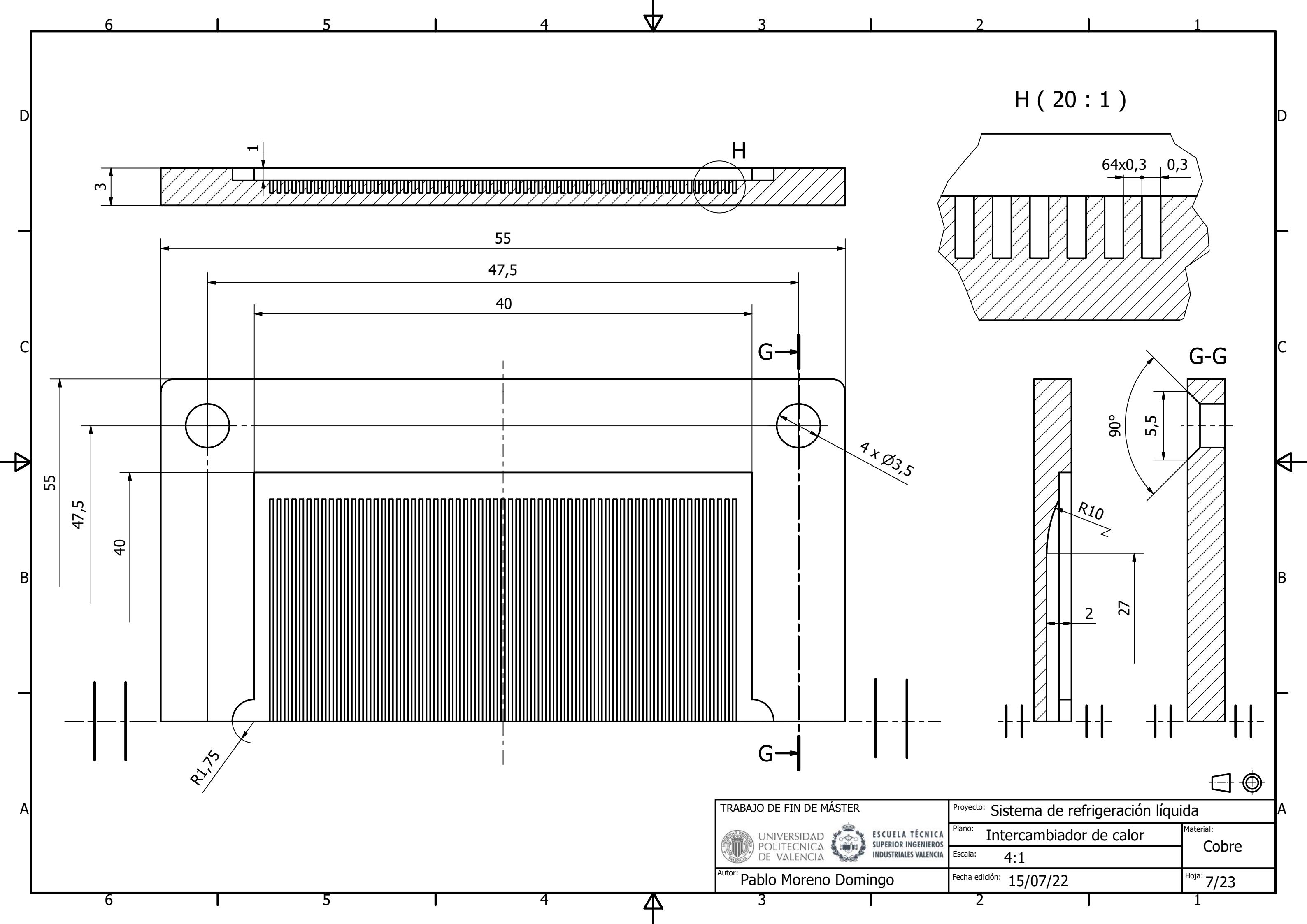


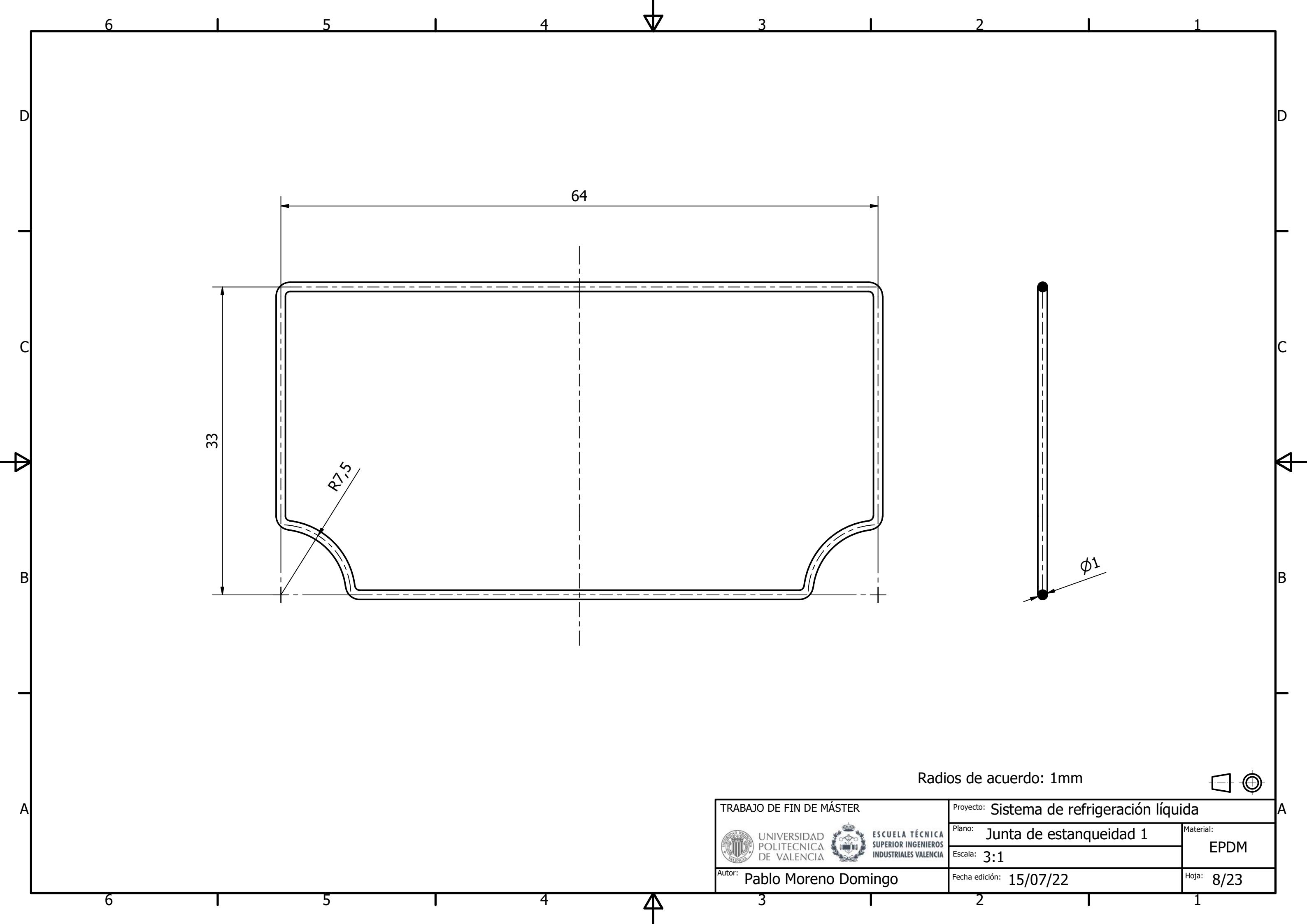


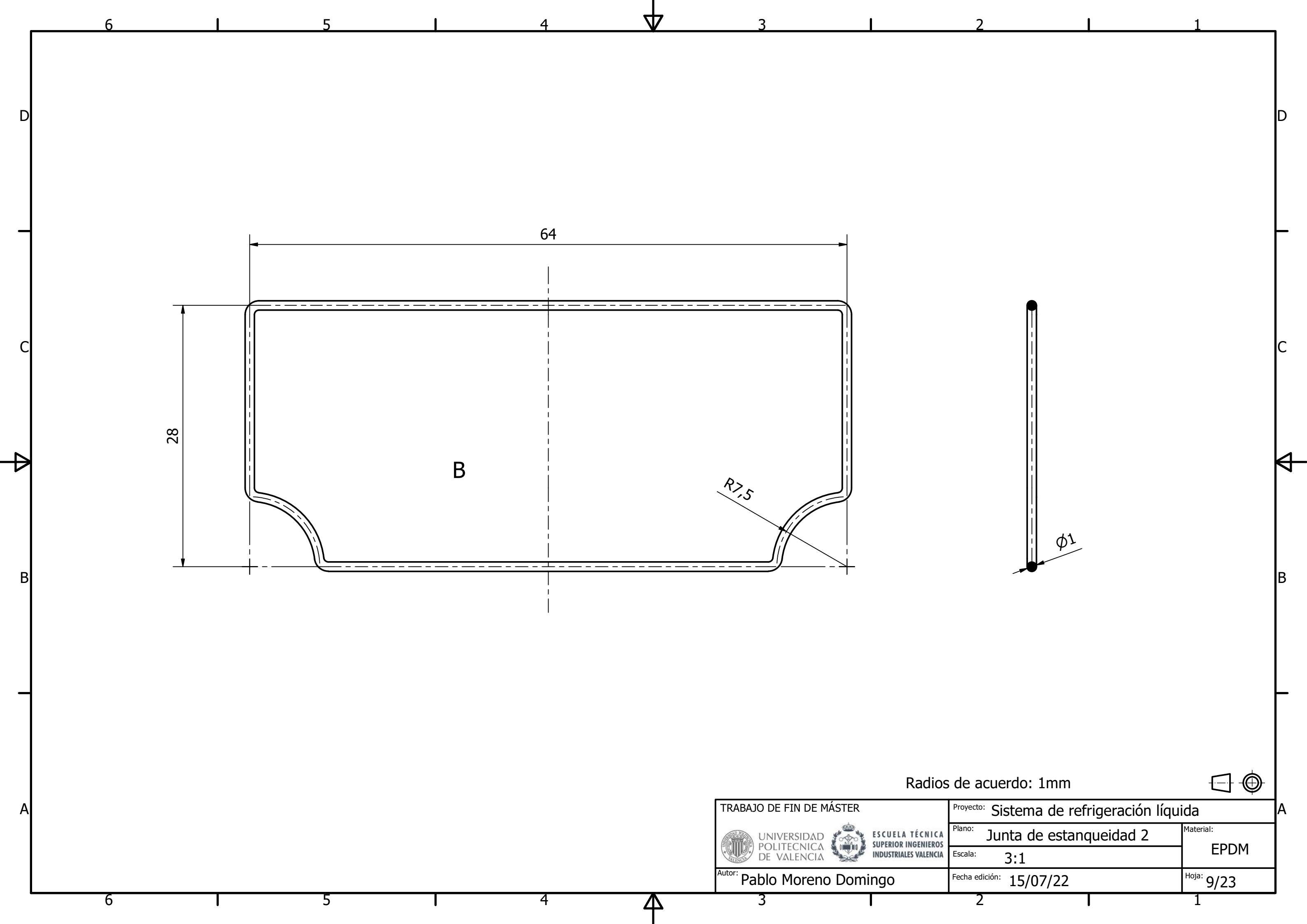


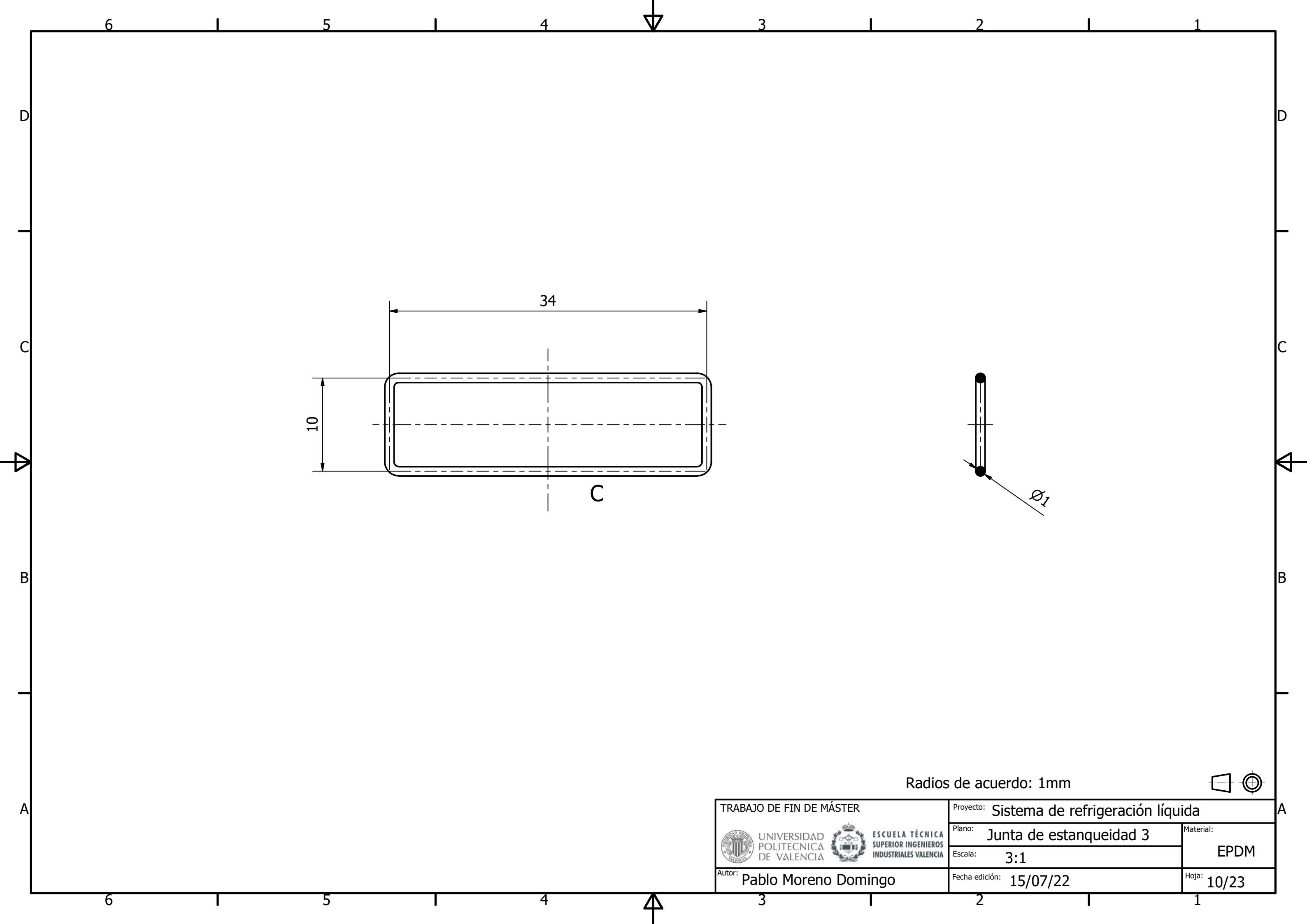


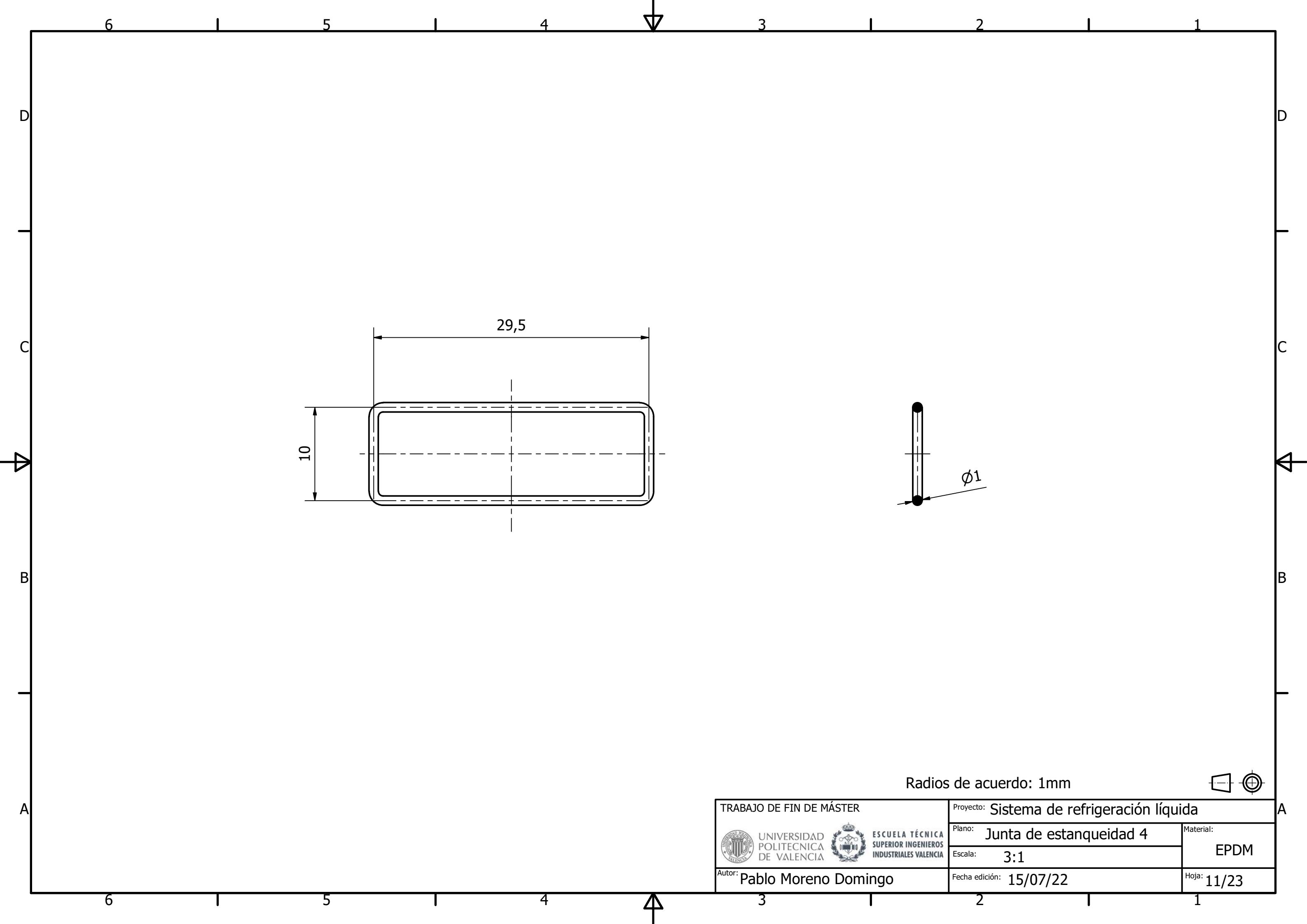


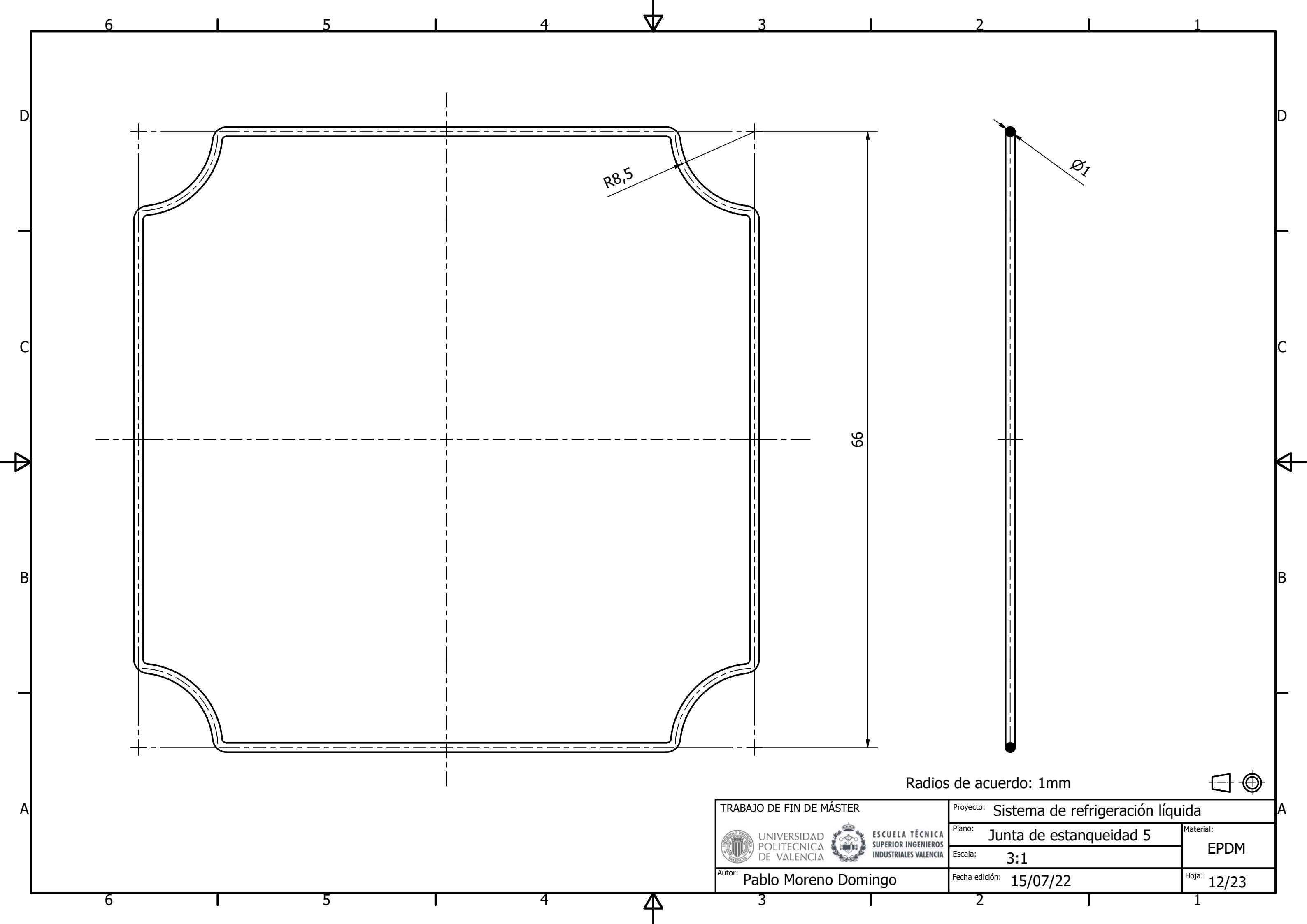


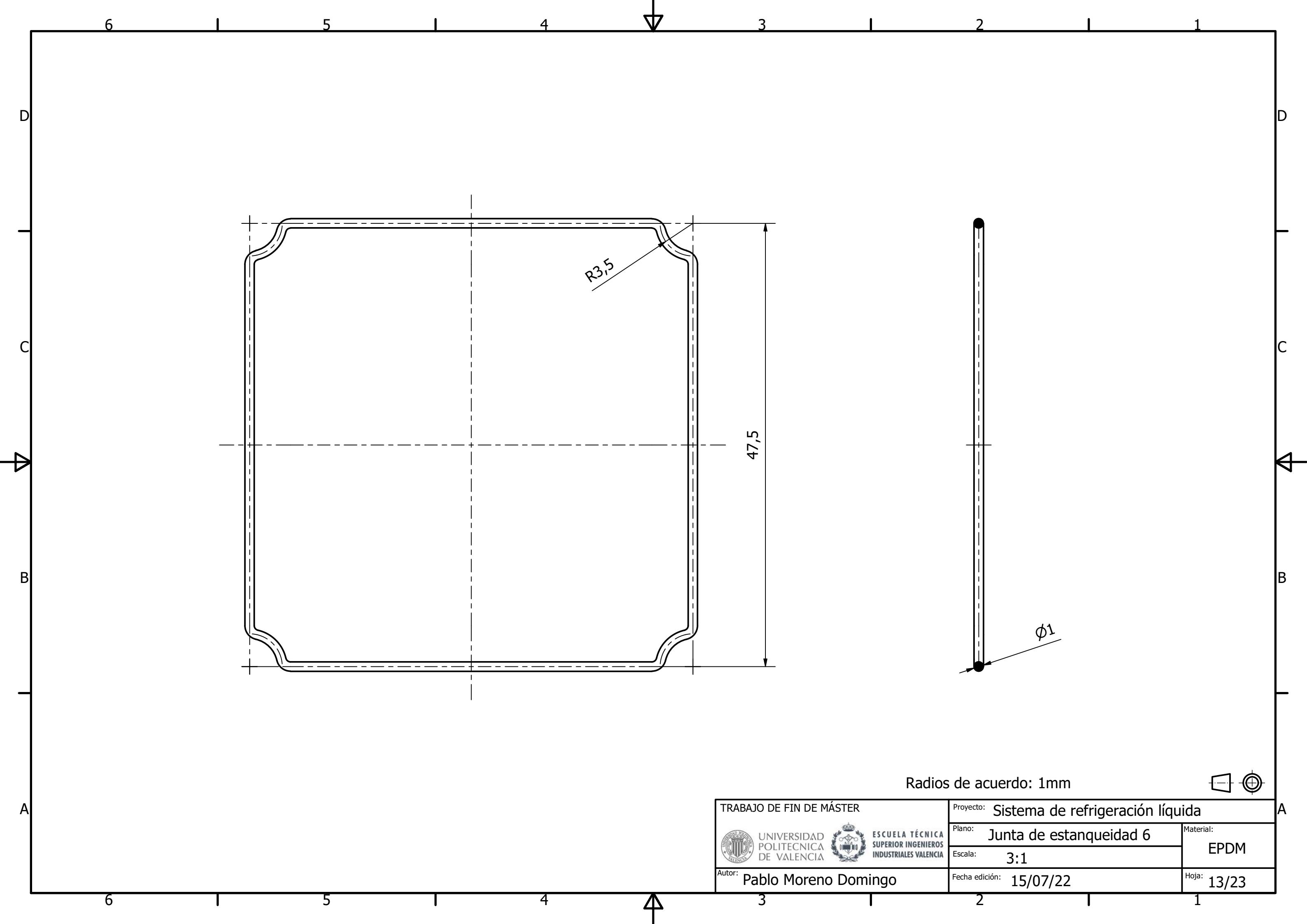


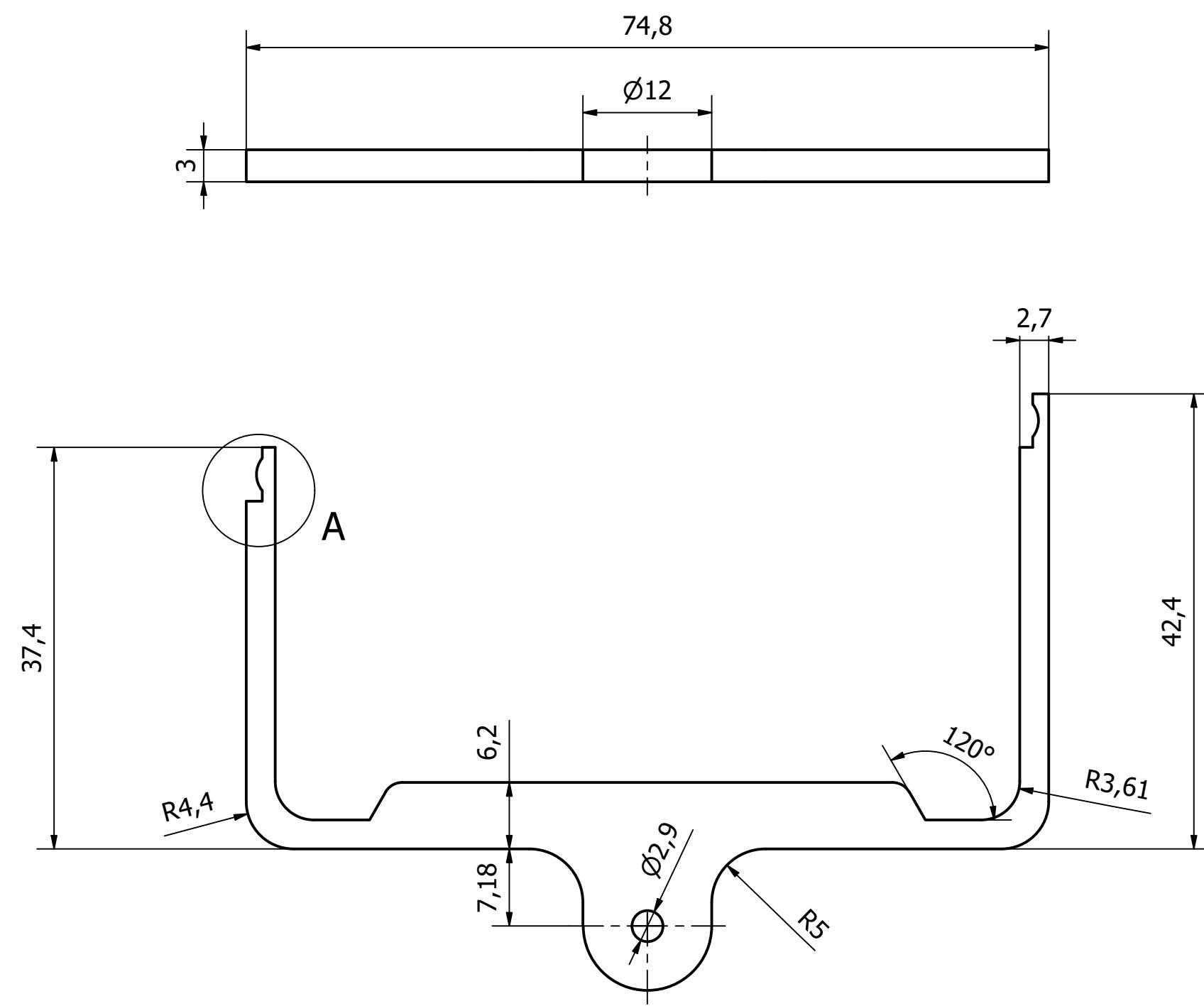




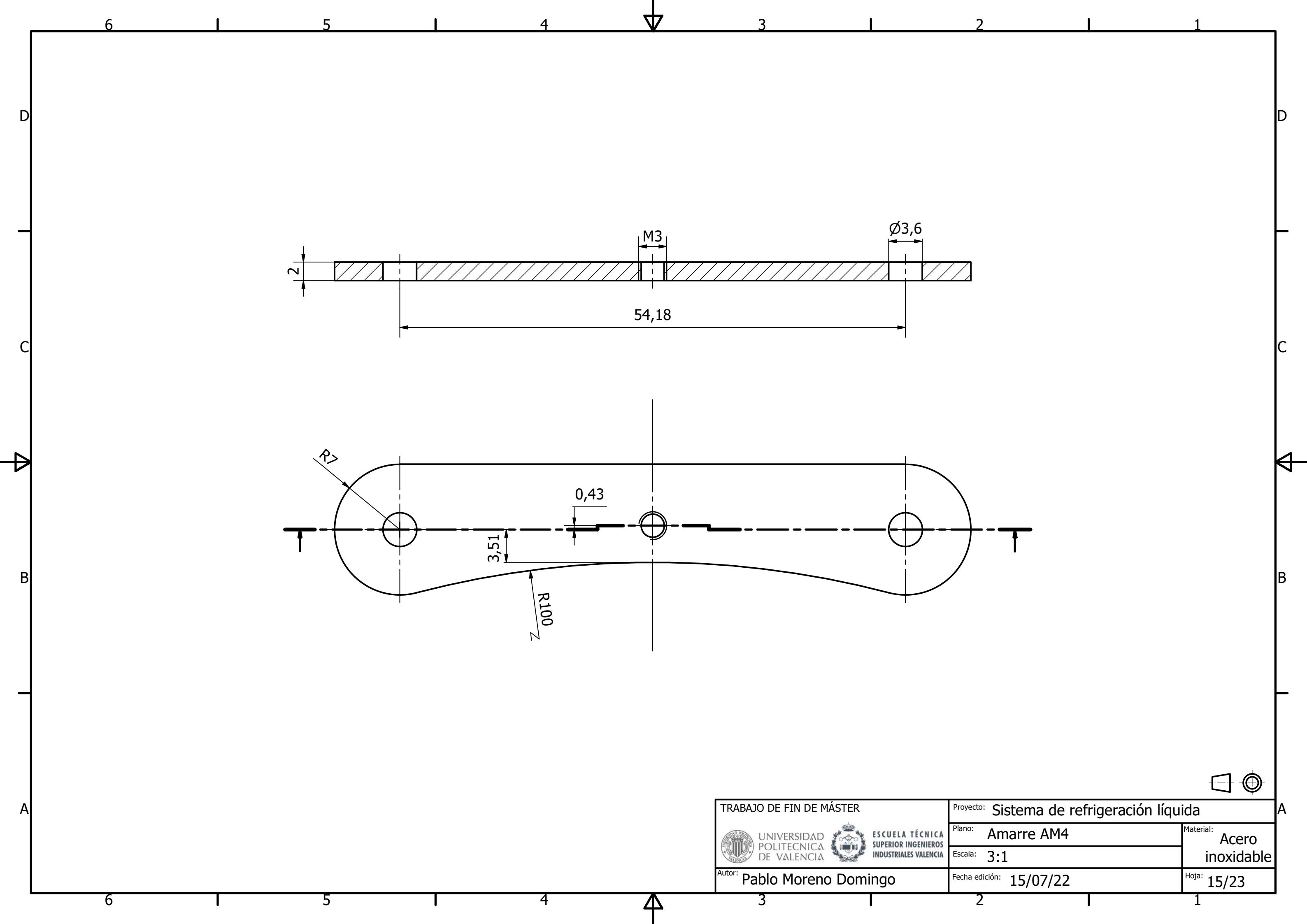


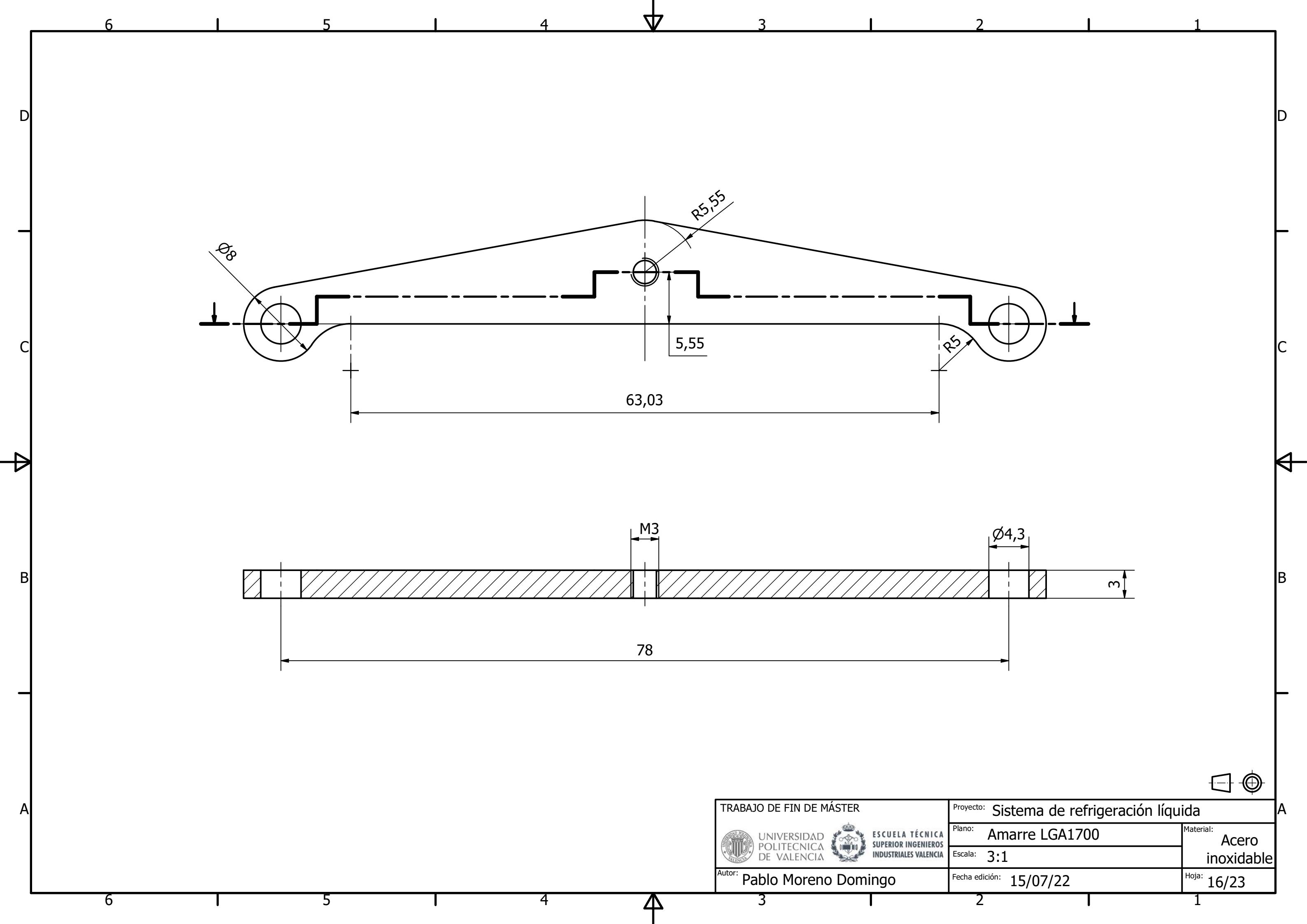






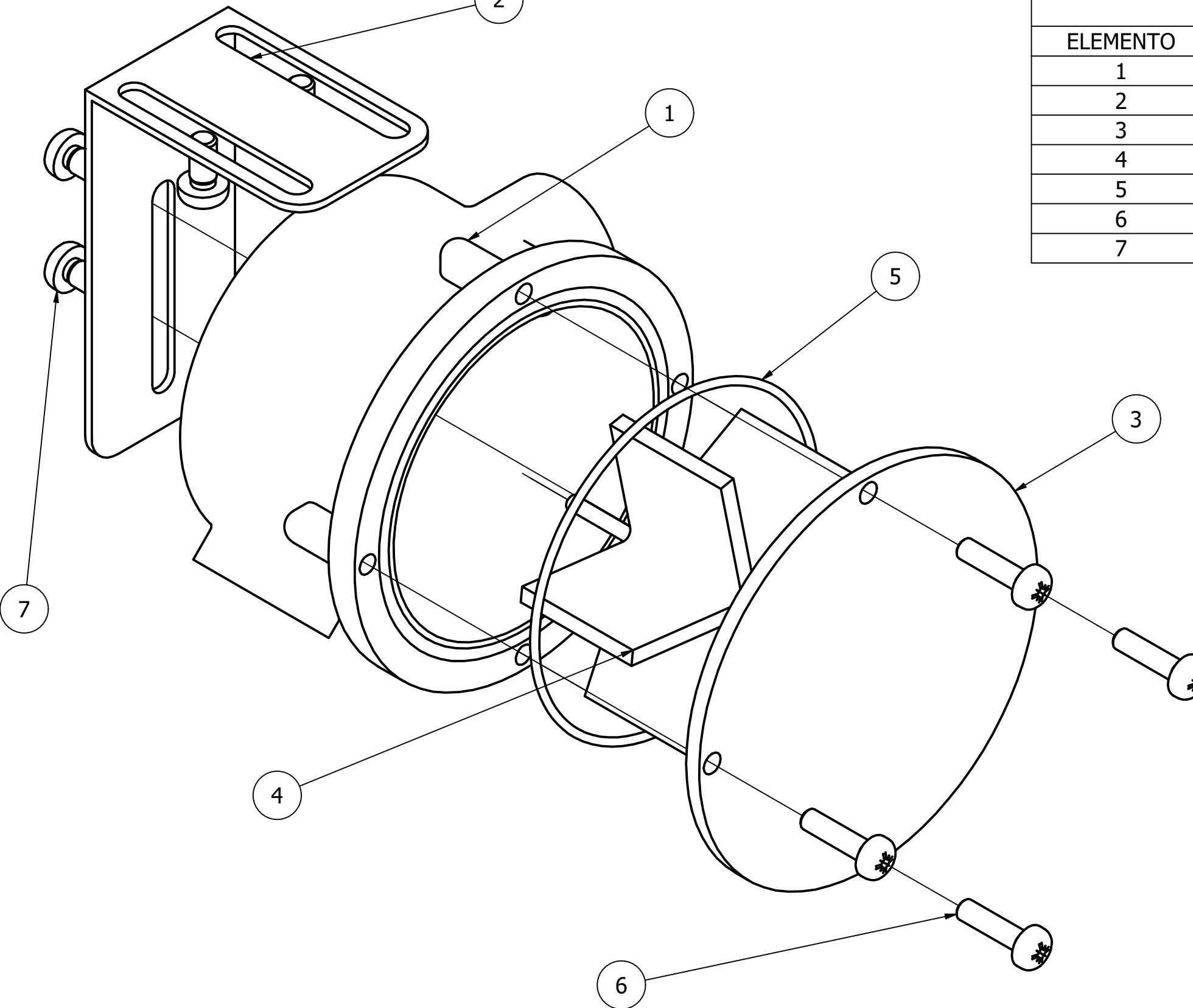
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER	Proyecto: Sistema de refrigeración líquida
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA	Plano: Amarre general
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	Material: Acero inoxidable
Autor: Pablo Moreno Domingo	Escala: 2:1
	Fecha edición: 15/07/22
	Hoja: 14/23





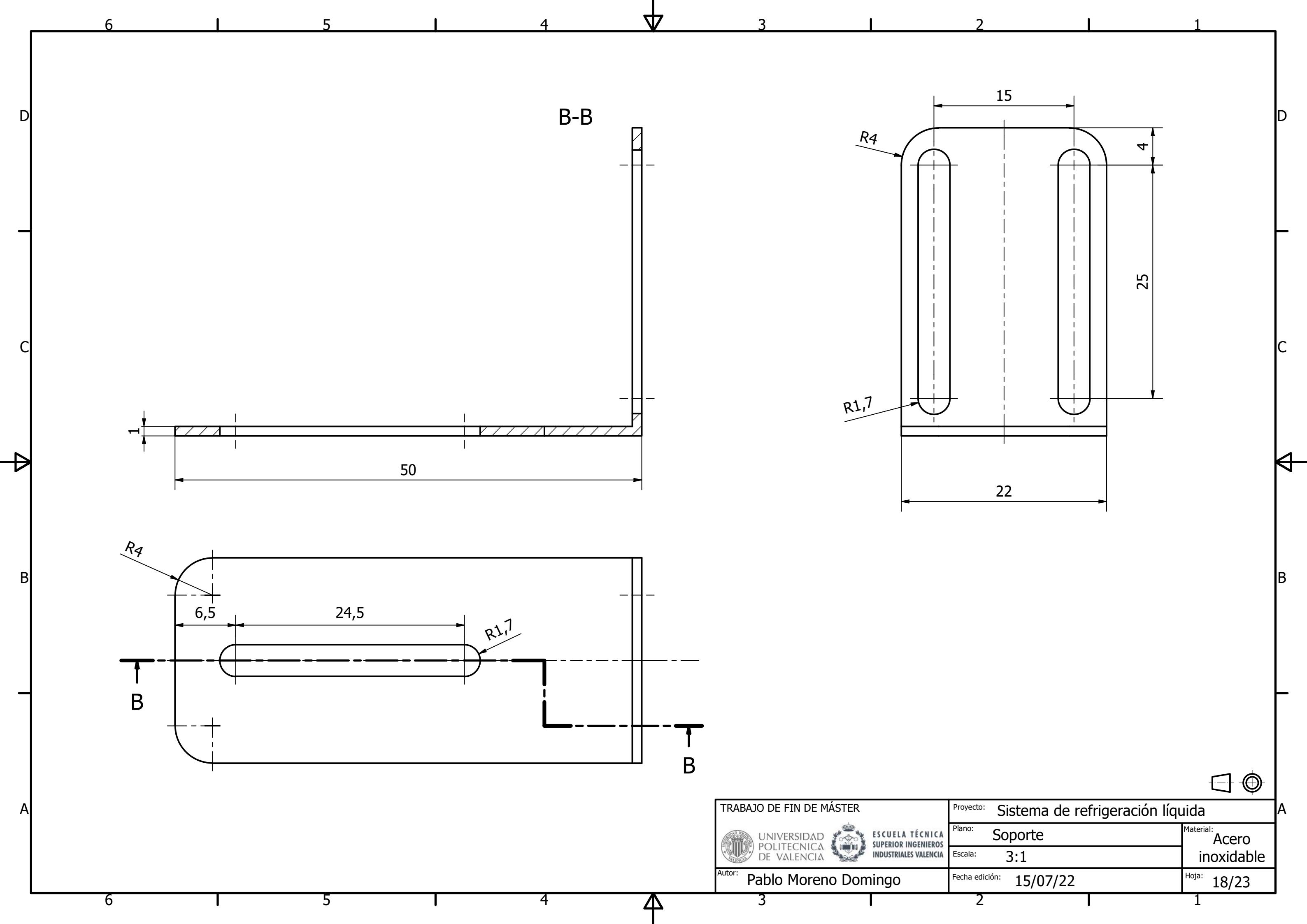
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER	Proyecto: Sistema de refrigeración líquida
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA	Plano: Amarre LGA1700
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	Material: Acero inoxidable
Autor: Pablo Moreno Domingo	Escala: 3:1
	Fecha edición: 15/07/22
	Hoja: 16/23

6 5 4 3 2 1

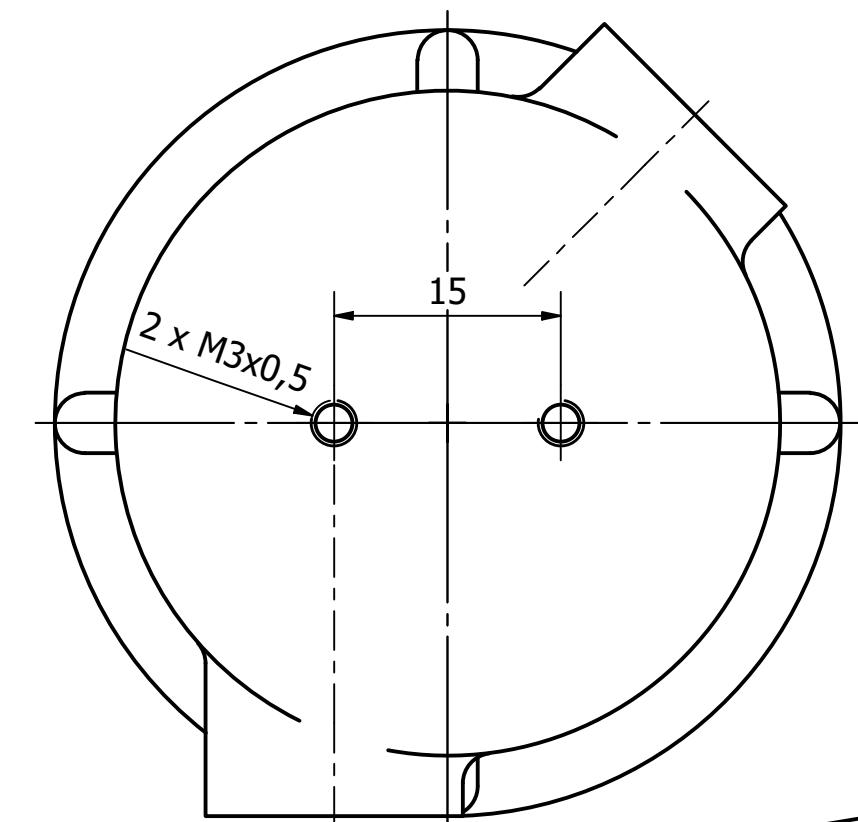
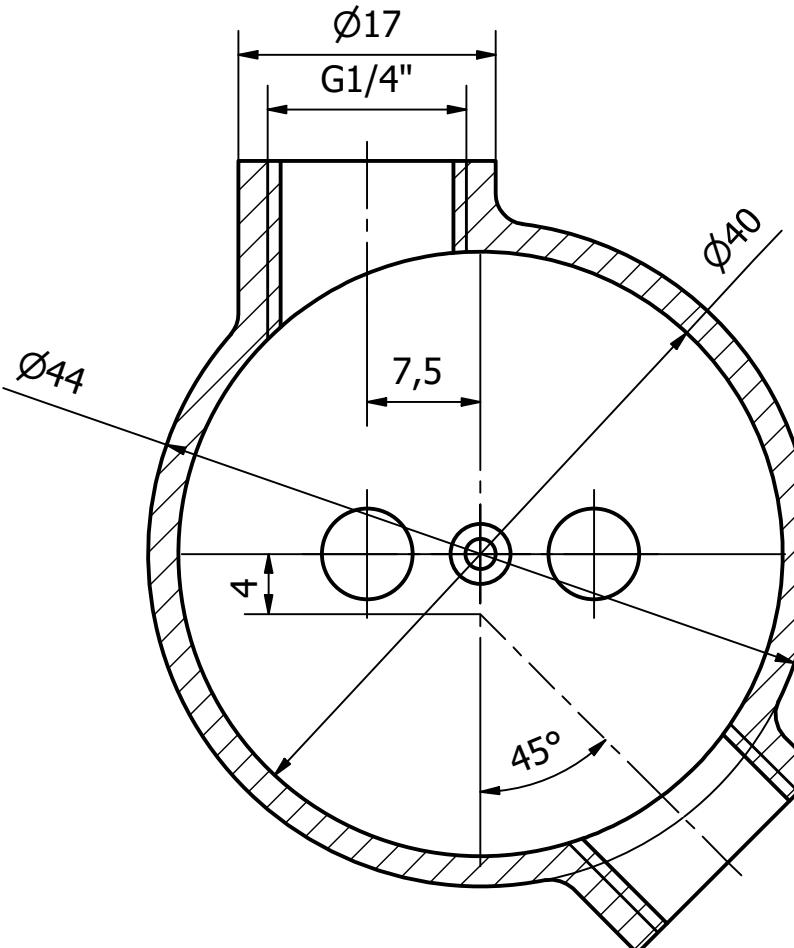
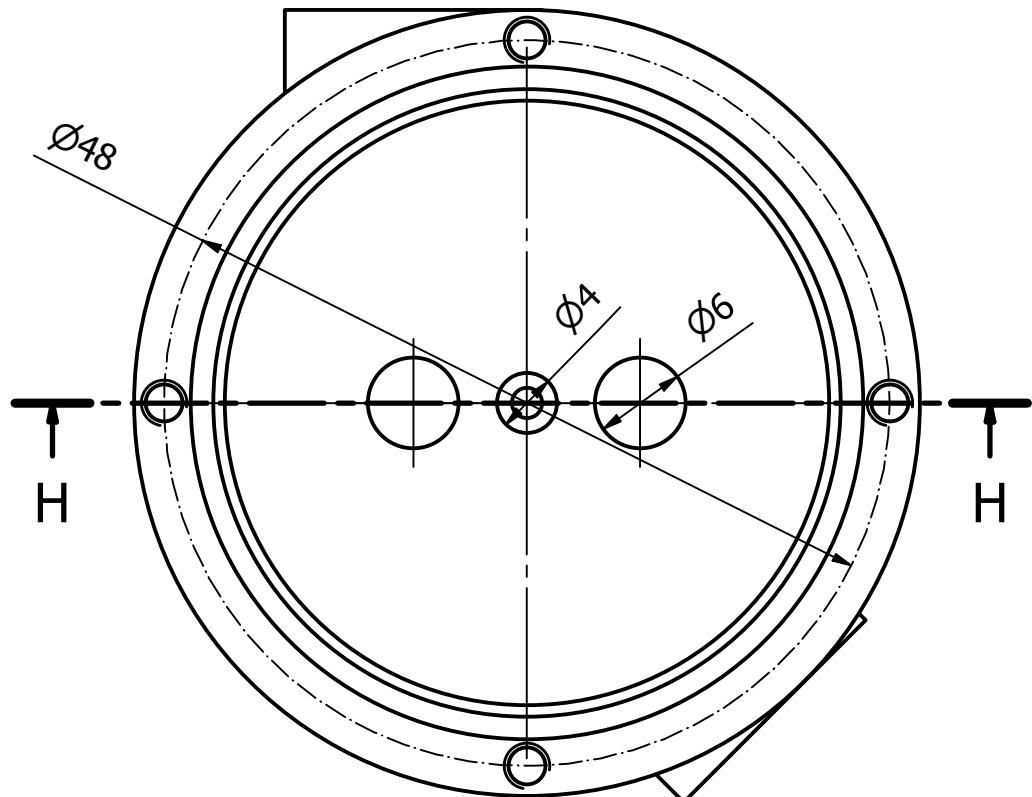
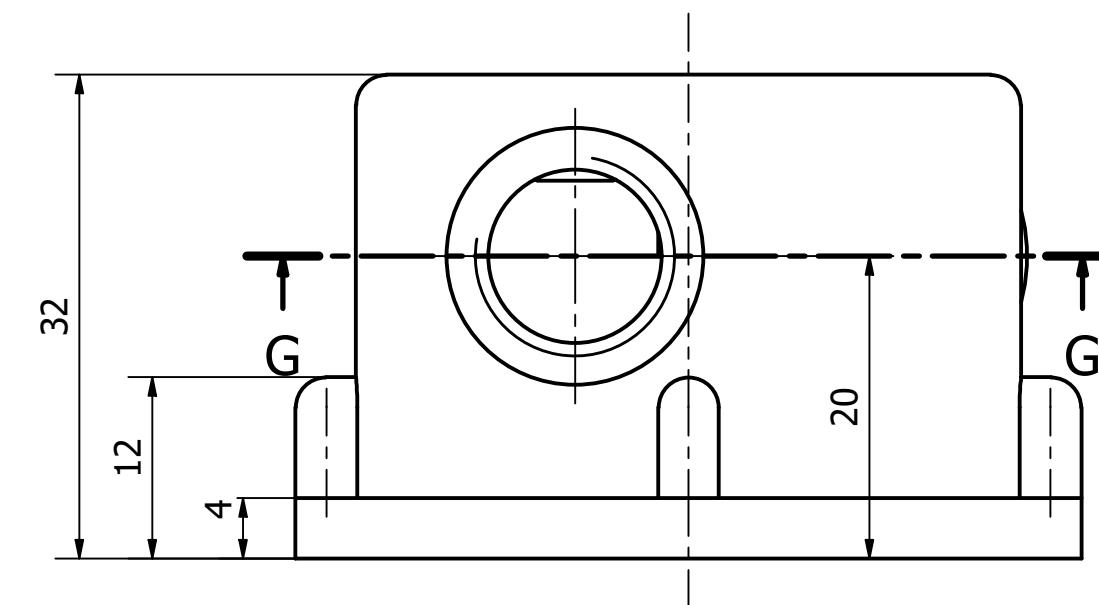
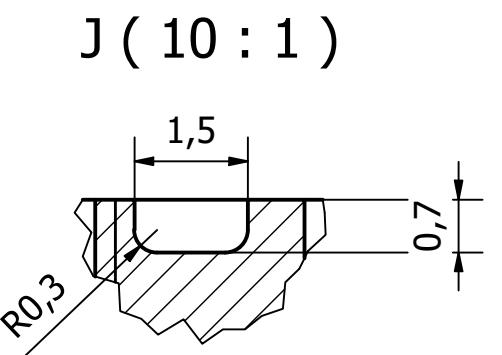
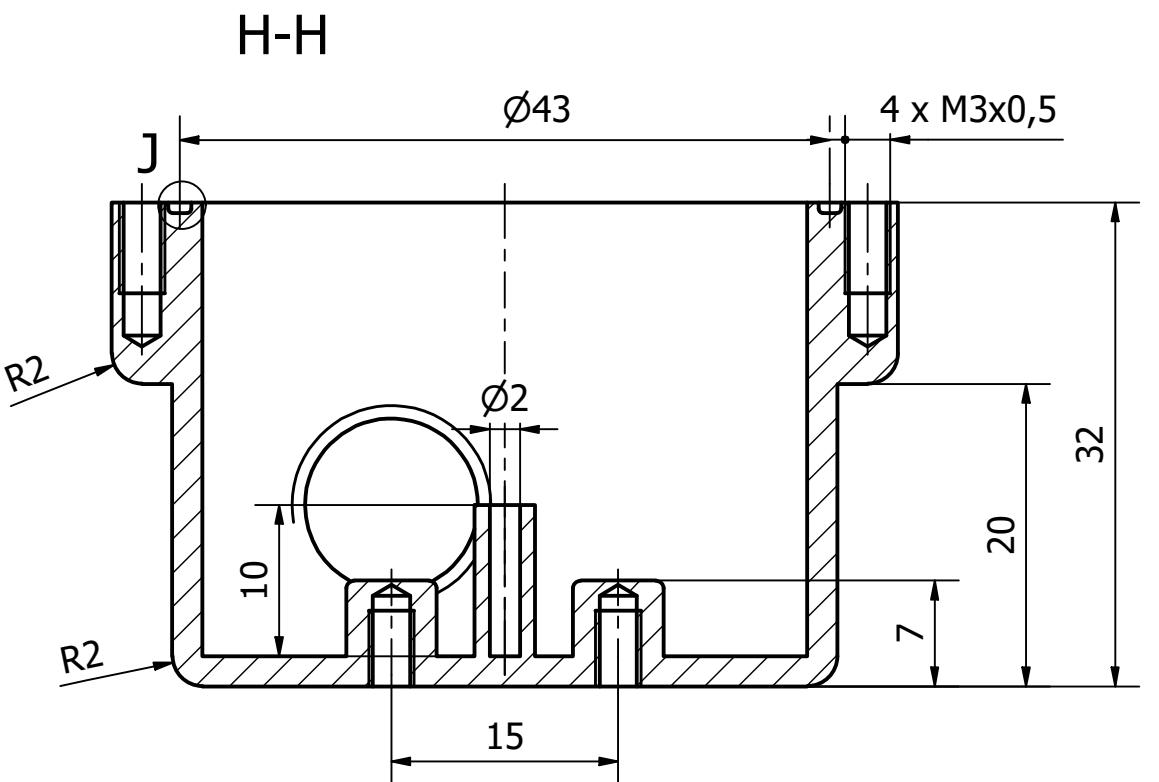


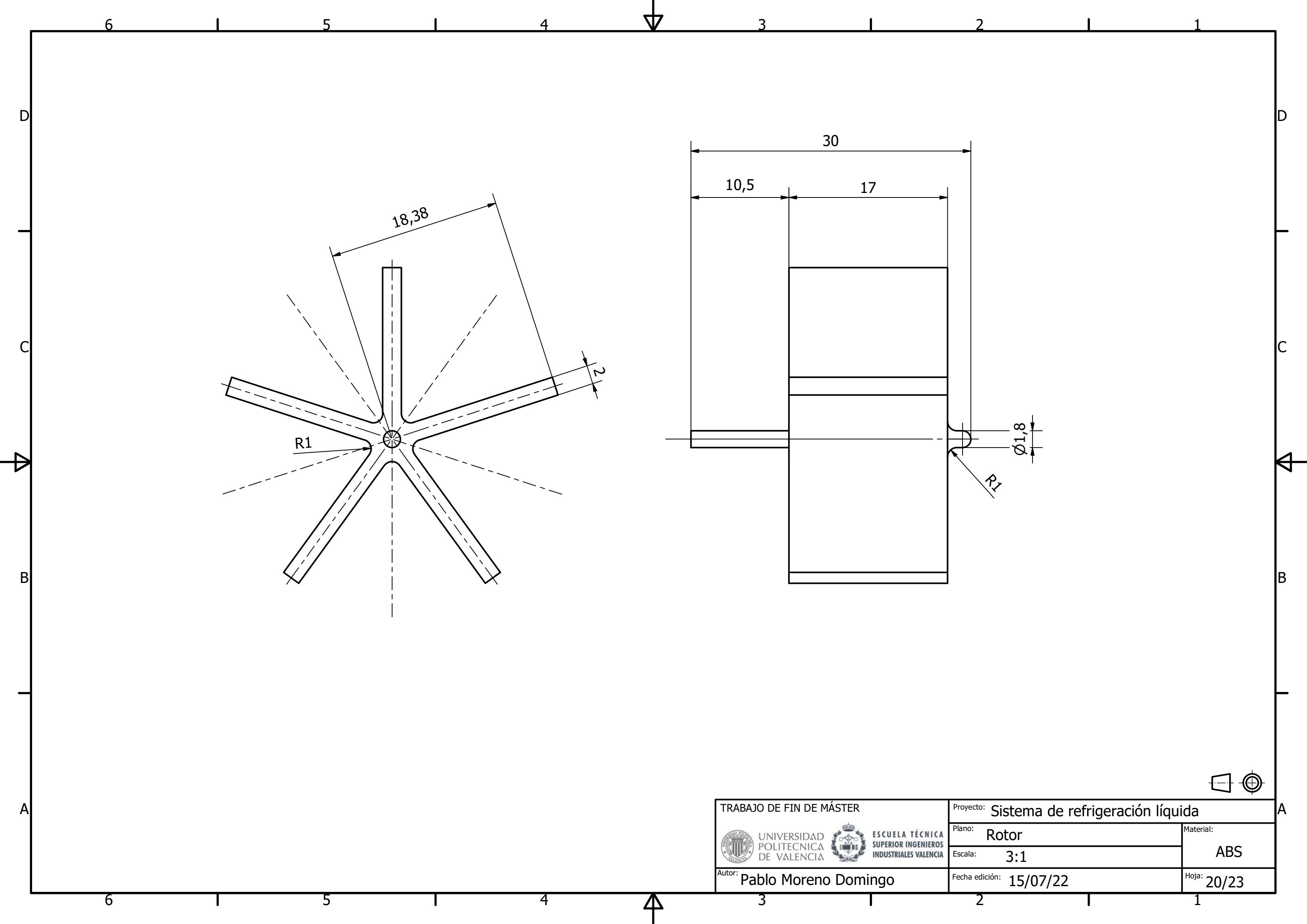
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Base
2	1	Soporte
3	1	Acrilico
4	1	Rotor
5	1	JuntaToricaIF
6	4	EN ISO 7045 - M2,5 x 10 - 4.8 - Z
7	4	EN ISO 7045 - M3 x 6 - 4.8 - Z

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER	Proyecto: Sistema de refrigeración líquida
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA	Plano: Ensamblaje Indicador de Flujo Material:
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	Escala: 2:1
Autor: Pablo Moreno Domingo	Fecha edición: 15/07/22
	Hoja: 17/23

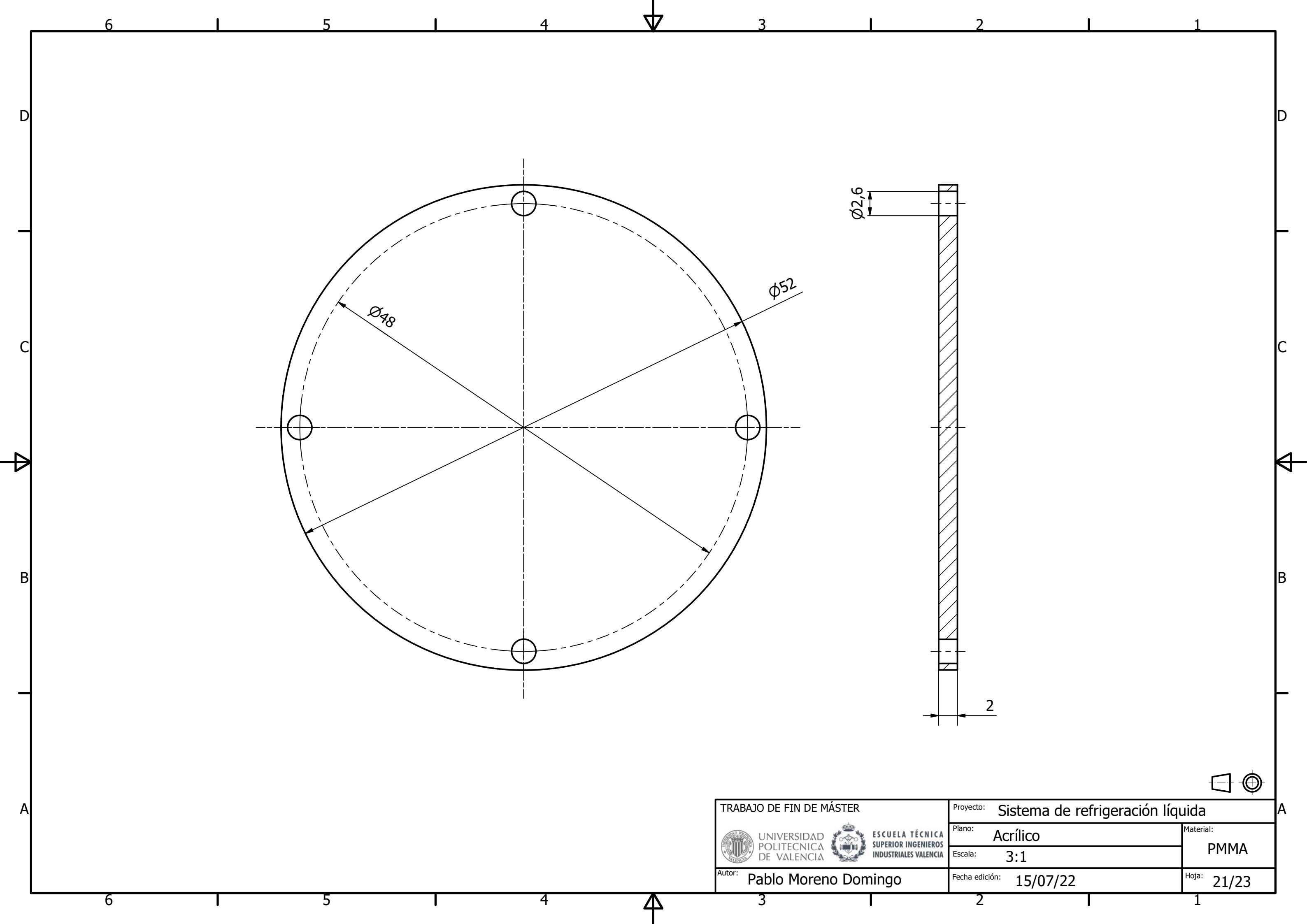


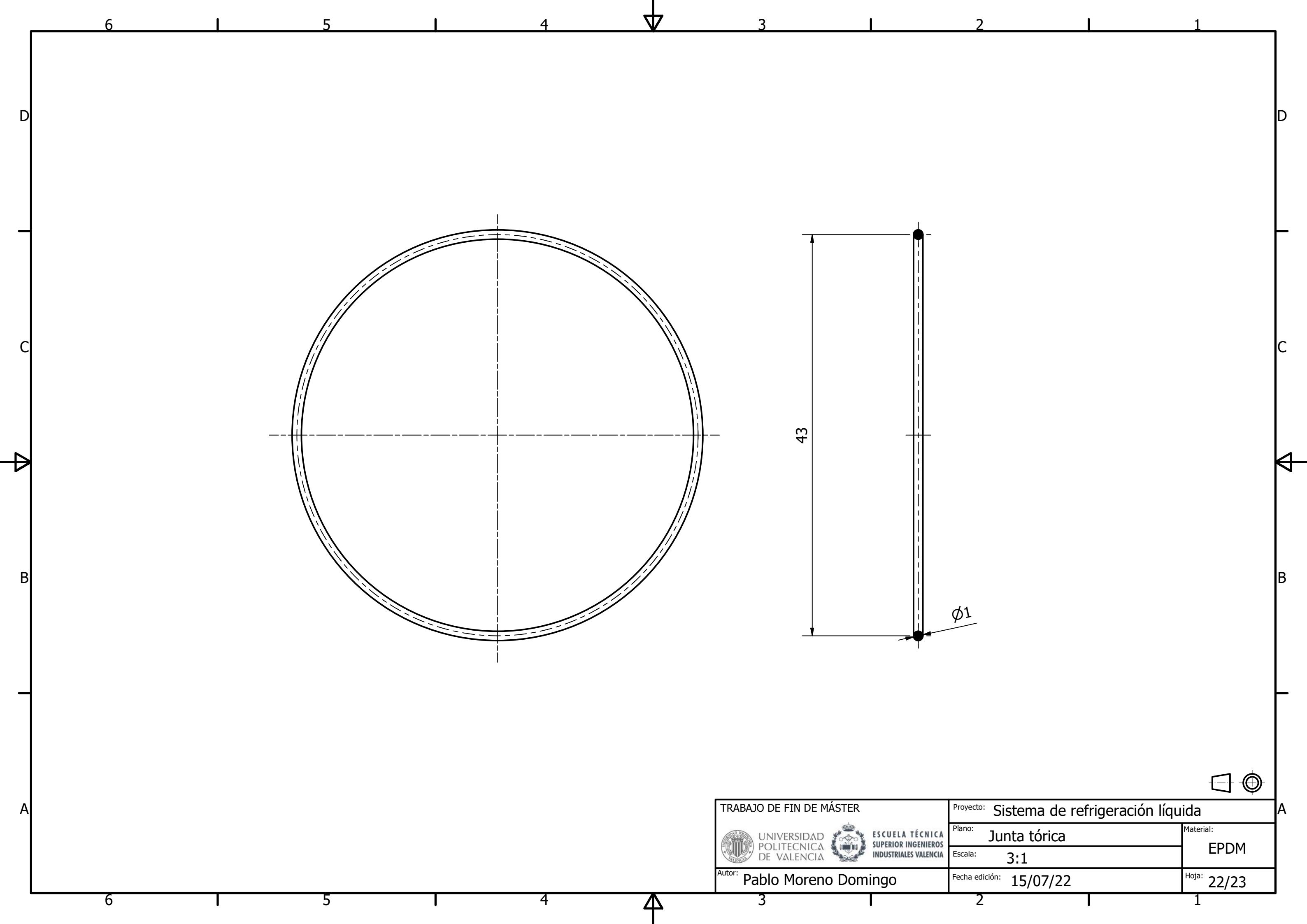
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER	Proyecto: Sistema de refrigeración líquida
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA	Plano: Soporte
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	Material: Acero inoxidable
Escala: 3:1	
Autor: Pablo Moreno Domingo	Fecha edición: 15/07/22
	Hoja: 18/23

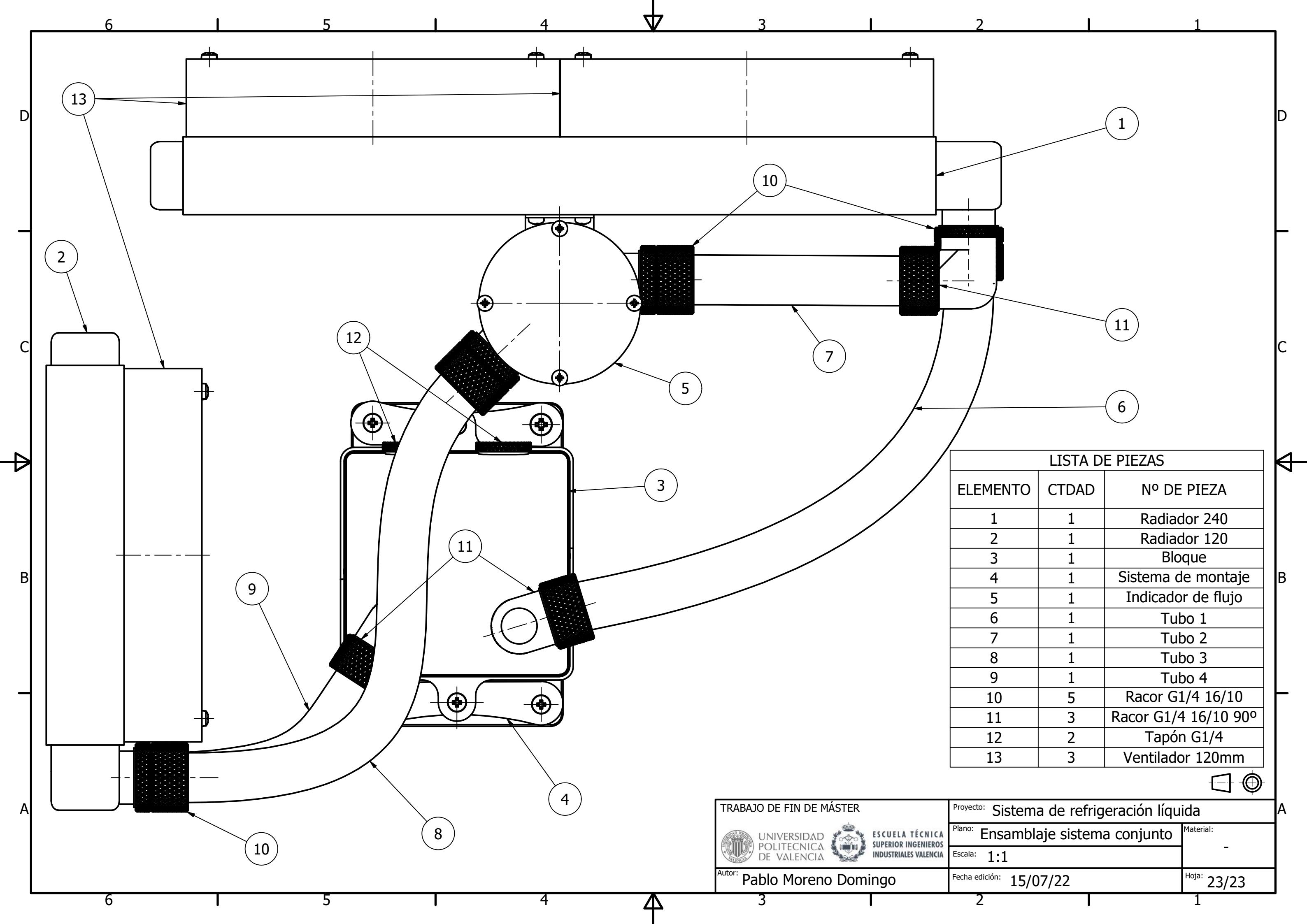




TRABAJO DE FIN DE MÁSTER	Proyecto: Sistema de refrigeración líquida
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA	Plano: Rotor
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	Material: ABS
Escala: 3:1	
Autor: Pablo Moreno Domingo	Fecha edición: 15/07/22
	Hoja: 20/23







## **ANEXO 1:**

Estudio de Mercado.  
Tabla de Datos.

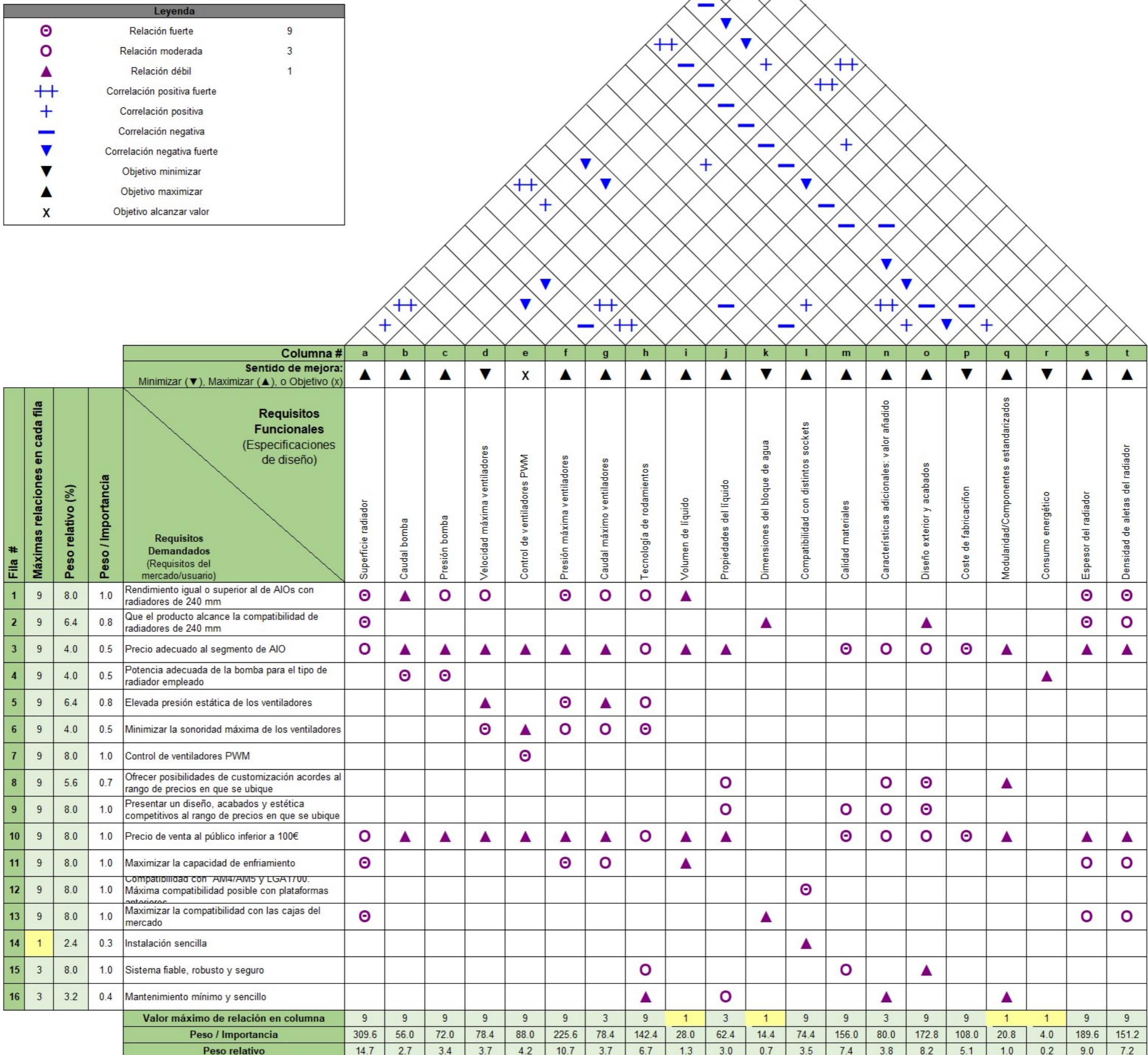
**Datos Estudio Refrigeración Líquida AIO  
(ordenado por ventas)**

jun-22  
PCComponentes.com

Posición	Nombre	Tipo radiador	RGB/Cust./Estética	Bomba			Ventiladores					Materiales		Precio PCC
				Caudal máximo	Presión máxima cabeza	Potencia	Velocidad max	Flujo aire max	Presión aire	PWM	Sonoridad max	Radiador	Cold plate	
[#]	[vidades]	[120,240,280,360]	[0-5]	[l/h]	[mca]	[W]	[rpm]	[CFM]	[mmH2O]	[0=No; 1=Sí]	[dB]			[€]
1	<a href="#">Corsair Hydro H100x</a>	240	1	-	-	-	1700	57.2	2.08	1	37	AI	Cu	91.98 €
2	<a href="#">MSI MAG CoreLiquid 240R V2</a>	240	4	-	-	4.08	2000	78.73	2.39	1	34.3	AI	Cu	111.99 €
3	<a href="#">Cooler Master MasterLiquid ML240L V2 RGB</a>	240	3	-	-	2.36	1800	62	2.5	1	27	AI	Cu	58.53 €
4	<a href="#">Tempest Liquid Cooler 240 RGB</a>	240	3	-	-	3.84	2000	50.7	1.5	1	31.6	-	-	69.99 €
5	<a href="#">Tempest Liquid Cooler 120 RGB</a>	120	3	-	-	3.84	2000	50.7	1.5	1	31.6	-	-	50.99 €
6	<a href="#">Cooler Master MasterLiquid Lite 120</a>	120	0	-	-	3.96	2000	66.7	2.34	1	30	AI	Cu	48.99 €
7	<a href="#">MSI MAG CoreLiquid P240</a>	240	1	-	-	4.08	2000	78.73	2.39	1	34.3	AI	Cu	99.99 €
8	<a href="#">Tempest Liquid Cooler 360 RGB</a>	360	3	-	-	3.84	2000	50.7	1.5	1	31.6	-	-	89.99 €
9	<a href="#">Nfortec Hydrus RGB 240</a>	240	3	-	-	-	1800	65	2.3	1	32	AI	Cu	74.86 €
10	<a href="#">Corsair iCUE H100i ELITE CAPELLIX</a>	240	4	-	-	-	2400	75	4.2	1	37	AI	Cu	160.99 €
11	<a href="#">MSI MAG CoreLiquid 360R</a>	360	4	-	-	4.08	2000	78.73	2.39	1	34.3	AI	Cu	215.10 €
12	<a href="#">Corsair Hydro H60</a>	120	0	-	-	-	2000	54	2.36	1	30.85	AI	Cu	85.99 €
13	<a href="#">Corsair iCUE H100i ELITE CAPELLIX Blanco</a>	240	4	-	-	-	2400	75	4.2	1	37	AI	Cu	154.99 €
14	<a href="#">Nfortec Hydrus V2 120 Red</a>	120	2	-	-	-	1800	65	2.3	1	32	AI	Cu	49.95 €
15	<a href="#">Corsair iCUE H150i ELITE CAPELLIX</a>	360	4	-	-	-	2400	75	4.2	1	37	AI	Cu	187.99 €
16	<a href="#">Corsair iCUE H100i RGB PRO XT</a>	240	3	-	-	-	2400	75	4.2	1	37	AI	Cu	117.99 €
17	<a href="#">Lian Li Galahad AIO 240 RGB</a>	240	4	-	-	-	1900	69.17	2.6	1	32	AI	Cu	115.38 €
18	<a href="#">Corsair iCUE H150i ELITE CAPELLIX Blanco</a>	360	4	-	-	-	2400	75	4.2	1	37	AI	Cu	186.99 €
19	<a href="#">Corsair iCUE H115i ELITE CAPELLIX</a>	280	4	-	-	-	2000	97	3	1	36	AI	Cu	167.98 €
20	<a href="#">MSI MAG CoreLiquid C240 ARGB</a>	240	4	-	-	4.08	2000	78.73	2.39	1	34.3	AI	Cu	127.99 €
21	<a href="#">Cooler Master MasterLiquid Lite 240</a>	240	0	-	-	-	2000	66.7	2.34	1	30	AI	Cu	71.26 €
22	<a href="#">NZXT Kraken 120</a>	120	3	-	-	4.08	2000	73.11	2.93	1	36	AI	Cu	79.99 €
23	<a href="#">Cooler Master LC240E RGB</a>	240	3	-	-	-	1800	76.4	-	1	31.5	AI	Cu	66.99 €
24	<a href="#">NZXT Kraken X63</a>	280	3	-	-	3.6	1800	98.17	2.71	1	38	AI	Cu	143.99 €
25	<a href="#">Lian Li Galahad AIO 360 RGB Plata</a>	360	4	-	-	-	1900	69.17	2.6	1	32	AI	Cu	149.98 €
26	<a href="#">Nfortec Hydrus RGB 120</a>	120	3	-	-	-	1800	65	2.3	1	32	AI	Cu	54.95 €
27	<a href="#">MSI MAG CoreLiquid 360R V2</a>	360	4	-	-	4.08	2000	78.73	2.39	1	34.3	AI	Cu	132.99 €
28	<a href="#">NZXT Kraken X73</a>	360	3	-	-	3.6	2000	73.11	2.93	1	36	AI	Cu	180.87 €
29	<a href="#">Nfortec Hydrus V2 120 Blue</a>	120	2	-	-	-	1800	65	2.3	1	32	AI	Cu	49.95 €
30	<a href="#">NZXT Kraken X53</a>	240	3	-	-	3.6	2000	73.11	2.93	1	36	AI	Cu	148.35 €
31	<a href="#">Nfortec Atria 240</a>	240	3	-	-	-	1800	65	2.08	1	32	AI	Cu	81.99 €
32	Lian Li Galahad AIO 360 RGB Negra	360	4	-	-	-	1900	69.17	2.6	1	32	AI	Cu	149.98 €
33	<a href="#">Cooler Master MasterLiquid ML120L V2 RGB</a>	120	4	-	-	2.36	1800	62	2.5	1	27	AI	Cu	50.44 €
34	<a href="#">Corsair iCUE H150i ELITE LCD Display</a>	360	5	-	-	-	2000	58.1	2.9	1	30.4	AI	Cu	291.99 €
35	<a href="#">Cooler Master MasterLiquid ML240 Illusion</a>	240	4	-	-	2.36	1800	47.2	1.6	1	30	AI	Cu	75.77 €

## **ANEXO 2:**

Quality Function Deployment.  
Casa de la Calidad.



## **ANEXO 3:**

**DC-LT 2600.**  
**Especificaciones Técnicas.**



## Alphacool DC-LT 2600 Ultra low noise ceramic - 12V DC

\$24.50

### Product Images



### Short Description

Alphacool DC-LT ceramic 12 Volt pump, the compact pump with lots of steam under the hood!!

### Description

Alphacool DC-LT ceramic 12 Volt pump, the compact pump with lots of steam under the hood!

Water cooling generally is not only for Big towers and the high-end sector. Barebones, HTPC and Desktop systems also greatly profit greatly from a liquid cooling system. Here extreme overclocking is not the goal, but rather total silence in the system.

Besides the fans, which are extremely quiet to silent thanks to the water cooling system, the pumps are another noise emitting element. Not with this pump! From the start much quieter than the majority of the competition and still powerful enough to cool CPU and GPU with ease. A ceramic shaft promises a long lifespan and permanently smooth operation. And the size? The outer dimensions are roughly the same as of a 2 Euro coin (about 5mm larger in radius).

This is the currently most compact water cooling pump for computer cooling!

### Specifications

#### Technical specifications:

- Dimensions (WxHxD): 51x48x9mm (without fittings)
- Standard voltage: 12V DC
- Power draw: 4,9W
- Permitted voltage: 7-13,5V DC
- Pressure head at 12V: 0,6m H2O
- Maximum flow rate: approx. 100l/h
- Pumped medium: Water, Water/glycol mixture
- Maximum system temperature: 65°C
- Power connector: 3-Pin fan plug
- Weight: 48g

This pump can be used with an adapter cable with 7V or 9V.

#### Extent of delivery:

- 1x Alphacool DC-LT 2600 Ultra low noise ceramic - 12V DC

#### Mounting manual

Please note: This pump has no connection threads. We recommend ordering the suitable top from our portfolio.

Mounting screws not included!

Some items, e.g. the Alphacool Repack – Dual DC-LT – 5.25 Single Bay station, require two additional M3x8mm screws per pump for mounting. These screws can be found in our shop.

Approved fluids: Water, Water/ glycol mixture  
Color: black  
Dimensions: 51 x 48 x 9mm  
Manufacturer: Alphacool  
Material: Plastic, ceramic  
Max. Discharge head: 0,8m, Standard (smaller than 2m)  
Max. Flow: 100l/h, Standard (smaller than 500l/h)  
Max. System temperature: 65° C  
Possible control range: 7-13,5V DC  
Power connector: 3Pin Molex  
Power input: 4W  
Voltage: 12V DC  
Water inlet: Not available  
Water outlet: Not available



## Additional Information

Brand	Alphacool
SKU	AC-13289
Weight	2.0000
Color	Black
Pump Type	DC-LT
Pump Voltage	12 VDC
Vendor SKU/EAN	4250197132893

## **ANEXO 4:**

**Presentación Visual del Producto.  
Renders.**































