



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

# *Diseño de un banco de pruebas para ensayos de intercambiadores de calor*

---

**MEMORIA PRESENTADA POR:**

*David Serrano Pastor*

**TUTOR/A:**

*Carlos Micó Reche*

**GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Convocatoria de defensa: Septiembre 2021



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

## **Resumen**

El presente TFG aborda el proyecto de diseño y construcción de una instalación para realizar ensayos de funcionamiento de intercambiadores de calor. La finalidad de esta instalación es poder evaluar el flujo térmico en el interior de intercambiadores mediante la medida de distintos parámetros de funcionamiento como las temperaturas de entrada y salida de fluidos o los caudales.

Para dimensionar correctamente el equipo se incluye también un estudio de los procesos de transferencia de calor en intercambiadores. Para ello se estudian los términos fundamentales en el cálculo de intercambiadores y se explican las ecuaciones a realizar para poder usarlo en prácticas o en la evaluación en competencias profesionales. Para alcanzar este objetivo, el proyecto aborda la definición de componentes necesarios (sensores, conducción de fluidos, sistema eléctrico, etc.), así como una selección de las soluciones comerciales más adecuadas. También incluye el diseño de la estructura que soportará todos los componentes, así como un estudio sobre los materiales a emplear para dar al equipo un acabado profesional y adecuado al tipo de aplicación. Finalmente, el proyecto se completa con un presupuesto para su fabricación y un manual de uso de la instalación.

## **Palabras claves**

Intercambiador de calor, diseño, equipo docente, transferencia de calor.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

## **Resum**

El present TFG aborda el projecte de disseny i construcció d'una instal·lació per a realitzar assajos de funcionament de intercanviadors de calor. La finalitat d'aquesta instal·lació és poder avaluar el flux tèrmic a l'interior de intercanviadors mitjançant la mesura de diferents paràmetres de funcionament com les temperatures d'entrada i eixida de fluids o els cabals.

Per a dimensionar correctament l'equip s'inclou també un estudi dels processos de transferència de calor en intercanviadors. Per a això s'estudien els termes fonamentals en el càlcul de intercanviadors i s'expliquen les equacions a realitzar per a poder usar-ho en pràctiques o en l'avaluació en competències professionals. Per a aconseguir aquest objectiu, el projecte aborda la definició de components necessaris (sensors, conducció de fluids, sistema elèctric, etc.), així com una selecció de les solucions comercials més adequades. També inclou el disseny de l'estructura que suportarà tots els components, així com un estudi sobre els materials a emprar per a donar a l'equip un acabat professional i adequat a la mena d'aplicació. Finalment, el projecte es completa amb un pressupost per a la seua fabricació i un manual d'ús de la instal·lació.

## **Paraules claus**

Intercanviador de calor, disseny, equip docent, transferència de calor.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

## Summary

This FDP addresses the design and construction of an installation to perform heat exchangers performance tests. The purpose of this installation is to be able to evaluate the thermal flux inside the exchangers by measuring some operating parameters such as the fluids inlet and outlet temperatures or the flow rates.

To correctly size the equipment, a study of heat transfer processes in exchangers has been done. To do so, the fundamental terms in the calculation of exchangers are studied and the equations to be carried out are explained so as it can be used in lab sessions or in the evaluation of professional skills. To achieve this objective, the project addresses the definition of the necessary components (sensors, fluid conduction, electrical system, etc.), as well as a selection of the most suitable commercial solutions. The project also includes the design of the structure that will support all the components, as well as a study on the materials that should be used to give the equipment a professional finishing, suitable for some applications. Finally, the project is completed with a manufacturing budget and a user manual for the facility.

## Keywords

Heat exchanger, design, teaching equipment, heat transfer.



# Índice

1.	Introducción.....	9
1.1	Motivación .....	9
2.	Objetivo .....	10
3.	Fundamentos teóricos.....	11
3.1	Tipo de transferencia.....	11
3.2	Tipos de intercambiadores de calor .....	12
3.3	Clasificación según la trayectoria del fluido.....	13
3.4	Clasificación según las características de construcción .....	15
4.	Diseño.....	19
4.1	Diseño térmico .....	19
4.2	Esquema de montaje .....	22
4.3	Selección de intercambiador.....	24
4.4	La estructura .....	27
4.5	Tuberías .....	38
4.6	Componentes .....	41
5.	Presupuesto .....	57
6.	Conclusiones.....	60
7.	Referencias .....	61
8.	Planos .....	63



## Lista de tablas

Tabla 1. Coste de la estructura y fabricación.....	57
Tabla 2. Coste de los componentes.....	58
Tabla 3. Coste de tubos.....	58
Tabla 4. Coste de mano de obra.....	58
Tabla 5. Coste de equipos.....	59
Tabla 6. Coste total.....	59

## Lista de imágenes

Ilustración 1. Flujo en paralelo. (Soutullo, 2020).....	13
Ilustración 2. Flujo a contracorriente. (Soutullo, 2020).....	14
Ilustración 3. Flujo cruzado. (Soutullo, 2020).....	14
Ilustración 4. Intercambiador de calor de tubos concéntricos. (SACOME, 2019).....	15
Ilustración 5. Intercambiador de calor de placas. (Froztec, 2018).....	16
Ilustración 6. Intercambiador de calor de carcasa y tubos. (arvengraining, 2015).....	17
Ilustración 7. Intercambiador de calor de tubo espiral. (JCN, 2020).....	17
Ilustración 8. Intercambiador de calor de torres de refrigeración húmedas. (Juan, 2016).....	18
Ilustración 9. Esquema básico del montaje.....	23
Ilustración 10. Intercambiador de calor de tubos concéntricos (GUNT HAMBURG, 2018).....	25
Ilustración 11. Intercambiador de calor de carcasa y tubos (GUNT HAMBURG, 2018).....	26
Ilustración 12. Procesabilidad de algunos grupos de metales (GRANTA CES Edupack, 2020).....	27
Ilustración 13. Estructura del banco de pruebas SolidWorks.....	29
Ilustración 14. Chapa metálica desplegada para la caja SolidWorks.....	30
Ilustración 15. Chapa metálica SolidWorks.....	30
Ilustración 16. Chapa metálica trasera SolidWorks.....	31
Ilustración 17. Chapa metálica delantera SolidWorks.....	32
Ilustración 18. Geometría fija para el estudio de diseño.....	33
Ilustración 19. Fuerza aplicada para el estudio de diseño.....	33
Ilustración 20. Fuerza máxima permitida.....	34
Ilustración 21. Gráfico de tensiones de la estructura.....	35
Ilustración 22. Espesor óptimo para el estudio.....	35
Ilustración 23. Nuevo gráfico de tensiones de la estructura.....	36
Ilustración 24. Tabla de soporte superior del banco de pruebas SolidWorks.....	37
Ilustración 25. Tabla de soporte inferior del banco de pruebas SolidWorks.....	37
Ilustración 26. Pata del banco de pruebas SolidWorks.....	38
Ilustración 27. Tubos internos SolidWorks.....	39
Ilustración 28. Tubos externos SolidWorks.....	40
Ilustración 29. Rueda giratoria con freno Tente (RS Components, 2021).....	42



Ilustración 30. Rueda giratoria SolidWorks .....	42
Ilustración 31. Diseño en SolidWorks 800 Series Flowmeter (TITAN FLOW METERS, 2021) .....	43
Ilustración 32. Caudalímetro SolidWorks .....	44
Ilustración 33. Conexión del 800 Serie Flowmeter con el Pulsite Solo (TITAN FLOW METERS, 2019) .....	45
Ilustración 34. Diseño en SolidWorks Pulsite Solo .....	46
Ilustración 35. Indicador de flujo SolidWorks .....	47
Ilustración 36. Indicador de temperatura RS PRO (RS Components, 2021).....	48
Ilustración 37. Indicador de temperatura SolidWorks .....	49
Ilustración 38. Sonda de temperatura de Líquido tipo NTC RS PRO (RS Components, 2021)..	50
Ilustración 39. Válvula de bola de alta presión, RS PRO (RS PRO, 2021).....	51
Ilustración 40. Válvula de corte SolidWorks.....	51
Ilustración 41. Tee SolidWorks .....	52
Ilustración 42. Codos 90° SolidWorks .....	53
Ilustración 43. Coples SolidWorks .....	54
Ilustración 44. Acoplamientos de conexión rápida hidráulico RS PRO, macho y hembra (RS PRO, 2021).....	55
Ilustración 45. Canalización de cables RS PRO (RS Components, 2021) .....	56
Ilustración 46. Canalización de cables SolidWorks .....	56



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

## **Lista de anexos**

**Anexo I**            Estudio de materiales

**Anexo II**          Manual de uso





# 1. Introducción

## 1.1 Motivación

El origen de los intercambiadores de calor se remonta a la segunda mitad del siglo XIX, donde se utilizó para el condensado del vapor de navíos fluviales. Más tarde, en 1920, apareció el intercambiador de calor de placas para una industria alimentaria. Posteriormente, a finales de los 30 se creó el primer intercambiador de calor de carcasa y tubos para fábricas de pasta. Y con el pasar de los años, se fue estudiando el funcionamiento, optimización de calidad, construcción, las diferencias entre flujo en paralelo y contracorriente y su aplicación fue mejorando. (Alfa de Occidente, 2021)

Actualmente, los intercambiadores de calor son una parte fundamental en los dispositivos de refrigeración, condensación, evaporación, enfriamiento, acondicionamiento, procesamiento químico, producción de energía y un largo etcétera; donde se necesita que el calor se transfiera de un flujo a otro; esto se logra haciendo pasar dos flujos por las caras opuestas de un material y mediante la conductividad térmica de éste lograr el intercambio de calor.

El Ingeniero Mecánico está directamente relacionado con este tipo de equipos, ya sea para realizar un estudio o para el rediseño de alguna parte que repercuta en la mejora de la planta. Estos equipos son muy importantes para economizar el gasto de energía, de modo que se necesita un equipo óptimo. Por ello, el presente proyecto pretende diseñar un banco de pruebas con fines didácticos para la formación de futuros ingenieros, para que el estudiante complemente el conocimiento teórico de la asignatura y pueda interactuar y familiarizarse con el funcionamiento de distintos tipos de intercambiadores de calor. Además, tiene aplicación para ensayos de funcionamiento de intercambiadores de calor para tareas de evaluación y mantenimiento en aplicaciones profesionales



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

## 2. Objetivos

El objetivo general del proyecto es el diseño de un banco de pruebas para ensayos de intercambiadores de calor.

Los objetivos secundarios del proyecto son:

- Definir cuáles son los parámetros necesarios que se necesitan obtener para poder caracterizar el intercambiador.
- Realizar el diseño de una estructura que soporte los componentes.
- Seleccionar los sensores y materiales más adecuados en función del tipo de aplicación.
- Obtener un presupuesto total del coste del proyecto.



## 3. Fundamentos teóricos

### 3.1 Tipo de transferencia

En el intercambiador se producen dos tipos de transferencia de calor.

#### 3.1.1 Transferencia de calor por conducción

La transferencia de calor por conducción es el intercambio de energía interna, que está relacionada con la conductividad térmica del material. Las moléculas chocan entre sí y se produce una transferencia energética desde la molécula más energética a la menos energética.

La ley que estudia dicha transferencia se llama Ley de Fourier (ecuación 1). Donde se relaciona el flujo de calor con la conductividad del material,  $k$ ; la superficie,  $A$ ; y el gradiente de temperatura  $dT/dx$ . El signo (-) aparece por el Segundo Principio de Termodinámica, donde se establece que el calor fluye de la zona caliente a la zona fría.

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

En el presente proyecto, el intercambio se produce únicamente en paredes cilíndricas, donde el cilindro hueco se expone a fluidos de diferentes temperaturas en la superficie externa e interna del mismo.

Al integrar la Ley de Fourier para superficies cilíndricas se obtiene la transferencia de calor en dicha aplicación. (ecuación 2)

$$q = 2\pi Lk \frac{(T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (2)$$

Siendo  $q$  el flujo de calor;  $L$ , la longitud del cilindro;  $T_1$ , la temperatura de entrada;  $T_2$ , la temperatura de salida;  $r_1$ , el radio interno y  $r_2$ , el radio externo.



### 3.1.2 Transferencia de calor por convección

La transferencia de calor por convección se realiza por el movimiento del fluido por un sólido. Esta transferencia depende de muchas variables, por ejemplo, cuanto más rápido se mueva el fluido mayor será la transferencia de calor por convección

Existen dos modos para el transporte de calor por convección. Convección forzada, cuando el fluido es obligado a moverse por la superficie; y convección natural, cuando las fuerzas aplicadas para su movimiento son causadas por la diferencia de densidad.

La transferencia de calor por convección viene dada por la ley de enfriamiento de Newton (ecuación 3)

$$q = h A (T_s - T_f) \quad (3)$$

Donde  $q$  es la transferencia de calor;  $A$ , el área de la superficie;  $T_s$ , la temperatura de la superficie;  $T_f$ , la temperatura del fluido; y  $h$ , el coeficiente de transmisión de calor.

## 3.2 Tipos de intercambiadores de calor

Existen distintas formas de clasificación de intercambiadores de calor.

Si se clasifican por la forma en que el calor es transferido se obtienen 3 tipos.

### 3.2.1 Tipo abierto

Los intercambiadores de tipo abierto se caracterizan por realizar una mezcla física entre ambos flujos, donde estos flujos se introducen a un depósito por separado. Una vez allí son mezclados e intercambian calor con el contacto de ambos y salen a la misma temperatura.

### 3.2.2 Tipo cerrado, o recuperadores

Ambos flujos no se mezclan físicamente, la transferencia se produce entre el material que los separa. El intercambio es por convección del fluido caliente al material, luego por



conducción a través del material y finalmente por convección al fluido frío.

### 3.2.3 Regeneradores

El flujo caliente fluye por el mismo conducto que el flujo frío en forma alternada con poca mezcla física. El cuerpo absorbe el calor del flujo caliente que cederá al flujo frío que circula a continuación.

## 3.3 Clasificación según la trayectoria del fluido

### 3.3.1 Flujo paralelo

Ambos flujos entran por el mismo extremo, fluyen en la misma dirección y salen por el extremo opuesto. De este modo, el flujo caliente cede calor al frío de manera desigual, poco a poco el fluido caliente va perdiendo temperatura y la temperatura del fluido frío aumenta sin poder superar la temperatura del fluido caliente. Como es lógico, en la entrada de ambos la transferencia es máxima y con el paso por el conducto la transferencia va disminuyendo.

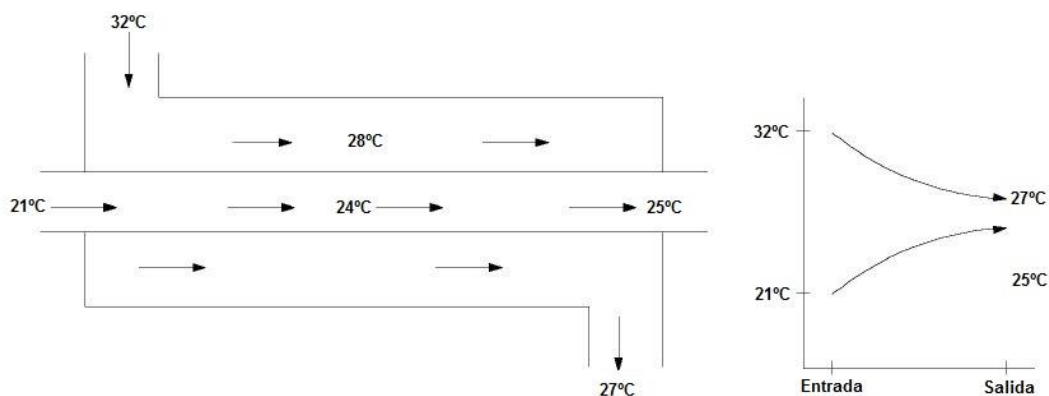


Ilustración 1. Flujo en paralelo. (Soutullo, 2020)

### 3.3.2 Flujo a contracorriente

Los flujos entran por extremos opuestos, fluyen en direcciones contrarias y salen por los distintos extremos. En dicho proceso la transferencia máxima se encuentra en ambos



laterales, tanto en la parte de la entrada del fluido caliente como en la entrada del fluido frío, siendo este máximo menor que en el paralelo, ya que el intercambio es más constante. De este modo, la temperatura del flujo frío si puede llegar a ser mayor que la temperatura del flujo caliente.

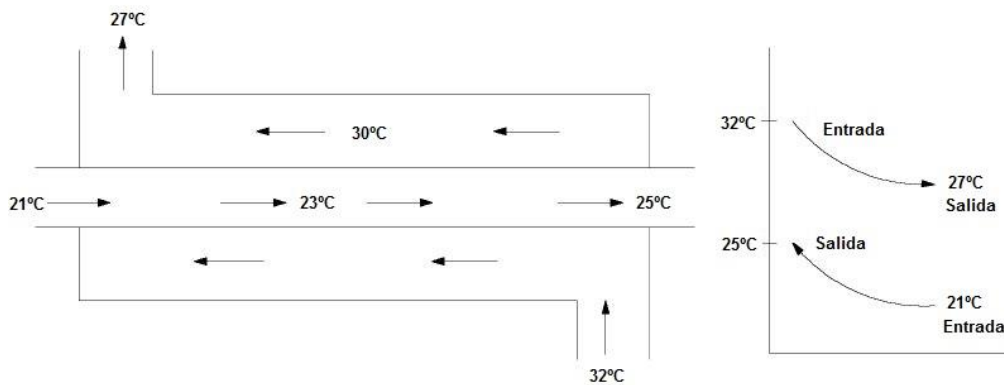


Ilustración 2. Flujo a contracorriente. (Soutullo, 2020)

### 3.3.3 Flujo cruzado

Existen dos tipos de pasos respecto al flujo cruzado. El paso puede ser cruzado de un solo paso, en el que el flujo fluye de manera perpendicular a la trayectoria del otro; y cruzado de pasos múltiples, donde el flujo fluye transversalmente en forma alternativa a la trayectoria del otro.

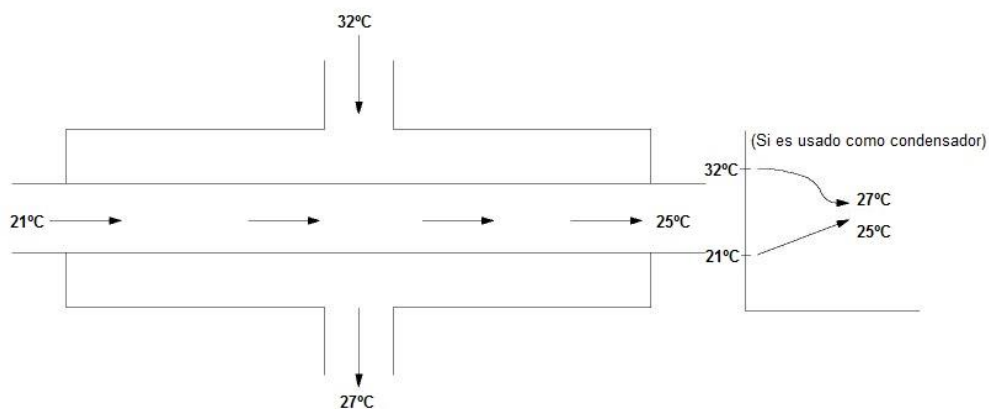


Ilustración 3. Flujo cruzado. (Soutullo, 2020)



### 3.4 Clasificación según las características de construcción

Finalmente, si se realiza la clasificación según sus características, se encuentra una gran variedad de tipos de intercambiadores de calor. A continuación, se van a ver las tipologías más comunes y usadas en la industria. Estos son los llamados intercambiadores de superficie, en los cuales el intercambio se produce a través de una pared metálica. Aunque también existen otros intercambiadores menos comunes llamados intercambiadores de mezcla, donde hay contacto directo entre el fluido caliente y el fluido frío.

#### 3.4.1 Intercambiadores de calor de tubos concéntricos o doble tubo

Este intercambiador de calor es el más sencillo de todos, consta únicamente de dos tubos concéntricos de diámetros diferentes en el que fluye un fluido, por lo general el caliente, por el interior del primer tubo y el otro, el frío, entre el primer y segundo tubo. Los tubos se suelen construir con una sección circular, aunque también existen con sección rectangular o plana, pudiendo ser lisos o aleteados.

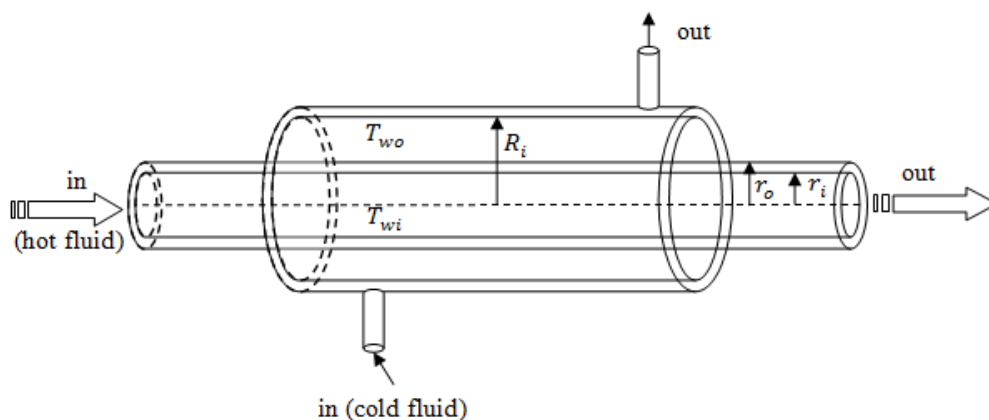


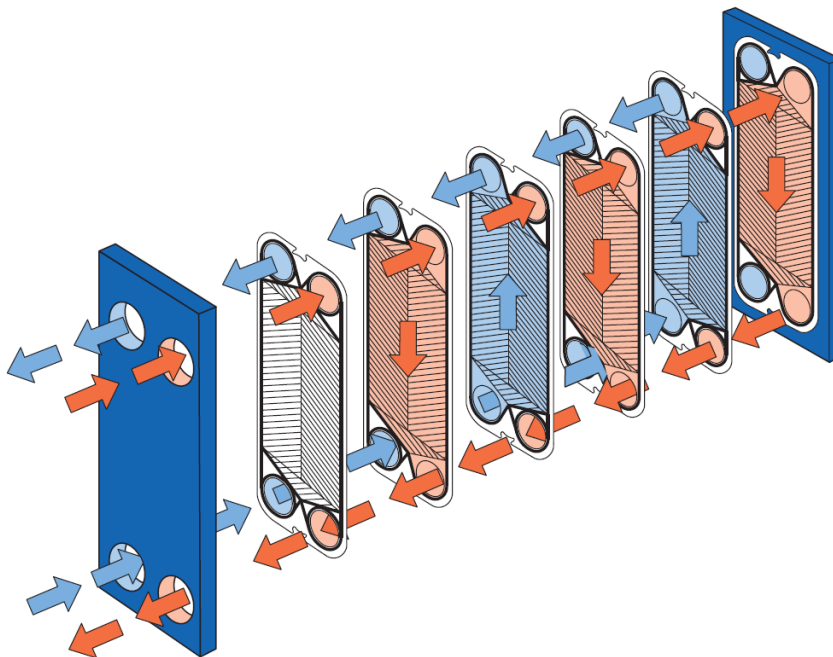
Ilustración 4. Intercambiador de calor de tubos concéntricos. (SACOME, 2019)

#### 3.4.2 Intercambiador de calor de placas

Se caracterizan por su forma compacta, ya que su estructura consta de placas corrugadas colocadas unas junto a las otras las cuales separan ambos fluidos; éstas pueden ampliarse



y reducirse a nuestro antojo. Ambos fluidos circulan a través de las placas de forma alterna, realizando la transferencia de calor a través de la placa, sin llegar a mezclarse físicamente. Presentan una gran eficiencia debido a la gran turbulencia generada en los canales.

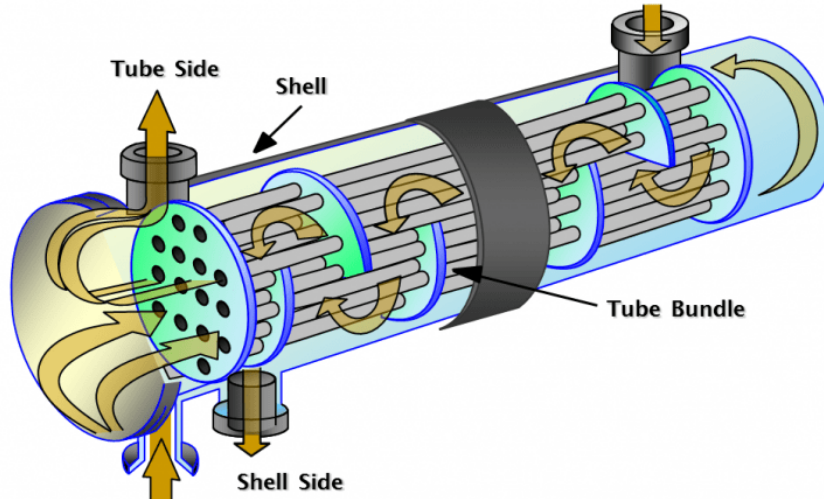


*Ilustración 5. Intercambiador de calor de placas. (Froztec, 2018)*

### 3.4.3 Intercambiador de calor de carcasa y tubos

Se caracterizan por su gran superficie de transmisión. Su funcionamiento es muy sencillo, el flujo caliente fluye por tubos internos y transfieren su calor al flujo frío, el cual circula por la coraza que contiene dichos tubos. Cuantos más tubos internos presente, mayor será la transferencia de calor.

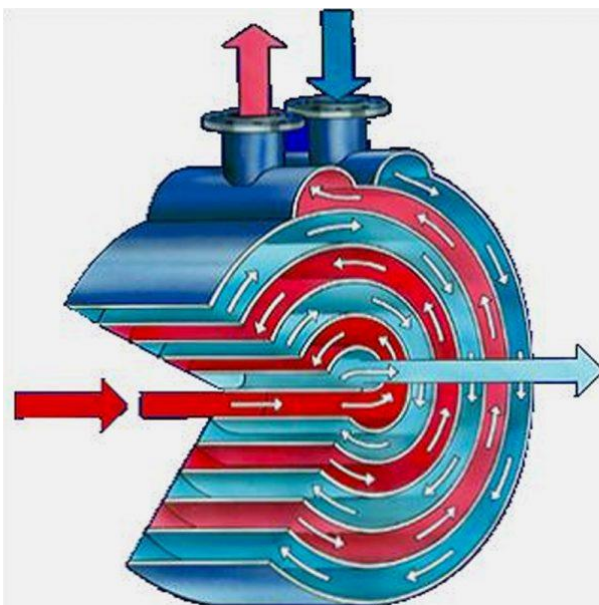




Il·lustració 6. Intercambiador de calor de carcasa y tubos. (arvengrtraining, 2015)

#### 3.4.4 Intercambiador de calor de tubo espiral

Este intercambiador consta de bobinas en forma de espiral colocadas en un depósito, donde los flujos fluyen entre los huecos de las placas. El fluido caliente entra por la parte interior de la espiral y fluye hacia la periferia y, por el contrario, el fluido frío entra por el otro hueco de la periferia y fluye hasta el centro de la espiral sin llegar a mezclarse físicamente.

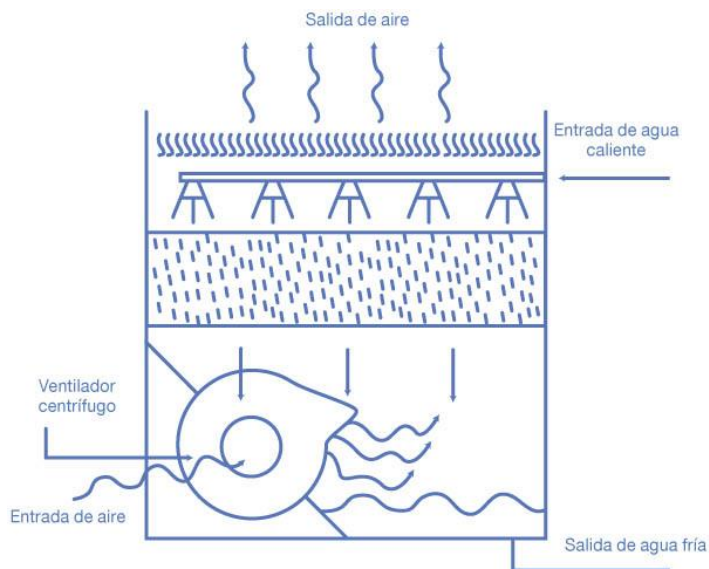


Il·lustració 7. Intercambiador de calor de tubo espiral. (JCN, 2020)



### 3.4.5 Intercambiador de calor de torres de refrigeración húmedas

El intercambiador de calor de torres de refrigeración húmedas permite el contacto directo entre ambos fluidos. El agua caliente entra y se distribuye en la parte superior de la torre de forma pulverizada fluyendo hacia abajo y se cruza con el aire frío, el cual asciende. Mediante el movimiento y contacto directo entre ambos fluidos se produce el intercambio de calor. Este intercambiador es muy común en centrales térmicas y nucleares.



*Ilustración 8. Intercambiador de calor de torres de refrigeración húmedas. (Juan, 2016)*

### 3.4.6 Intercambiador de calor de depósitos de mezcla

Finalmente, el intercambiador de calor de depósitos de mezcla consta de un depósito donde el vapor de agua y el agua líquida fría se mezclan directamente para producir el intercambio de calor.



## 4. Diseño

### 4.1 Diseño térmico

Para empezar a diseñar el intercambiador de calor hay que tener presentes las ecuaciones que describen el flujo de calor en los intercambiadores.

#### 4.1.1 Balance térmico

La primera ecuación que se va a tener en cuenta para entender el intercambio de calor es el balance térmico (ecuación 4), que se basa en un intercambiador adiabático, el cual no transfiere calor hacia el exterior, de modo que todo el calor cedido del flujo caliente es el absorbido por el flujo frío. A partir de esta ecuación se puede obtener la potencia térmica cedida por el flujo caliente,  $\dot{q}_C$ , como producto del gasto másico,  $\dot{m}$ , por su calor específico,  $c_p$ , y el salto de temperaturas, que es la diferencia entre la temperatura de entrada y la temperatura de salida. Donde  $T_{EC}$ , es la temperatura de entrada del fluido caliente y  $T_{SC}$  la temperatura de salida del mismo fluido.

$$\dot{q}_C = (\dot{m}c_p)(T_{EC} - T_{SC}) \quad (4)$$

Asimismo, para el flujo frío, se obtiene el calor absorbido del flujo caliente (ecuación 5).

$$\dot{q}_F = (\dot{m}c_p)(T_{SF} - T_{EF}) \quad (5)$$

Donde  $\dot{q}_F$ , es la potencia térmica absorbida por el fluido frío;  $\dot{m}$ , el gasto másico;  $c_p$ , el calor específico;  $T_{SF}$ , la temperatura de salida del fluido frío y  $T_{EF}$ , su temperatura de entrada.

Como se puede apreciar, para obtener el valor de la potencia térmica cedida y absorbida es necesario disponer de los datos de temperatura de entrada y salida de ambos fluidos y su caudal. Es por ello por lo que se necesita instalar una serie de componentes para conseguir dichos valores.



#### 4.1.2 Ecuación de transmisión de calor.

Para calcular la potencia del intercambiador,  $\dot{q}$ ; se multiplica el coeficiente global de transmisión,  $UA$ ; por la diferencia de temperaturas media  $(\overline{T_C - T_F})$  (ecuación 6).

$$\dot{q} = UA(\overline{T_C - T_F}) \quad (6)$$

Este valor representa el calor transmitido por unidad de tiempo desde la corriente caliente hacia la corriente fría.

El problema es que la diferencia de temperaturas no es constante a través del intercambiador. A medida que el flujo fluye a través de él, su transferencia se reduce de forma logarítmica. De modo que habrá que calcular la diferencia de temperaturas media logarítmica, la cual se trata de una deducción aproximación matemática en montajes sencillos para poder estimar esa diferencia de temperaturas promedio entre el fluido caliente y el fluido frío.

Para flujos a contracorriente (ecuación 7)

$$DTML = \frac{(T_{EC} - T_{SF}) - (T_{SC} - T_{EF})}{\ln \frac{T_{EC} - T_{SF}}{T_{SC} - T_{EF}}} \quad (7)$$

Para flujos paralelos (ecuación 8)

$$DTML = \frac{(T_{EC} - T_{EF}) - (T_{SC} - T_{SF})}{\ln \frac{T_{EC} - T_{EF}}{T_{SC} - T_{SF}}} \quad (8)$$

Donde  $T_{EC}$ , es la temperatura de entrada del fluido frío;  $T_{SC}$ , la temperatura de salida del fluido caliente;  $T_{EF}$ , la temperatura de entrada del fluido frío; y  $T_{SF}$ , la temperatura de salida del fluido frío.

Es por ello por lo que para calcular dicho valor es necesario obtener las distintas temperaturas mediante sensores en la estación.

#### 4.1.3 Coeficiente global de transmisión de calor U

El coeficiente global de transmisión de calor se define como la intensidad total en la que



se transfiere el calor desde el flujo caliente hasta el flujo frío a través de las resistencias a las que se encuentra. En este caso, para un tubo, esta transferencia está influenciada por su espesor y la conductividad térmica del material que se encuentra entre ambos fluidos. Para ello hay que resolver un problema de convección y conducción. (ecuación 9).

$$UA = \frac{1}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln \frac{r_e}{r_i}}{2\pi k L} + \frac{1}{h_e A_e}} \quad (9)$$

Esta ecuación solo es aplicable en intercambiadores donde la transferencia se realiza a través de tubos; como es el caso de los intercambiadores de carcasa y tubos o intercambiadores de tubos concéntricos o doble tubo.

Las resistencias a las que se somete la transferencia de calor se representan como ecuaciones en el divisor, las cuales han sido estudiadas por conducción y convección producidas en el intercambio. Para ello es importante conocer la Ley de Fourier vista anteriormente en los fundamentos teóricos.

La primera resistencia que encuentra la transferencia es la pared interna del tubo, convección, donde el fluido transfiere su calor a ésta,  $\frac{1}{h_i A_i}$ . Donde  $h_i$ , es el coeficiente de transferencia de calor por convección y  $A_i$ , el área interior de la tubería.

La segunda resistencia que se encuentran,  $\frac{\ln \frac{r_e}{r_i}}{2\pi k L}$ , es la característica de conducción. Donde  $r_e$ , es el radio externo de la tubería;  $r_i$ , el radio interno de la tubería; L, la longitud de la tubería; y k, la conductividad térmica del material, es por ello por lo que se busca un material con alta conductividad térmica, como es el acero, para conseguir una mayor transferencia.

Finalmente, la última resistencia,  $\frac{1}{h_e A_e}$ , es la ocasionada por la transferencia de calor desde la tubería hasta el fluido frío, convección. Donde  $h_e$ , es el coeficiente de transferencia de calor y  $A_e$ , el área del tubo exterior.

Este coeficiente U típico en el intercambio agua-agua varía entre los 850 y 1700 W/m<sup>2</sup>k. Otro punto para tener en cuenta es la resistencia de ensuciamiento, el cual suma en las



resistencias del divisor de la ecuación. El agua utilizada tiene un valor típico de  $0,002 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

#### 4.1.4 Parámetros que obtener

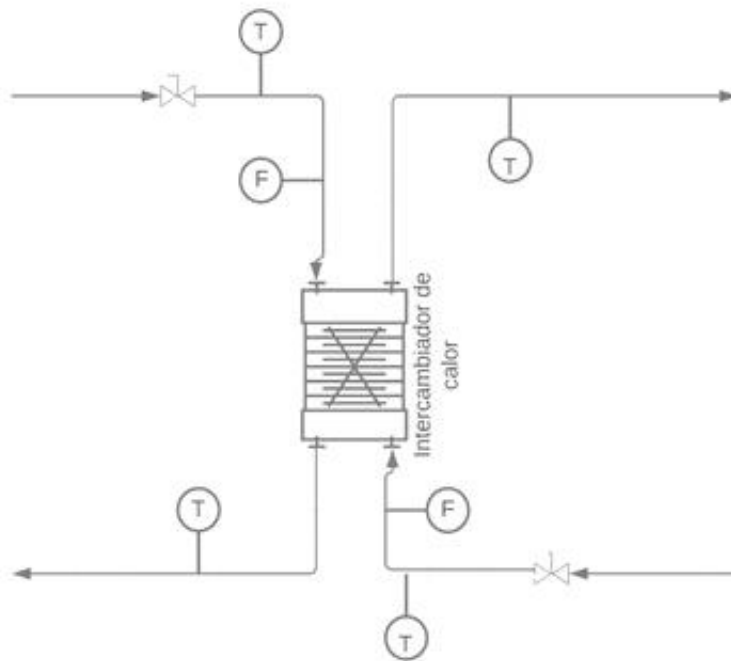
Para calcular la potencia térmica del intercambiador a estudiar se necesita el parámetro de todos los valores mencionados anteriormente. Para obtener el calor transferido del fluido caliente al fluido frío es necesario el gasto másico, lo que representa el caudal circulante por la estación; además de las distintas temperaturas. Como se ha podido ver en la ecuación 7 y 8, para obtener una aproximación matemática es necesario calcular los valores de la temperatura de entrada y salida de ambos fluidos. Finalmente, respecto a los valores para calcular el coeficiente global de transmisión, hay que estudiar las propiedades del intercambiador de calor, ya que dichos valores no son variables.

## 4.2 Esquema de montaje

El primer paso para realizar el diseño es plantear un pequeño esquema de montaje para conocer los aspectos principales que tiene la estación y van a condicionar el diseño y la selección de componentes en función los parámetros a obtener para realizar los cálculos vistos anteriormente. Primeramente, el suministro del agua; tanto la entrada de agua fría como la entrada de agua caliente se obtiene de la red hidráulica, de modo que no será necesario colocar una bomba, ya que el agua entra con la suficiente presión y caudal para circular por el intercambiador y poder realizar los cálculos necesarios. Una vez entra el agua se necesita un instrumento para poder modificar el caudal del flujo a nuestro antojo, para ello hace falta una válvula de corte al inicio de la estación. Los valores más importantes del flujo de entrada en el intercambiador de calor para los cálculos de la potencia son la temperatura y el caudal. Para ello se necesita instalar un aparato para medir la temperatura de entrada de ambos fluidos y otro para medir el caudal circulante. Una vez tomados estos datos, se requiere un sistema para cambiar rápidamente de intercambiador y que este quede sujeto a la mesa. Para ello se instalan conexiones hidráulicas rápidas. Además, para conectar fácilmente estos flujos de entrada con el



intercambiador se necesitan tubos flexibles para manipularlos y ajustarlos a las distintas entradas. A continuación, estos fluidos se transfieren el calor entre ellos en el intercambiador y requiere detectar la temperatura a la salida de ambos. Para ello se conectan otros dos indicadores de temperatura a la salida de estos.



*Ilustración 9. Esquema básico del montaje*

Aquí se puede apreciar un sencillo montaje para tener una idea rápida de cómo es la instalación. Se observan las dos entradas, con sus respectivas válvulas, su sensor de temperatura, su sensor del caudal y la conexión con el intercambiador. Se utilizan los tubos flexibles y conexiones rápidas para modificar las entradas y conseguir trabajar tanto en flujo paralelo como en flujo a contracorriente. Finalmente, a la salida del intercambiador, se encuentra un nuevo indicador de temperatura para poder comparar el valor obtenido con la temperatura de entrada y poder realizar los cálculos necesarios.

Para contener todos estos componentes se exige una estructura que envuelva y soporte las distintas partes del montaje.

Para la selección del material de cada componente se ha realizado un estudio con la



aplicación GRANTA Edupack 2020 (veáse anexo 1), donde se han establecido las condiciones de contorno a las que se verá sometido el banco de pruebas.

### 4.3 Selección de intercambiador

Para el presente proyecto se han de seleccionar los intercambiadores de calor a estudiar que se ajusten al tamaño del banco de pruebas. De los vistos anteriormente, se ha escogido el intercambiador de calor de tubos concéntricos, por ser el más simple y completo simultáneamente a la hora de entender el funcionamiento y la teoría en intercambiadores de calor, ya que, en él, se puede estudiar y calcular fácilmente la transferencia producida y observar las diferencias entre el flujo a contracorriente y flujo en paralelo. Además, es fácil de construir, de limpiar y de reparar.

Asimismo, se ha seleccionado el intercambiador de calor de carcasa y tubos, ya que es el más usado actualmente en las industrias, por su gran eficacia y transferencia producida. Además, su montaje y funcionamiento es muy sencillo.

Se ha realizado un estudio de mercado para seleccionar el mejor intercambiador para dicha aplicación.

#### 4.3.1 Intercambiador de calor de tubos concéntricos

El intercambiador de calor de tubos concéntricos presenta una longitud de 480 mm, un ancho de 230 mm, un alto de 150 mm y una superficie de transferencia media de 250 cm<sup>2</sup>. Se ha seleccionado el cambiador del fabricante gunt Hamburg, el cual tiene a la venta una gran variedad de intercambiadores de calor de distintas tipologías. El seleccionado ha sido diseñado para su estudio en bancos de prueba por su sencillo funcionamiento. Dicho intercambiador es capaz de trabajar tanto en flujo paralelo como en flujo a contracorriente para poder realizar el estudio en ambas trayectorias y poder compararlas. El tubo interior tiene un diámetro de 12 mm y un espesor de 1 mm. El material seleccionado para los tubos es acero inoxidable, por su gran resistencia, baja corrosión y su elevada conductividad térmica, lo que hace un material óptimo para dicha aplicación, además de que por dicho tubo circula el flujo de agua caliente y tiene que poder resistir su





temperatura sin presentar deformaciones permanentes.

Respecto a los tubos exteriores, por donde circula el flujo frío, tienen un diámetro exterior de 20 mm y espesor de 2mm. La pieza está fabricada de PMMA, material crucial para el estudio de dicho intercambiador, ya que, al tratarse de un material amorfo, sus cadenas poliméricas están desordenadas y dejan pasar la luz, de modo que se consigue un material transparente para poder observar el flujo del agua a través de él.



*Ilustración 10. Intercambiador de calor de tubos concéntricos (GUNT HAMBURG, 2018)*

#### 4.3.2 Intercambiador de calor de carcasa y tubos

Respecto al intercambiador de calor de carcasa y tubos se ha seleccionado uno del mismo fabricante por sus características y por ser uno de los más idóneos para el estudio de su funcionamiento. Dicho intercambiador de 400 mm de largo, 230 mm de ancho y 110 mm de alto trabaja en flujo cruzado, pudiendo hacerlo tanto en flujo paralelo cruzado como en flujo a contracorriente cruzado, donde el agua fría fluye por dentro de la carcasa y el agua caliente fluye por el interior de los tubos internos.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

La carcasa por donde fluye el agua fría tiene un diámetro exterior de 50 mm y un grosor de pared de 3 mm. Dicha carcasa ha sido fabricada de material PMMA por ser el mejor material para dicha aplicación, como bien se ha explicado en el intercambiador de calor de tubos concéntricos.

Respecto al haz de tubos interiores consta de 7 tubos de 6 mm de diámetro y 1 mm de espesor que atraviesan la carcasa, sucede lo mismo que en el intercambiador anterior, el material de fabricación es el acero inoxidable por su gran transferencia de calor, su baja corrosión y sus distintas ventajas.

El intercambiador de carcasa y tubos, como bien se ha comentado, se caracteriza por su gran capacidad de transmisión, con una superficie de transmisión de 200 cm<sup>2</sup>. Además, gracias a los deflectores situados entre la carcasa se consigue aumentar la turbulencia del flujo logrando una mayor transferencia del calor.



*Ilustración 11. Intercambiador de calor de carcasa y tubos (GUNT HAMBURG, 2018).*



## 4.4 La estructura

La estructura, diseñada en base la normativa UNE-EN 13150, es la parte que tiene que soportar el peso, tanto de la caja como del intercambiador. Para la selección del material hay que tener presentes varias condiciones de contorno. Una de las características más importantes que debe tener el material es una buena procesabilidad. Esto describe la facilidad con la que se da forma al material y se une con otros. La caja consta de una chapa plegada y una lámina fina de metal, de modo que, para darle la forma deseada, evitando las roturas, la aparición de arrugas, el adelgazamiento excesivo en algunas zonas o las abolladuras, se requiere una buena conformabilidad. Además, se requiere que el material tenga una buena facilidad para que se realice la soldadura, ya que tanto las patas como la mesa van soldadas entre sí, y para eso se requiere un material que al ser soldado presente una buena calidad y solidez en las uniones. Asimismo, se busca un material con buena mecanizabilidad. Gracias a esto se consigue un amplio abanico de procesos de fabricación a la hora de abaratar costes, ya que el proceso de fabricación de la estructura es por mecanizado.

	Zn alloy	Copper alloys			Light alloys			Ferrous alloys					
	Zinc alloys	Copper	Brasses	Bronzes	Non-hardening Al alloys	Age-hardening Al alloys	Magnesium alloys	Low C steels	Med./High C steels	Low alloy steels	High alloy steels	Stainless steels	Cast irons
Castability	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Formability	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Machinability	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Weldability	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Brazability	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Scale: excellent ■ → ■ → ■ → ■ → ■ not recommended.

Ilustración 12. Procesabilidad de algunos grupos de metales (GRANTA CES Edupack, 2020)



La ilustración 4 muestra la clasificación de procesabilidad de algunos metales. Cuanto mayor sea el cuadrado rojo mejor procesabilidad presenta. Como se puede observar, el acero inoxidable, a pesar de ser uno de los más empleados en la fabricación de estructuras es uno de los que peor procesabilidad presenta. El bronce por ejemplo es el que presenta mejor procesabilidad. No obstante, se va a realizar un estudio más detallado sobre las condiciones de servicio a las que está sometida nuestra estructura, ya que el cobre por ejemplo tiene un precio bastante más elevado comparado con los otros metales. Por ello, se ha buscado un material que cumpla las características necesarias y sea lo más económico posible.

Una de las condiciones más importantes a cumplir es una buena resistencia mecánica específica, ya que se desea un material con buenas propiedades mecánicas y baja densidad. Otra de las condiciones que debe cumplir es una buena resistencia a la corrosión y oxidación, ya que al ser un material que trabaja en una atmósfera industrial y con agua, es conveniente que dure lo máximo posible. Además, para evitar la oxidación, se le aplica un tratamiento llamado lacado, que consiste en una pintura que se aplica a la superficie del perfil para que el material no se oxide.

Una vez realizado el estudio, se divisa que el mejor material para dicha aplicación es el aluminio 6061, ya que presenta buenas propiedades mecánicas y un bajo coste.

La serie 6000 de aleaciones de aluminio tiene una aleación de silicio y magnesio y ha sido seleccionada por su resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y su buena soldabilidad.

La estructura del banco de pruebas ha sido fabricada toda con el mismo material y diseñada para ser lo más compacta y ligera posible, con un peso total de 61 kg.



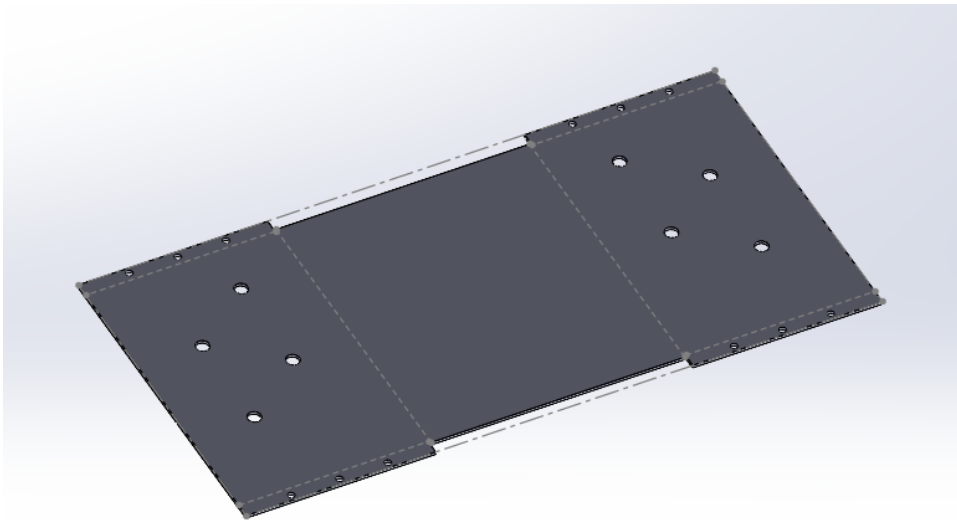
*Ilustración 13. Estructura del banco de pruebas SolidWorks.*

#### 4.4.1 La caja

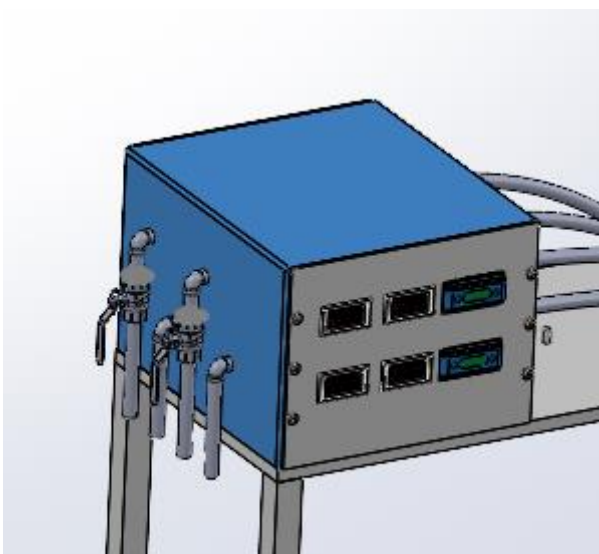
Para el diseño de la caja se han hecho 3 partes de chapa plegada, las cuales van unidas entre ellas a través de tornillos. Por una parte, se encuentra la chapa plegada, que ocupa las partes laterales y la superior de la caja, con unas dimensiones de 40 cm de largo, 45 cm de ancho y 30 cm de alto. Dicha chapa plegada contiene en su interior el caudalímetro, los sensores de temperatura conectados al Tee y las tuberías de entrada y salida. Las dimensiones de la caja han sido seleccionadas de esa forma para conseguir que la caja contenga todos los componentes dejando el máximo espacio a la derecha para colocar el intercambiador.



Para que el plegado quede correcto se ha dejado un exceso de material de 1mm en todos los pliegues, obteniendo un radio de 0,74 mm en cada uno. Además, tiene una doblez de 25 mm para los tornillos conectados a las otras dos partes. Se ha diseñado de esta forma para conseguir una buena unión a la tabla y conseguir contener de la mejor manera posible todos los componentes.



*Ilustración 14. Chapa metálica desplegada para la caja SolidWorks*

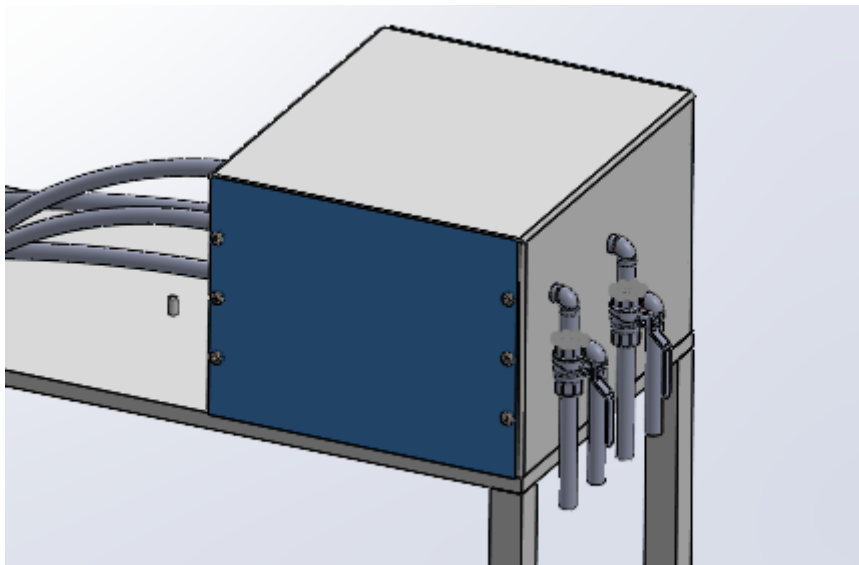


*Ilustración 15. Chapa metálica SolidWorks*



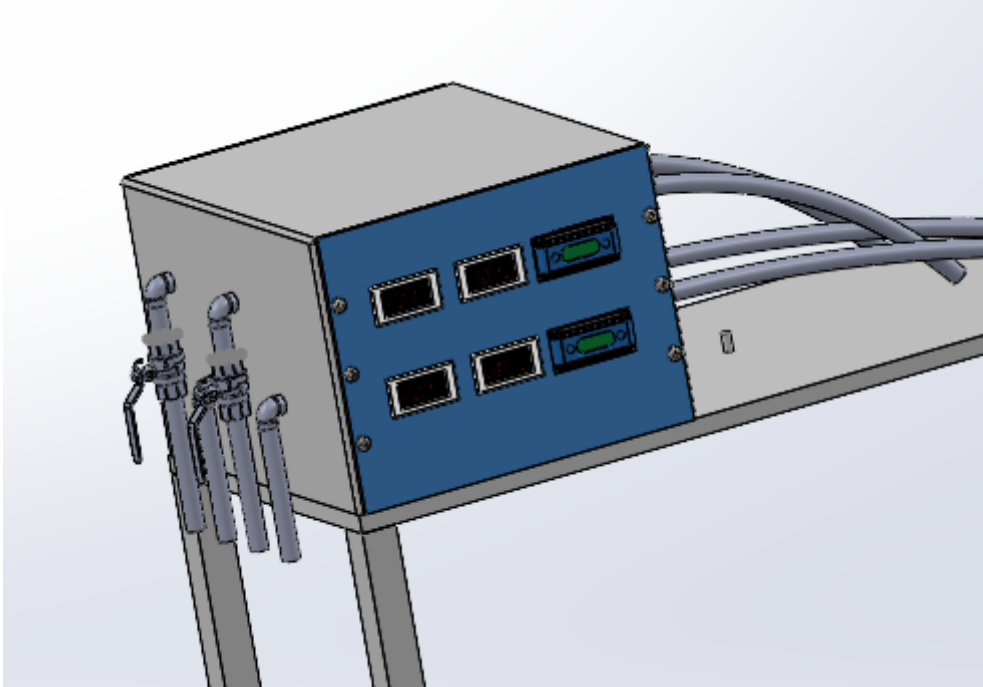


La parte trasera se trata de otra chapa metálica atornillada a la anterior para que en caso de tener algún problema en las uniones del interior se pueda separar y reparar sin problemas.



*Ilustración 16. Chapa metálica trasera SolidWorks.*

Y finalmente la parte delantera, la cual también consiste en una chapa metálica con los cuatro huecos del indicador de temperatura y dos para el caudalímetro. Unida a la chapa mediante tornillos para poder separarla en caso de que sea necesario.



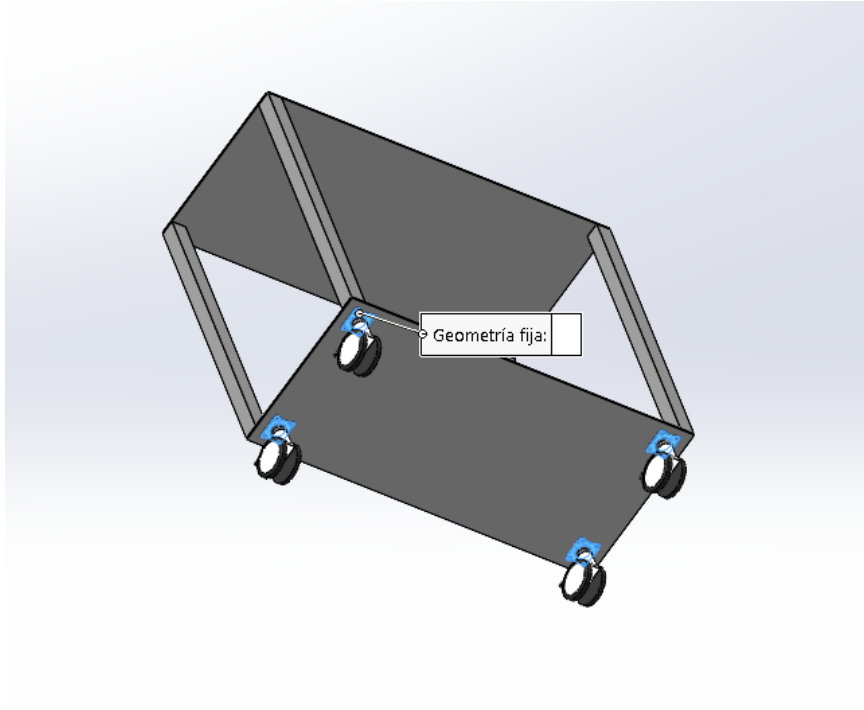
*Ilustración 17. Chapa metálica delantera SolidWorks.*

#### 4.4.2 Las tablas

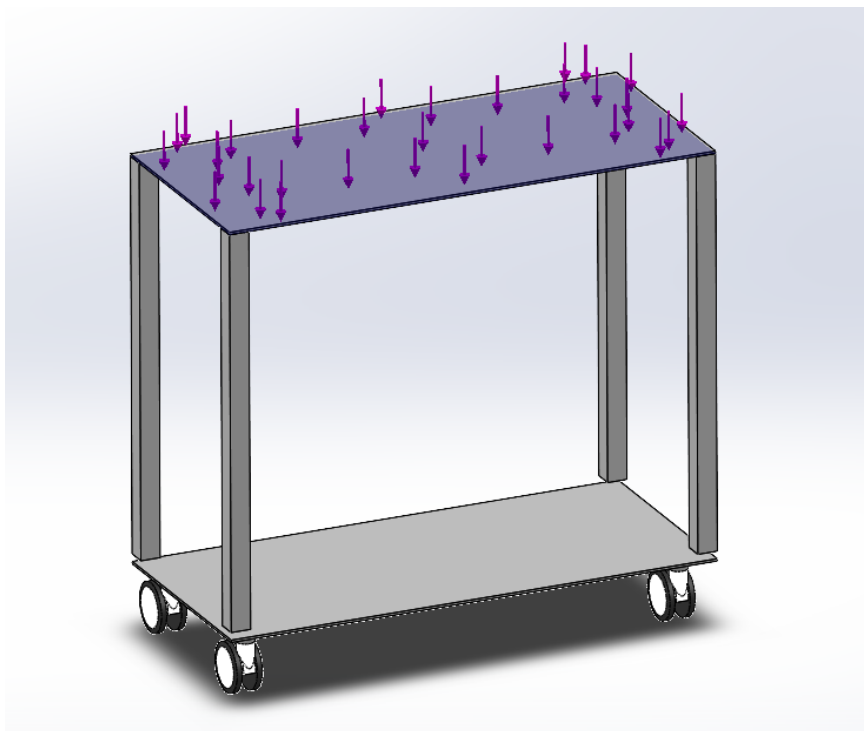
Tanto la tabla superior como la inferior tienen un espesor de 1'8 cm, un ancho de 45 cm, y una longitud de 100 cm, ya que este largo tiene que sostener los 40 cm de la caja y 60 cm para colocar el intercambiador. Para determinar dicho espesor se ha realizado un estudio de diseño en la aplicación SolidWorks para que la mesa pueda soportar un peso superior a los 200 kg sin llegar a producirse deformaciones permanentes.

Para dicho estudio, el primer paso es seleccionar como geometría fija las ruedas y aplicar una fuerza sobre la mesa.





*Ilustración 18. Geometría fija para el estudio de diseño.*



*Ilustración 19. Fuerza aplicada para el estudio de diseño.*



Luego, se realiza el estudio sobre la geometría inicial, poniendo como variable la fuerza y como objetivo un factor de seguridad de 1, para asegurar que no se produzcan deformaciones permanentes en la geometría. Con esto se consigue ver cuál es la fuerza máxima que puede soportar. Se observa que se trata de 400 N, lo que es equivalente a 40 kg. Dicho valor es muy bajo ya que a la mínima que se apoye alguien fuerte se producen deformaciones permanentes.

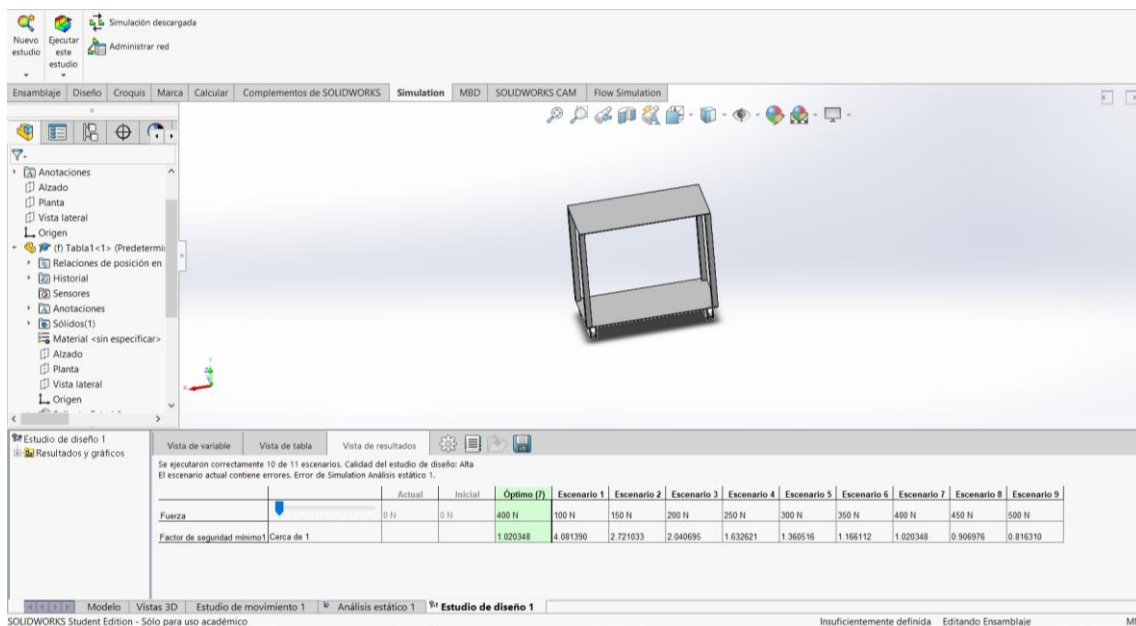


Ilustración 20. Fuerza máxima permitida.

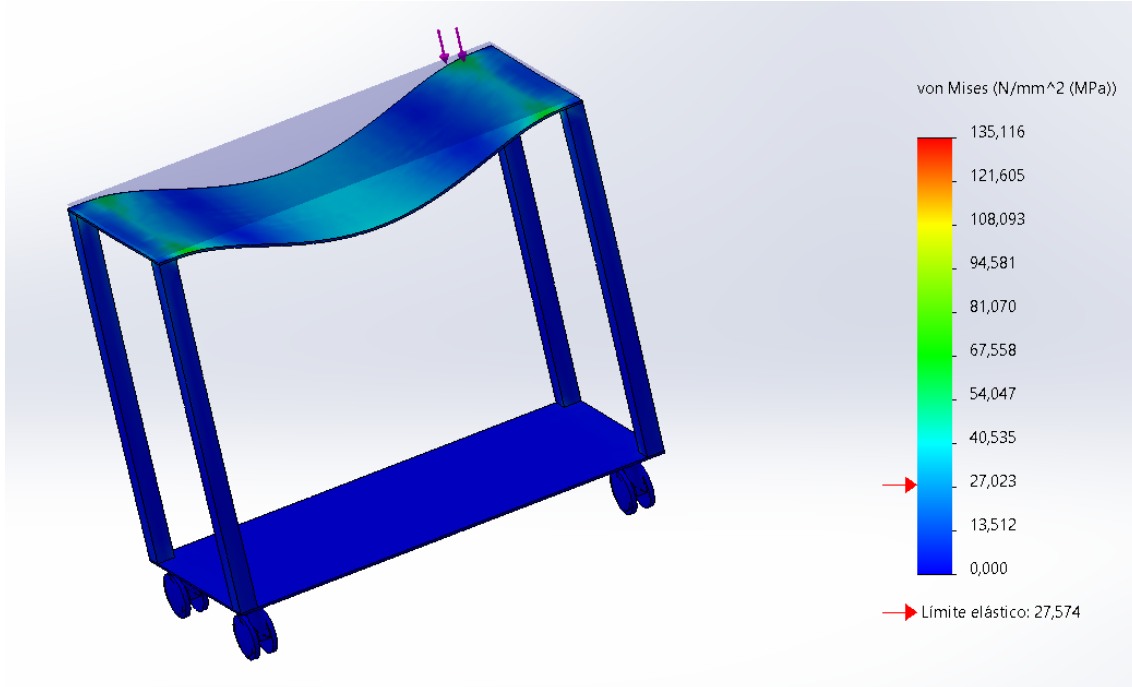


Ilustración 21. Gráfico de tensiones de la estructura.

Según la normativa UNE-EN 13150, la superficie principal tiene que soportar una carga de 2000N. Para ello se realiza otro estudio de optimización donde la variable es el espesor de la mesa, ya que al aumentar su espesor se consigue mayor resistencia, con un objetivo de un factor de seguridad de 1.

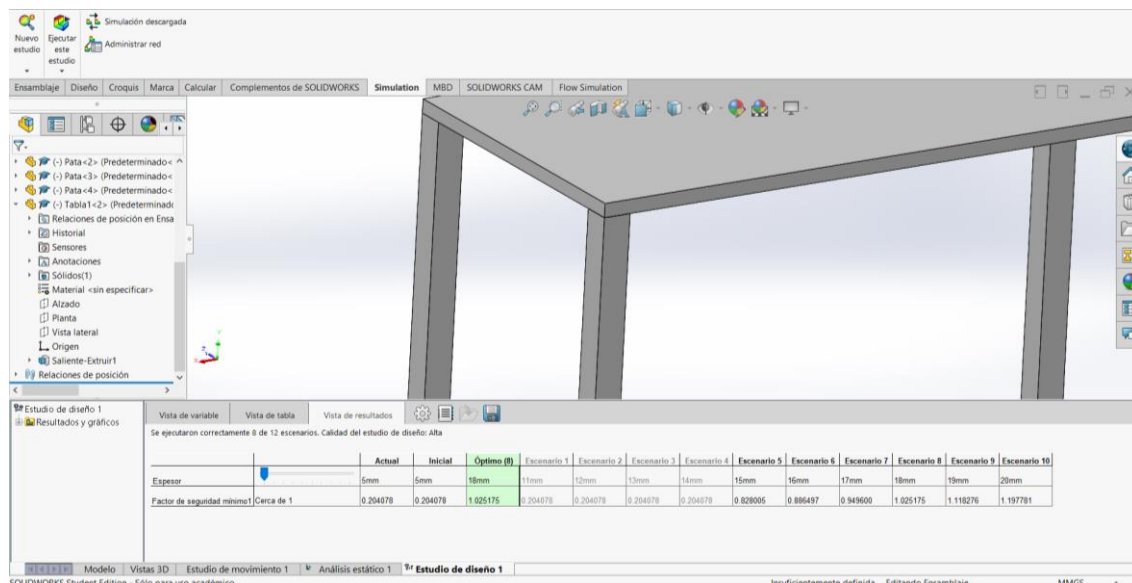


Ilustración 22. Espesor óptimo para el estudio.



El espesor calculado es de 18 mm.

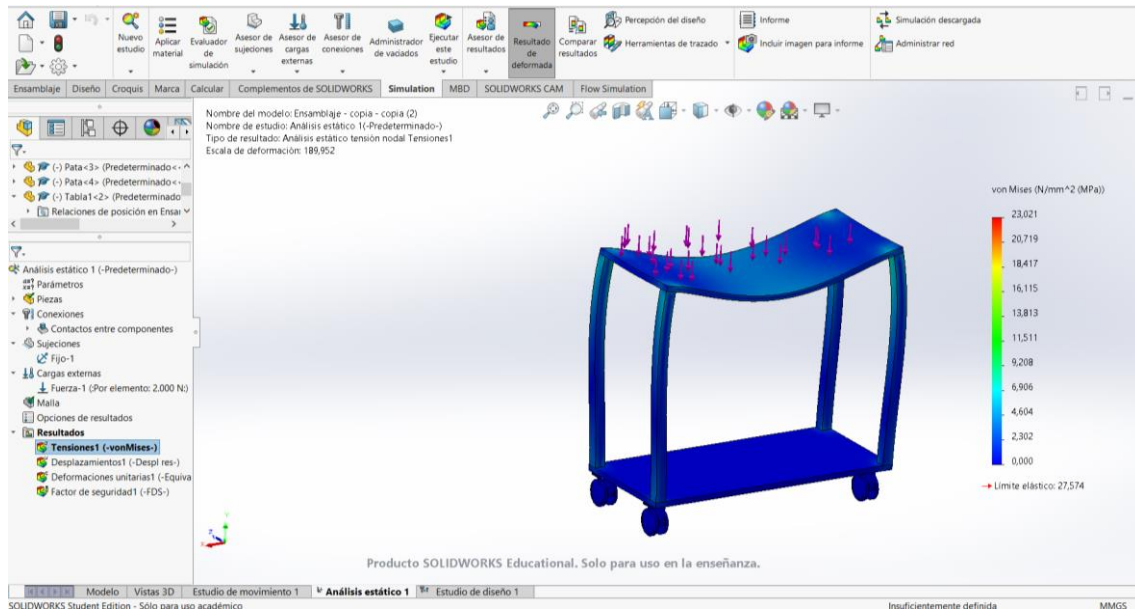
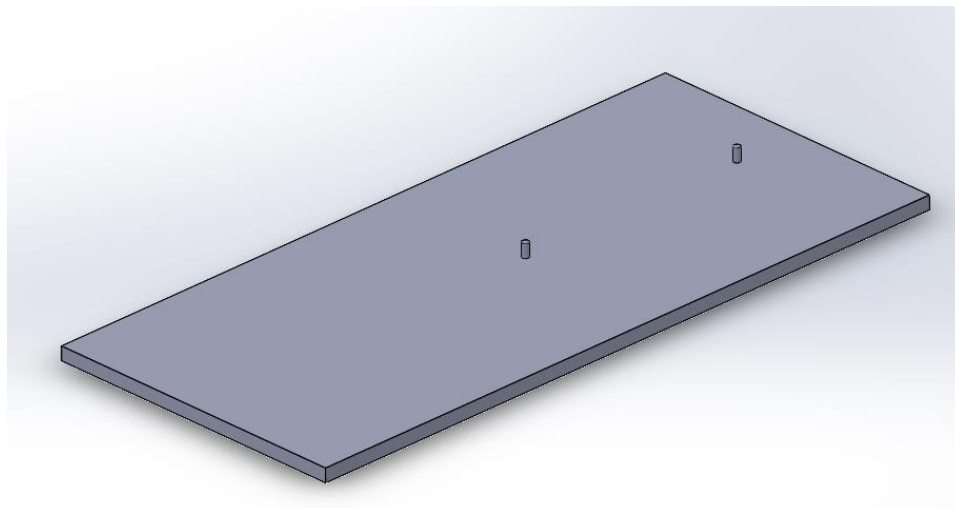


Ilustración 23. Nuevo gráfico de tensiones de la estructura.

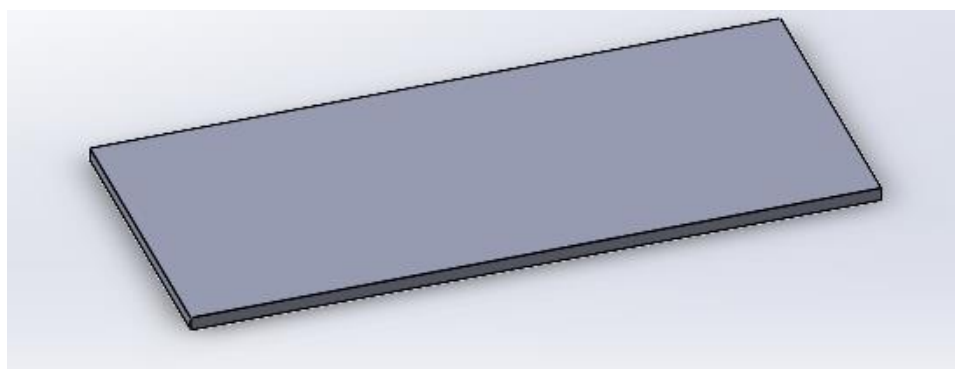
Como se puede apreciar ahora, ya no se producen deformaciones permanentes en la pieza al aplicar 2000 N sobre la tabla.

La parte superior tiene dos tornillos unidos para posicionar los intercambiadores sobre él, ya que la tabla del montaje de los intercambiadores de calor seleccionados tiene dos agujeros, los cuales se introducen en estos tornillos para conseguir anclarlo con la superficie y que no se mueva.

Respecto a la tabla inferior, se une a cuatro ruedas giratorias con freno para poder desplazar el banco con total facilidad. Dicha tabla ha sido diseñada para colocar sobre ésta el intercambiador de calor que no se esté utilizando.



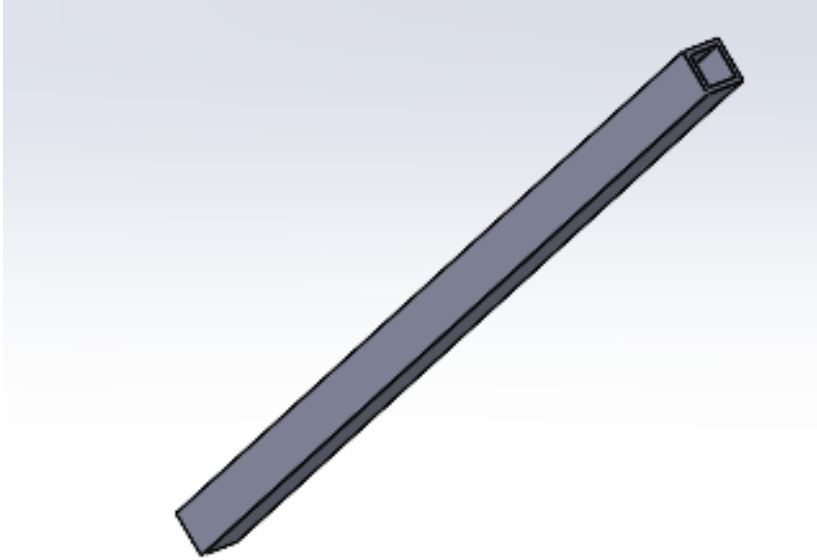
*Ilustración 24. Tabla de soporte superior del banco de pruebas SolidWorks*



*Ilustración 25. Tabla de soporte inferior del banco de pruebas SolidWorks.*

#### 4.4.3 Las patas

Las patas tienen un perfil comercial cuadrado hueco de 40 cm para asegurar una buena resistencia a compresión. Éstas se encuentran soldadas entre la tabla superior e inferior con una altura de 80 cm para conseguir la altura deseada del banco. Esta altura ha sido seleccionada por su ergonomía en función de la altura media de la población para su correcta accesibilidad y comodidad. Además, cumple la normativa UNE-EN 13150 que establece una altura entre 72 y 90 cm.



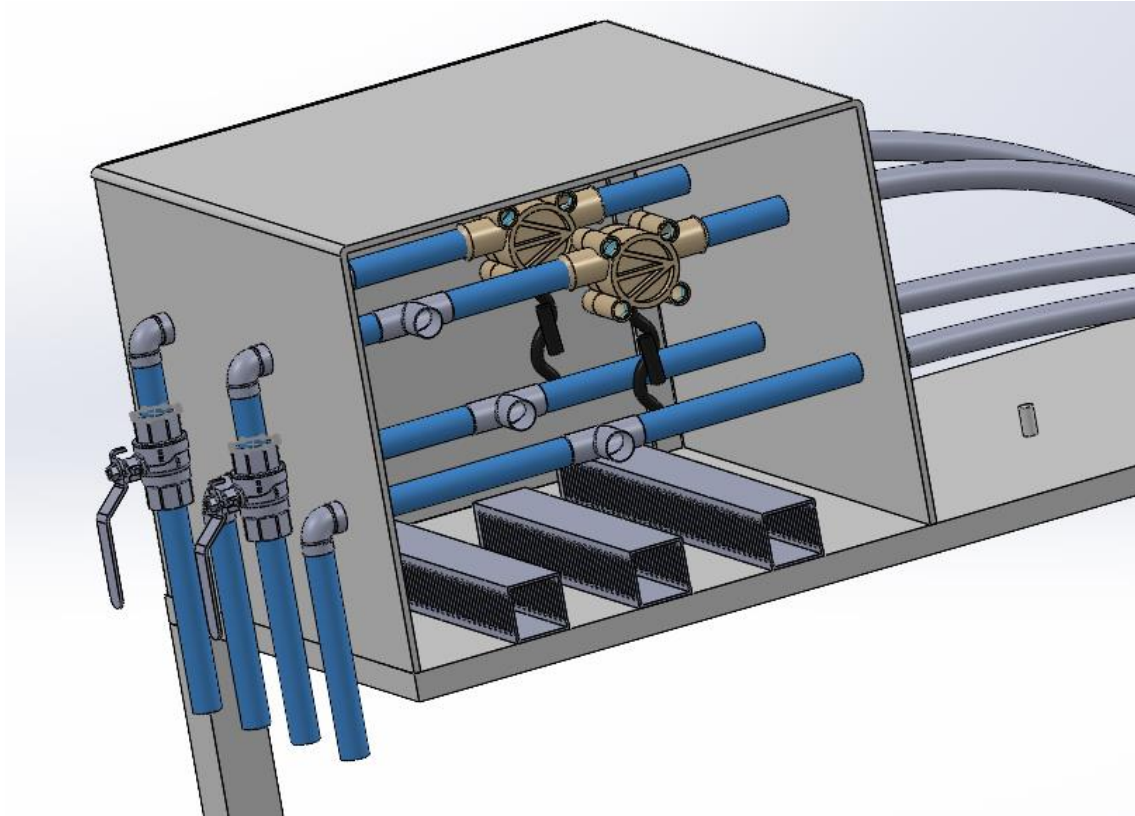
*Ilustración 26. Pata del banco de pruebas SolidWorks.*

## 4.5 Tuberías

Las tuberías por donde pasará el agua han sido seleccionadas en función de las características de los intercambiadores de calor y los dispositivos que se han decidido usar. El mejor diámetro comercial para el diseño es de 1/2”.

### 4.5.1 Tubos internos

Todos los tubos internos tienen un diámetro de 1/2”, para las tuberías de CPVC esto es equivalente a un DN de 15 mm y un diámetro exterior de 15,88 mm. El primer tubo, el que conecta con la red hidráulica y con la válvula de corte o con el codo a 90° tiene una longitud de 15 cm. En los conductos de entrada, desde la válvula hasta el codo de 90° se encuentra otro tubo de 5 cm de longitud. A continuación, se encuentran los tubos que conectan al Tee con una longitud de 0,9 cm y al caudalímetro con una longitud otros 0,9 cm. Y finalmente, los tubos de vuelta que conectan al Tee presentan una longitud de 18 cm cada uno.



*Il·lustració 27. Tubos interns SolidWorks*

Para las tuberías mencionadas se ha realizado un estudio para la selección del material a emplear en función de las condiciones de servicio a las que están sometidas. Una de las condiciones más importantes es que sean resistentes a la corrosión, ya que al estar en continuo contacto con el agua, se desea una excelente durabilidad. Para que pueda resistir sin problemas las tensiones aplicadas por el peso del fluido se ha buscado un material con alto límite elástico y un alto Módulo de Young, de más de 3 GPa, para tener un material rígido y evitar las máximas deformaciones posibles. Otra de las condiciones más importantes es el precio, ya que se busca un material que cumpla los requisitos planteados y sea lo más económico posible, con un precio no superior a los 2,5 EUR/kg. En este proyecto, el objetivo principal es el estudio del intercambiador de calor, por calcular su eficiencia a la hora de intercambiar calor, de modo que lo que se busca es que el fluido pierda la mínima temperatura posible, para que el intercambio de calor se produzca únicamente en el intercambiador, de modo que se busca un material que sea aislante



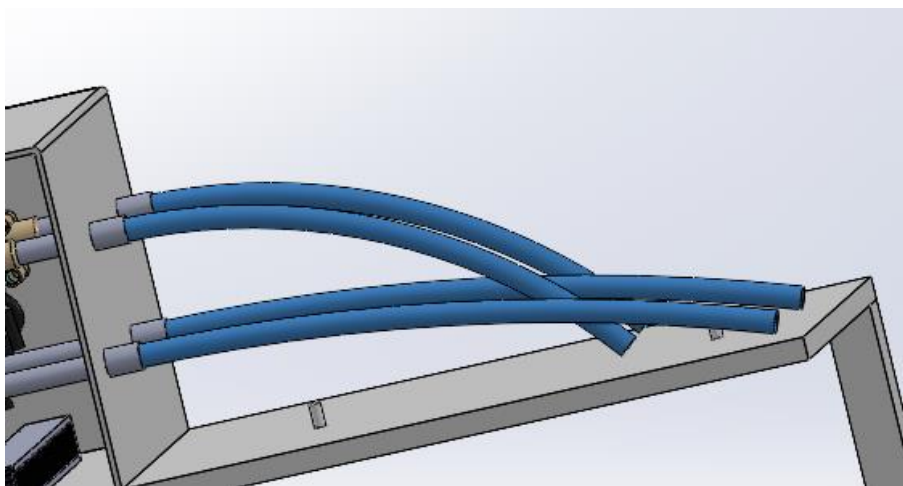


térmico, para ello se ha seleccionado una conductividad térmica máxima de  $0,15 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ . Finalmente, otra condición muy importante es la máxima temperatura en servicio, ya que el fluido caliente puede alcanzar temperaturas de  $70\text{-}80^\circ\text{C}$ . Uno de los mejores materiales de los que se dispone es el PVC rígido. No obstante, éste no es capaz de soportar tanta temperatura. Ciertamente es que para el conducto del fluido frío se podría usar dicho material, pero se ha optado por utilizar el mismo para todos por si se produce un error y se conecta la entrada del fluido caliente en dicho conducto.

De modo que el mejor material para las tuberías es el CPVC, policloruro de vinilo clorado. Es uno de los materiales más empleados en tuberías en contacto con agua caliente, por sus buenas propiedades mecánicas y su bajo coste.

#### 4.5.2 Tubos externos

Los tubos externos tienen una longitud de 55 cm y están conectados mediante un cople a los tubos internos. Estos tubos se ubican en la parte derecha de la caja.



*Ilustración 28. Tubos externos SolidWorks*

Para los tubos externos se ha realizado otro estudio muy parecido al de los tubos internos, sin embargo, estos tubos son los que se manipulan para conectarlos a los intercambiadores de calor. Como cada intercambiador tendrá la entrada en un punto distinto se necesita un material flexible, que se pueda doblar y ajustar como se desee. Para ello se ha seleccionado un módulo de Young máximo de  $0,5 \text{ GPa}$ . Otra de las condiciones de





servicio más importantes es la resistencia a la corrosión, ya que el material se encuentra en contacto con agua en todo momento. Al ser un material que se va a manipular continuamente, se requiere que sea un material resistente y con buenas características al impacto. Además, el material tiene que resistir una temperatura de servicio máxima de 70-80°C, ya que el fluido caliente alcanzará dichas temperaturas. Finalmente, se han eliminado materiales por su precio, ya que entre los que cumplen las características planteadas se busca el más económico, con un precio inferior a 1,5 EUR/kg. De modo que el mejor material para dicha aplicación es el PE-LD, polietileno de baja densidad. Este material es muy usado en tuberías, principalmente por su resistencia, su baja densidad y su precio.

## 4.6 Componentes

### 4.6.1 Rueda giratoria con freno

Como bien se ha comentado, el peso de la estructura es de 61 kg. Y a eso hay que añadirle el peso de los intercambiadores, los cuales pesan 4 kg cada uno y todos los componentes. Por ello es necesario instalar 4 ruedas giratorias con freno en la parte inferior para poder desplazar la estación con facilidad. La rueda seleccionada es la Rueda giratoria con freno Tente RS 458-9743 (RS Components, 2021). Las ruedas, con un bloqueo total, de 75 mm de diámetro son capaces de soportar una carga de 75 kg cada una. Haciendo una capacidad de carga total de la estructura de 300 kg. Se ha seleccionado dicha rueda para que pueda soportar los 100 kg los de la estructura y los 200 kg de seguridad que se ha escogido a soportar para que no se lleguen a producirse deformaciones permanentes.

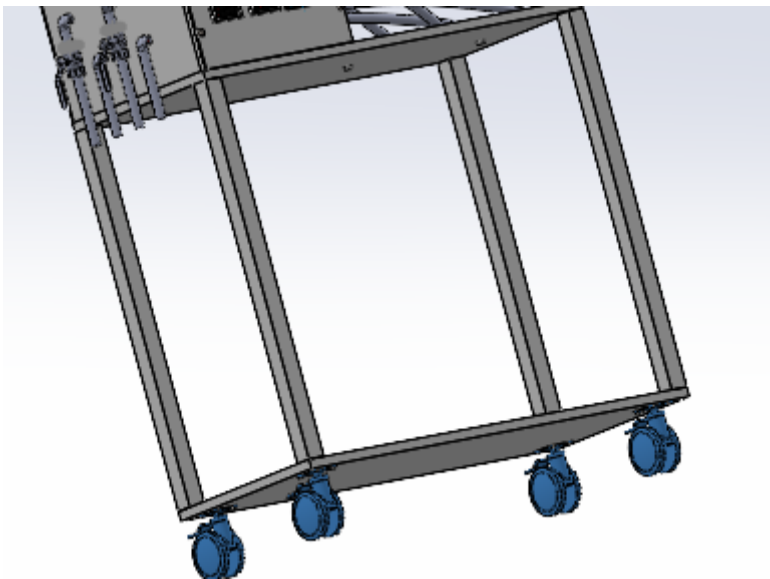


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI



*Ilustración 29. Rueda giratoria con freno Tente (RS Components, 2021)*



*Ilustración 30. Rueda giratoria SolidWorks*

#### 4.6.2 Caudalímetro

Uno de los parámetros más importantes a la hora del cálculo de intercambiadores de calor es el caudal, de modo que se necesita instalar un caudalímetro a la entrada del intercambiador del conducto frío y otro en la entrada del conducto caliente para detectar dicho valor.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

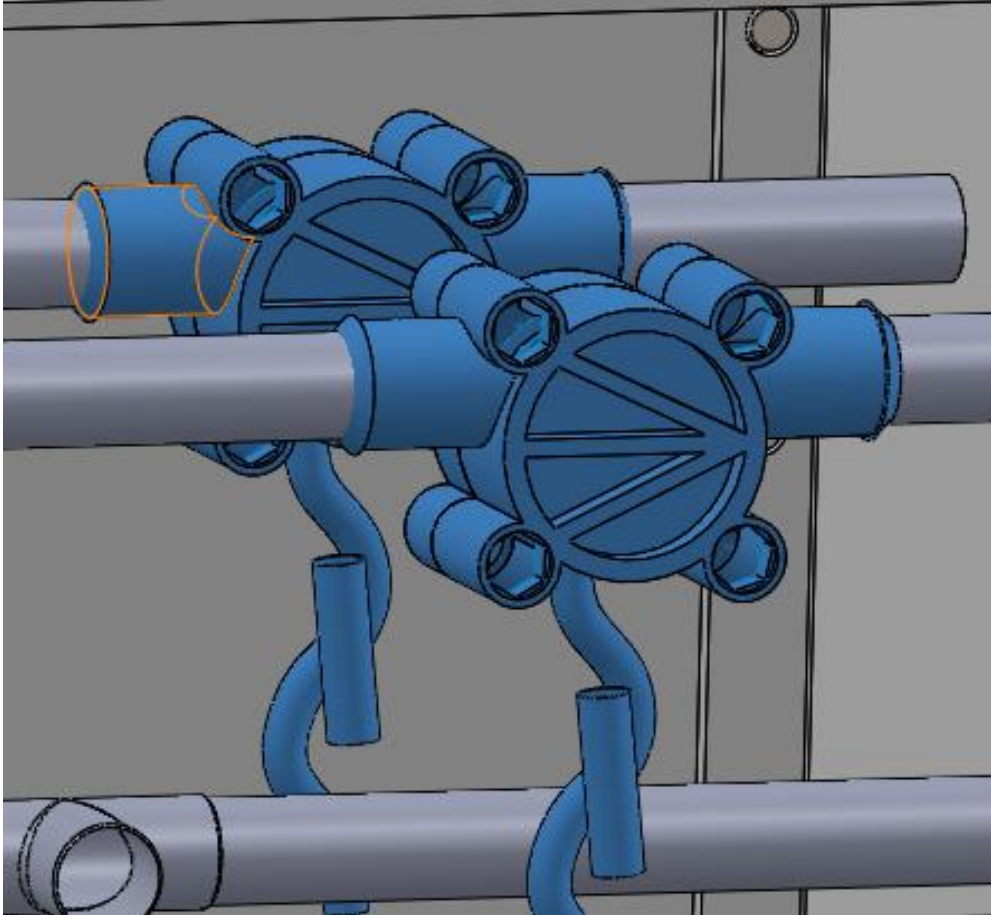
El caudalímetro seleccionado es el 800-Series NSF Approved Turbine Flow Meter (TITAN FLOW METERS, 2021), el cual ofrece 6 rangos de caudal de 0,05 a 15 L/min; trabaja con una alimentación de 4,5 a 24 V CC; y con una temperatura en servicio de -25°C a 125°C.



*Ilustración 31. Diseño en SolidWorks 800 Series Flowmeter (TITAN FLOW METERS, 2021)*

El caudalímetro genera una señal eléctrica que se necesita transformar en un valor numérico para conocer el caudal circulante. Para ello es necesario conectarlo a un indicador de flujo con el mismo régimen. La salida del 800 Series Flowmeter es un flujo de pulsos NPN/PNP, pudiendo trabajar en ambos.

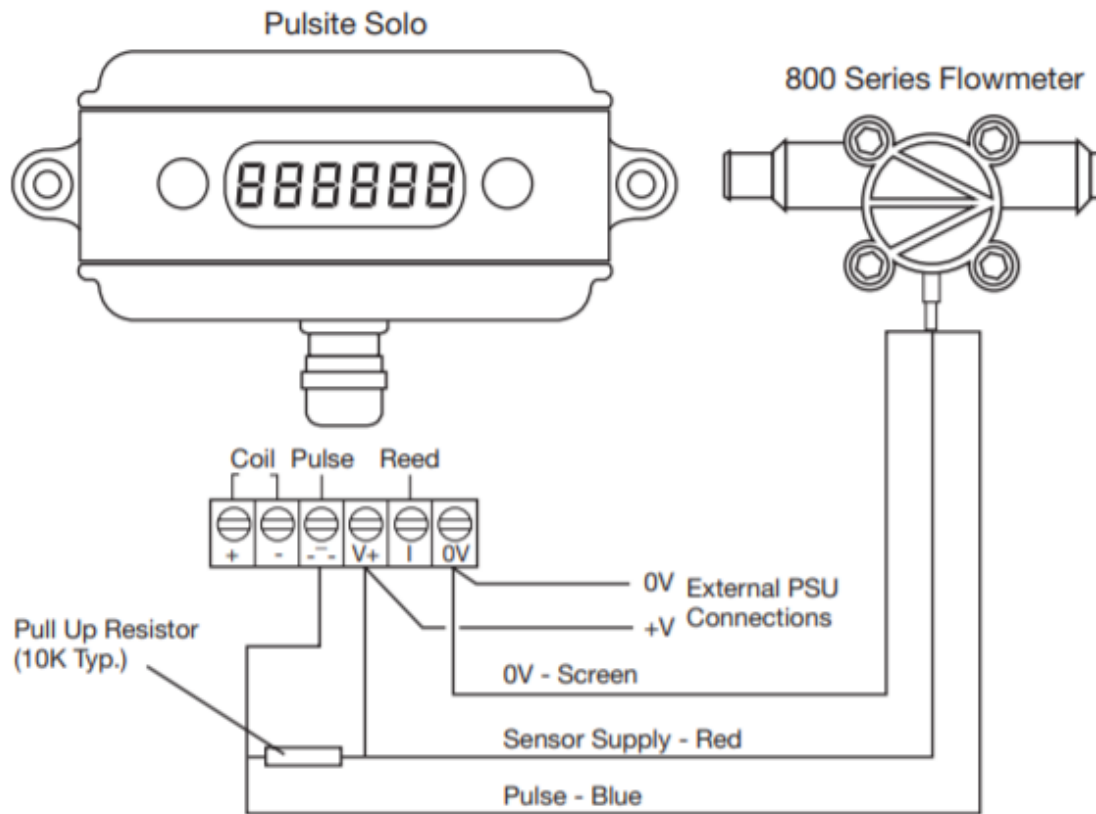
Se ha seleccionado dicho caudalímetro por su bajo coste y su sencillo montaje.



*Ilustración 32. Caudalímetro SolidWorks*

#### 4.6.3 Indicador de flujo

El indicador de flujo seleccionado es el Pulsite Solo - Rate and Total Flow Meteres. Ha sido seleccionado por ser uno de los más versátiles del mercado y ser capaz de conectar con el caudalímetro 800 Series Flowmeter, ya que el lector lee en el mismo régimen, el cual tiene un transistor de entrada NPN/PNP.



*Ilustración 33. Conexión del 800 Serie Flowmeter con el Pulsite Solo (TITAN FLOW METERS, 2019)*

El indicador Pulsite Solo (TITAN FLOW METERS, 2019) de 96x48 mm dispone de una pantalla LCD de 6 dígitos y una alimentación de 5 a 24 V CC con batería extraíble. El medidor toma frecuencias desde corriente continua, donde la frecuencia es cero, hasta los 2 KHZ. El indicador ha sido diseñado y fabricado según la normativa ISO 9001.



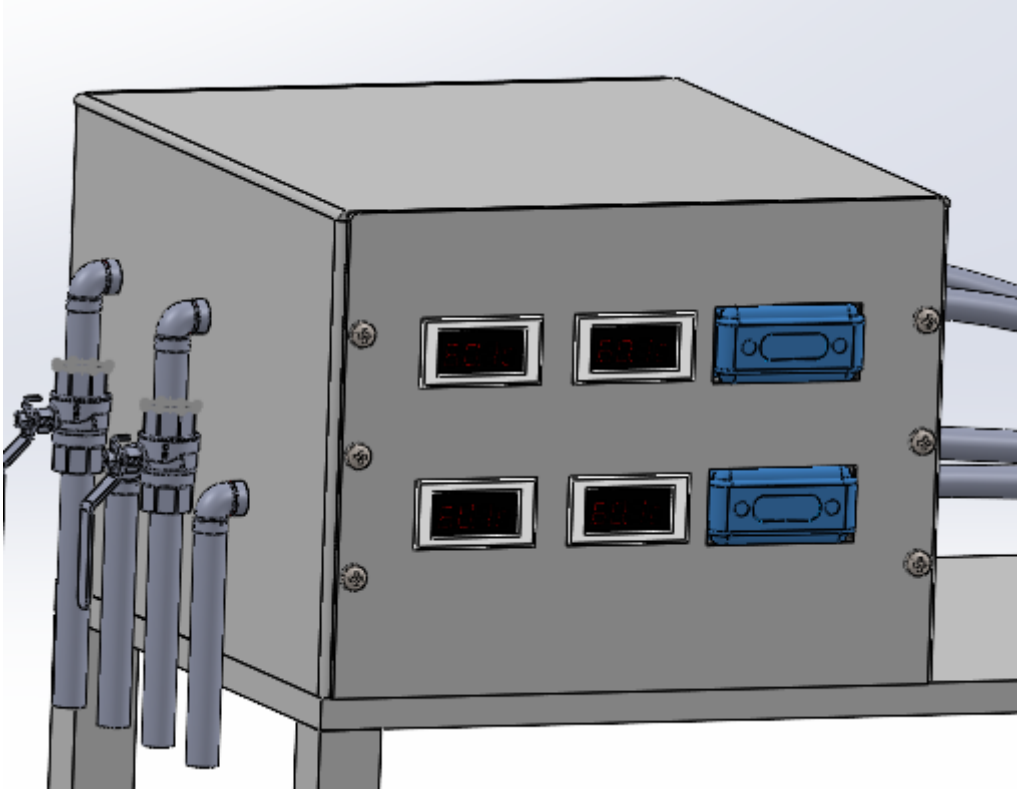
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI



*Ilustración 34. Diseño en SolidWorks Pulsite Solo*

Su funcionamiento es simple, ya que solo dispone de dos botones con indicaciones en pantalla en inglés. El botón izquierdo alterna entre el caudal total y el caudal pasante en ese momento; y el botón de la derecha restablece el recuento. Si se mantienen los 2 botones por 4 segundos se accederá en el modo de programación; donde hay varios menús; con el botón izquierdo se cambia de menú y con el derecho se modifica. Entre los distintos modos se encuentra modificar las unidades a las que se desee trabajar o auto calibrar el equipo. No obstante, al trabajar siempre con agua y con caudales muy parejos, estos ajustes no será necesario modificarlos.



*Ilustración 35. Indicador de flujo SolidWorks*

#### 4.6.4 Indicador de temperatura

El indicador de temperatura es un componente electrónico fundamental para el cálculo de intercambiadores de calor. En el presente proyecto se van a utilizar cuatro sensores de temperatura. Dos de los indicadores se encuentran en la entrada, tanto del fluido frío como del fluido caliente; y otros dos en los conductos de las salidas.

El sensor de temperatura seleccionado es el Indicador de temperatura RS PRO (RS Components, 2021), el cual tiene unas dimensiones de 77 mm x 35 mm, un rango de funcionamiento del sensor de  $-60^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$  con una precisión de  $0,1^{\circ}\text{C}$ , una tensión de alimentación de 230 V ac, y una entrada termopar de tipo K. Este indicador de superficie se coloca sobre el hueco en el panel mediante dos pinzas que lo mantienen sujeto.

Se ha seleccionado dicho indicador por su sencillo funcionamiento y configuración, además de ser uno de los más destacados por su calidad y su precio.





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

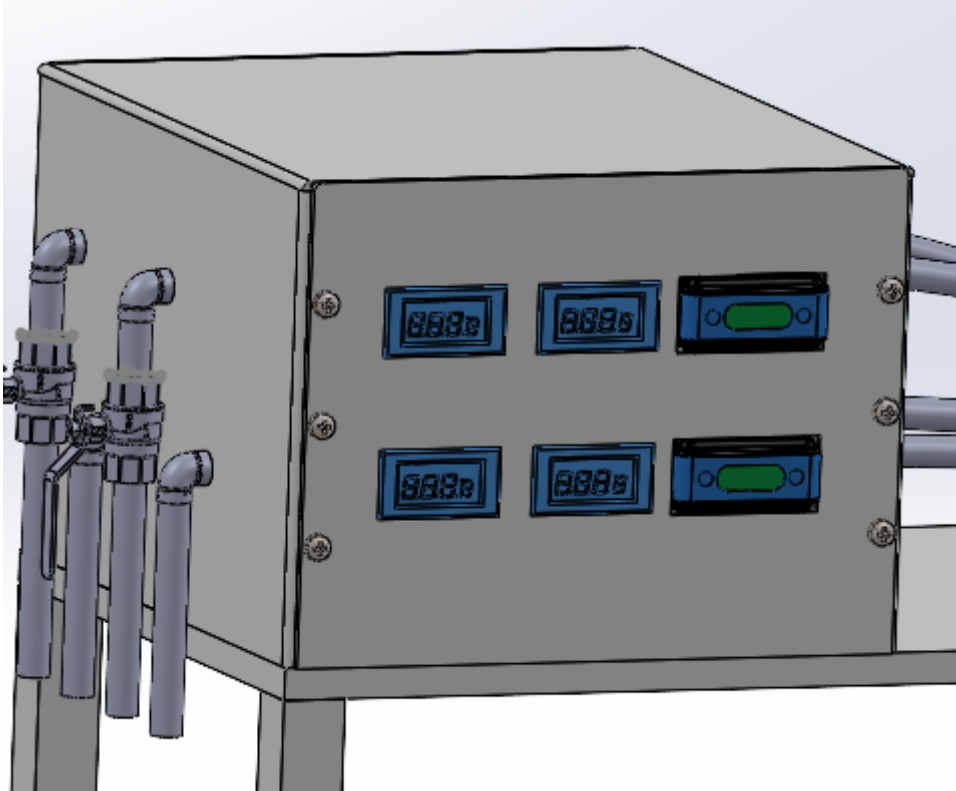
CAMPUS D'ALCOI

Respecto al funcionamiento es bastante sencillo. El aparato dispone de diversos modos, los cuales se utilizan para determinar el rango de temperatura máximo y mínimo al que se va a trabajar, determinar si se desea punto decimal o establecer las unidades en las que se desee ver los valores, °F o °C.



*Ilustración 36. Indicador de temperatura RS PRO (RS Components, 2021)*





*Il·lustració 37. Indicador de temperatura SolidWorks*

#### 4.6.5 Sensor de temperatura

Una vez seleccionado el indicador de temperatura, se requiere de un sensor que le enviará la señal detectada en el fluido. El sensor seleccionado es la Sonda de temperatura de Líquido tipo NTC RS PRO (RS Components, 2021). El sensor muestra la temperatura mediante sensores NTC, y consiste de un cable de 1'5 m que dispone de una medición de hasta los 150°C, con una precisión de 0,5°C.

La sonda de temperatura tipo NTC (coeficiente de temperatura negativo) produce una tensión que aumenta con la temperatura y la envía al indicador para ser procesada.

Se ha seleccionado dicho sensor por su gran calidad y precisión a la hora de trabajar a pesar de su bajo coste.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI



*Ilustración 38. Sonda de temperatura de Líquido tipo NTC RS PRO (RS Components, 2021)*

#### 4.6.6 Válvula de corte

La válvula seleccionada es la Válvula de bola de alta presión, RS PRO, Acero inoxidable 1/2plg (RS PRO, 2021). Se ha seleccionado dicha válvula por su gran calidad y su bajo coste. La válvula de bola 2 vías se caracteriza por su mecanismo regulador con forma de esfera. Su función principal es regular el flujo del agua con una presión de funcionamiento máxima de 68 bar y un rango de temperatura de  $-20$  a  $200^{\circ}\text{C}$ .

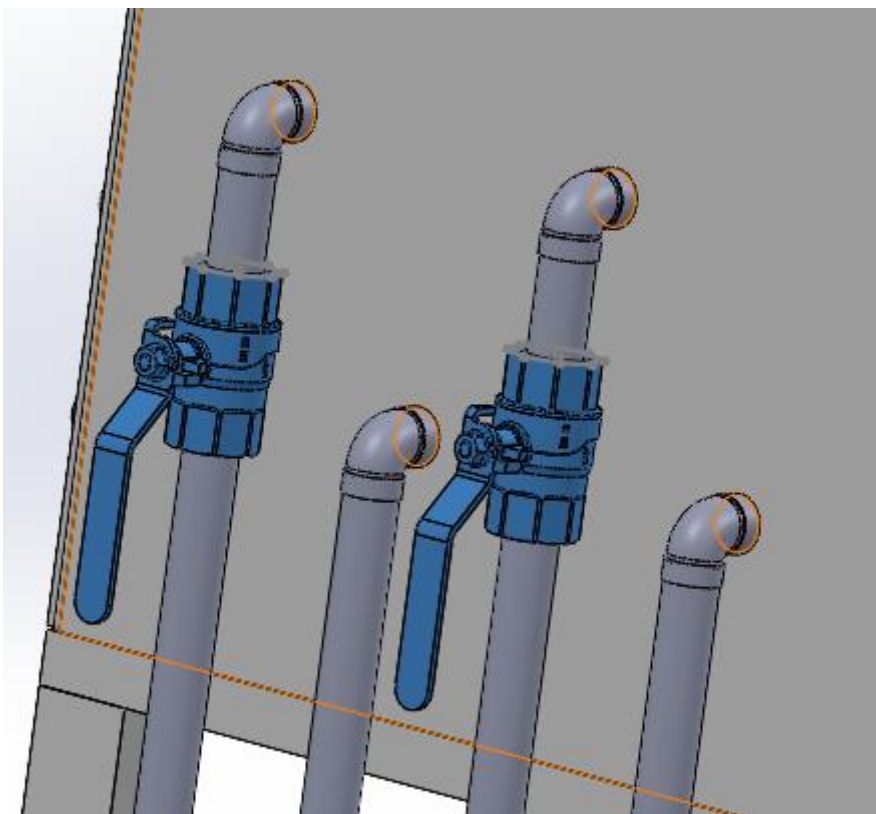


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI



*Il·lustració 39. Válvula de bola de alta presión, RS PRO (RS PRO, 2021)*

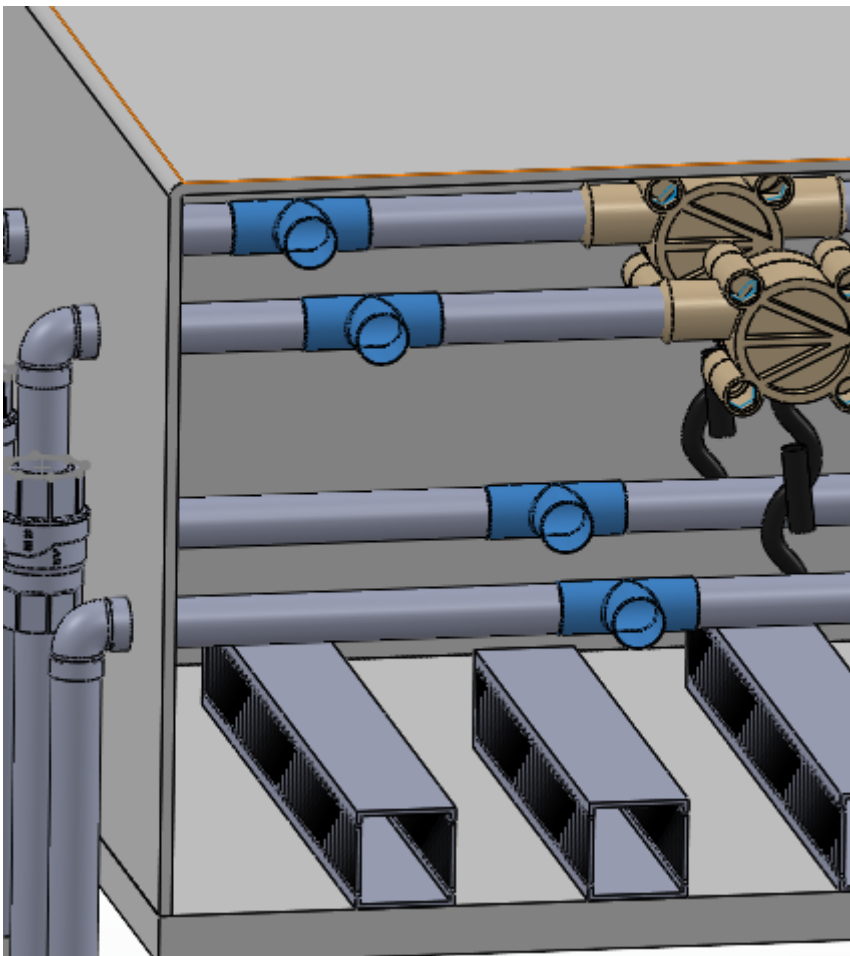


*Il·lustración 40. Válvula de corte SolidWorks.*



#### 4.6.7 Tee

Para conectar el sensor de temperatura con el fluido se instala una tubería de tipo T entre la tubería que conduce el fluido. Con esto se consigue dividir el flujo en dos. El flujo entra por el primer ramal, en el segundo se instala un tapón con el caudalímetro y en el tercer ramal, la salida del fluido hacia el intercambiador.



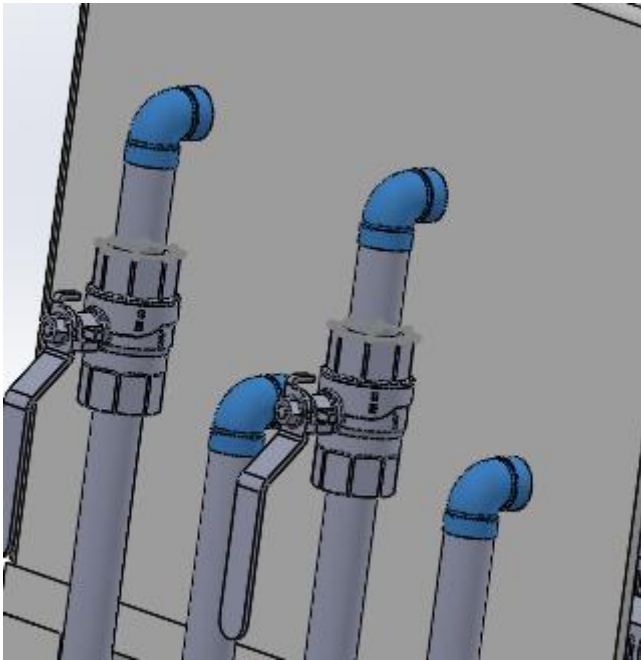
*Ilustración 41. Tee SolidWorks*

#### 4.6.8 Codo a 90°

La tubería de entrada se coloca verticalmente al lado de la estructura para que la instalación de la válvula sea lo más ceñida posible. Para ello al final de esto se necesita



un codo para realizar un cambio de dirección de 90°, para conectar con la tubería que atraviesa la caja.

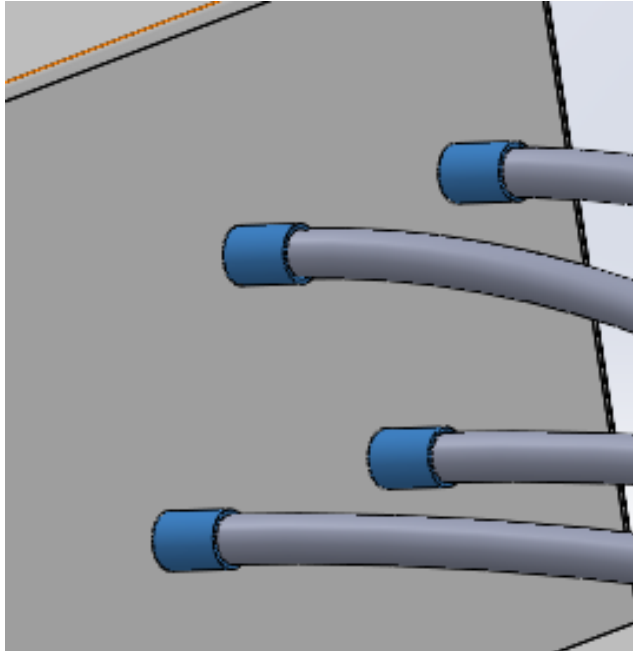


*Ilustración 42. Codos 90° SolidWorks*

#### 4.6.9 Coples y niples

Para unir los tubos de CPVC, que pasan por dentro de la caja, con los tubos de PE-LD, externos a la caja que conectan al intercambiador, se necesita un cople.

Los coples son usados para la unión de tubo con tubo, como es en este caso. Por el contrario, el niple se utiliza para unir accesorios, ya sean los codos o las Tees. En el presente proyecto se utilizan solamente 4 coples para dichas conexiones ya que tanto el codo como el Tee van conectados a la tubería directamente.



*Ilustración 43. Coples SolidWorks*

#### 4.6.10 Conexiones rápidas con el intercambiador

Para asegurar un rápido y seguro acople entre el banco y el intercambiador se precisa de un acoplamiento de conexión rápida macho hembra, ambos fabricados de acero con chapado de zinc para lograr una gran resistencia a la corrosión, pudiendo trabajar en un rango de temperaturas de  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$  y logrando conectar entre ellos de forma excelente, garantizando una gran estanqueidad. (RS PRO, 2021)

A pesar de su bajo coste, se han seleccionado dichos acoplamientos hidráulicos de conexión rápida porque permiten liberar rápidamente las conexiones y evita fugas por un sistema que desconecta el flujo del líquido al instante.



*Ilustración 44. Acoplamientos de conexión rápida hidráulico RS PRO, macho y hembra (RS PRO, 2021)*

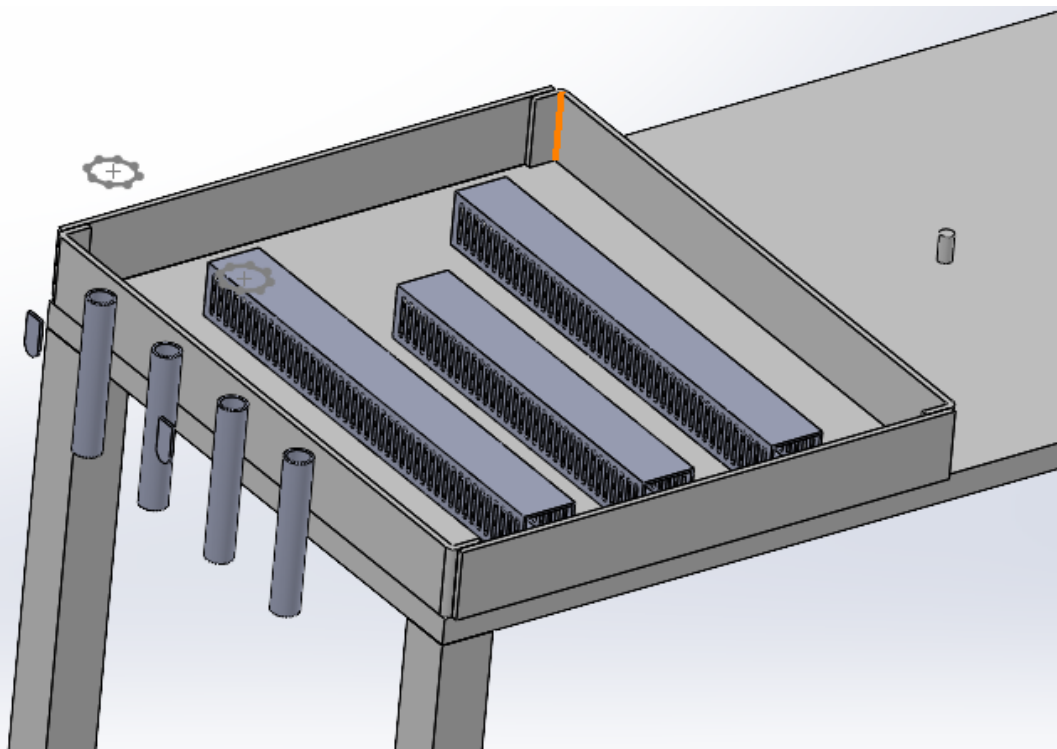
#### 4.6.11 Canalización de cables

Para que los cables en el interior de la estación se repartan de manera ordenada y evitar que se enrollen libremente es necesario utilizar una canaleta. La canaleta seleccionada es la Canalización de cables RS PRO (RS PRO, 2021) de PVC, por ser un material aislante, con gran resistencia a impactos y durabilidad y muy económico, con orificios laterales para facilitar la inserción o eliminación de los cables en cualquier punto. Se ha seleccionado el artículo 879-3725, ya que es la de menor tamaño y la necesaria para nuestra aplicación. Tiene unas dimensiones de 40mm de alto, 40mm de ancho y un metro de longitud, el cual es cortado en 3 partes para todas las necesidades. La primera parte tendrá una longitud de 36 cm, por donde circula la sonda de temperatura y conecta el indicador de temperatura con los tubos de entrada. La segunda parte, de 28 cm, donde conecta el indicador de temperatura con los tubos de salida. Y finalmente, la última parte, de 36 cm, que conecta el indicador de flujo con el caudalímetro.





*Ilustración 45. Canalización de cables RS PRO (RS Components, 2021)*



*Ilustración 46. Canalización de cables SolidWorks*





## 5. Presupuesto

Para realizar el cálculo del presupuesto de la estructura se ha utilizado la herramienta Costing en SolidWorks. La cual calcula el precio de la pieza respecto a su material y, además, el precio de su mecanización.

<i>Concepto</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio por unidad (€)</i>	<i>Precio total (€)</i>
<i>Chapa trasera</i>	1	9,28	9,28
<i>Chapa delantera</i>	1	12,46	12,46
<i>Chapa plegada</i>	1	38,94	38,94
<i>Tabla</i>	2	54,02	108,04
<i>Pata</i>	4	14,04	56,16

Tabla 1. Coste de la estructura y fabricación

Respecto a los componentes utilizado se ha seleccionado el precio actual de su compra de la página web RS online.

<i>Concepto</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio por unidad (€)</i>	<i>Precio total (€)</i>
<i>Indicador de temperatura</i>	4	68,57	274,28
<i>Sonda de temperatura</i>	4	18,48	73,92
<i>Indicador de flujo</i>	2	218,01	436,02
<i>Caudalímetro</i>	2	43,72	87,44
<i>Acoplamiento de conexión hembra</i>	4	15,03	60,12
<i>Acoplamiento de conexión macho</i>	4	6,05	24,2
<i>Válvula de corte</i>	2	37,55	75,1



Canalización de cables	1	7,86	7,86
------------------------	---	------	------

Tabla 2. Coste de los componentes

Para el sistema de tuberías, la suma de todos los tubos tanto de CPVC como de PE-HD está entre los 2-3 metros de longitud de modo que se compra uno de 3 metros y se corta posteriormente para su montaje.

Concepto	Unidades	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Tee	4	2,26	9,04
Codo 90°	4	0,97	3,88
Tubo CPVC 1/2" de 3m	1	47	47
Tubo PE-HD 1/2" de 3m	1	21,90	21,90

Tabla 3. Coste de tubos.

Esta es la parte que más recursos necesita ya que han sido muchas horas invertidas en este proyecto. Se estima que el coste por hora trabajada del estudiante es de 20€ y para el profesor tutor de 40€. El tiempo para la realización del proyecto ha sido de 320 horas con varias reuniones con el tutor con una duración total aproximada de 10 horas.

Concepto	Horas (h)	Precio por hora (€/h)	Precio total (€)
Coste laboral alumno	320	20	6400
Coste laboral tutor	10	40	400
Operario cualificado para el montaje	3	60	240
Transporte	-	-	50

Tabla 4. Coste de mano de obra



Para la elaboración del proyecto se han utilizado distintas aplicaciones en el ordenador, las cuales requieren licencia.

El tiempo de duración del proyecto ha sido de 4 meses.

<i>Concepto</i>	<i>Precio licencia (€)</i>	<i>Periodo de 4 meses</i>	<i>Precio total (€)</i>
<i>Licencia SolidWorks Standard</i>	6600	2200	2200
<i>Licencia CES Edupack</i>	30	10	10
<i>Licencia Microsoft Office</i>	69	23	23

Tabla 5. Coste de equipos.

Finalmente, se calcula el coste total del proyecto e instalación.

<i>Concepto</i>	<i>Total (€)</i>
<i>Coste estructura y fabricación</i>	224,88
<i>Coste de los componentes</i>	1038,94
<i>Coste de tubos</i>	81,82
<i>Coste mano de obra</i>	7090
<i>Coste de equipos</i>	2233
<i>Coste total</i>	10668,64

Tabla 6. Coste total



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

## 6. Conclusiones

Como conclusiones del proyecto hay que añadir que todos los objetivos planteados han sido cumplidos en su totalidad.

Para el desarrollo de este proyecto se ha conseguido identificar los parámetros más importantes para resolver las ecuaciones que caracterizan el intercambiador de calor. Estos son el caudal de entrada y las temperaturas de entrada y salida del intercambiador. En función dichos parámetros, se ha realizado el diseño de una estructura de aleación de aluminio 6061 fabricada por mecanizado, cumpliendo la normativa UNE-EN 13150. Además, de una selección de los diferentes elementos que conforman el montaje. Este diseño tiene en cuenta el área de trabajo y la zona que envuelve los distintos componentes y conductos del agua de la instalación.

Finalmente, se ha calculado el presupuesto del proyecto, el cual presenta un coste de 10668,64€.



## 7. Referencias

- Alfa de Occidente. (2021). *Alfa de Occidente*. Obtenido de Alfa de Occidente: <https://alfadeoccidente.mx/seccion/?p=32>
- arvengtraining. (10 de Octubre de 2015). *Arveng Training y Engineering*. Obtenido de Arveng Training y Engineering: <https://arvengtraining.com/fundamentos-de-intercambiadores-de-ct/>
- Froztec. (18 de Julio de 2018). *Froztec International Inc*. Obtenido de Froztec: <https://blog.froztec.com/como-opera-un-intercambiador-de-calor-alfa-laval-alfanova>
- GRANTA CES Edupack. (2020). *Granta Design Limited, a subsidiary of ANSYS, Inc*. Obtenido de GRANTA CES Edupack.
- GUNT HAMBURG. (05 de 2018). *G.U.N.T Gerätebau GmbH, Hanskampring*. Obtenido de GUNT HAMBURG: <https://www.gunt.de/es/productos/ingenieria-termica/cambiadores-de-calor/recuperadores/cambiador-de-calor-de-tubos-concentricos/060.11001/w1110-01/glct-1:pa-150:ca-96:pr-1458>
- GUNT HAMBURG. (05 de 2018). *G.U.N.T Gerätebau GmbH, Hanskampring*. Obtenido de GUNT HAMBURG: <https://www.gunt.de/es/productos/ingenieria-termica/cambiadores-de-calor/recuperadores/cambiador-de-calor-de-tubos-concentricos/060.11001/w1110-01/glct-1:pa-150:ca-96:pr-1458>
- JCN. (2020). *J. NEGRE C., S.L*. Obtenido de J. NEGRE C.: <https://jnegre.com/producto/intercambiador-en-espinal/>
- Juan, D. S. (31 de Octubre de 2016). *Cero Grados Celsius*. Obtenido de Cero Grados: <https://0grados.com.mx/gran-clasico-torres-enfriamiento/>
- RS Components. (2021). *Amidata S.A.U*. Obtenido de RS Components: <https://es.rs-online.com/web/p/ruedas-industriales/4589743/>
- RS Components. (2021). *Amidata S.A.U*. Obtenido de RS Components: <https://docs.rs-online.com/6919/0900766b81549713.pdf>
- RS Components. (2021). *Amidata S.A.U*. Obtenido de RS Components: <https://es.rs-online.com/web/p/sondas-de-temperatura/1241081/>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

- RS PRO. (2021). *Amidata S.A.U.* Obtenido de RS PRO: <https://es.rs-online.com/web/p/valvulas-de-bola-manuales/4992795/>
- RS PRO. (2021). *Amidata S.A.U.* Obtenido de RS PRO: <https://es.rs-online.com/web/p/enchufes-rapidos-hidraulicos/7454693>
- RS PRO. (2021). *Amidata S.A.U.* Obtenido de RS PRO: <https://es.rs-online.com/web/p/canalizaciones-para-cables/8793725/>
- SACOME. (26 de Septiembre de 2019). *SACOME Compañía Española de Compensadores S.A.* Obtenido de Sacome: <https://www.sacome.com/intercambiadores-calor-doble-tubo/>
- Soutullo, R. G. (2020). *Ingeniero marino.* Obtenido de Ingeniero marino: <https://ingenieromarino.com/intercambiadores-de-calor/>
- TITAN FLOW METERS. (01 de 2019). *Titan Enterprises Ltd.* Obtenido de TITAN FLOW METERS: <https://www.flowmeters.co.uk/pulsite-solo-rate-totalising-flow-meter-battery-powered-digital-rate-and-total-indicator/>
- TITAN FLOW METERS. (03 de 2021). *Titan Enterprises Ltd.* Obtenido de TITAN FLOW METERS: <https://www.flowmeters.co.uk/turbine-flow-meters-titan-800-series-turbine-flow-measurement-ideal-oem-flow-meters/>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

## 8. Planos

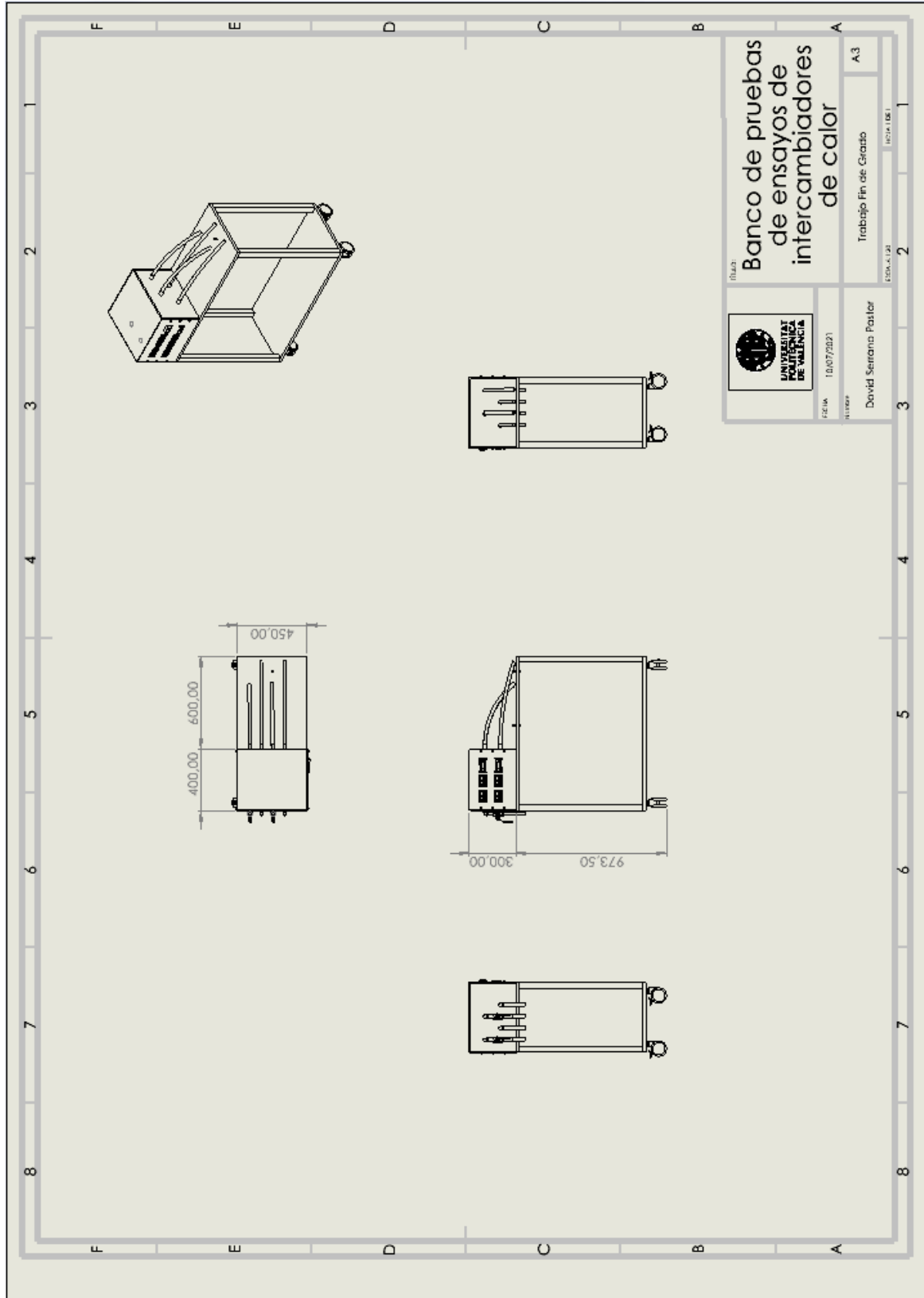
Los planos han sido diseñados según la norma DIN 476, equivalente al de la norma internacional ISO 216.

Respecto a las tolerancias se han buscado tolerancias que cumplan con la normativa UNE-EN 13150 del diseño de la estructura y no sean excesivamente altas, ya que para dicha aplicación las tolerancias no son una prioridad.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

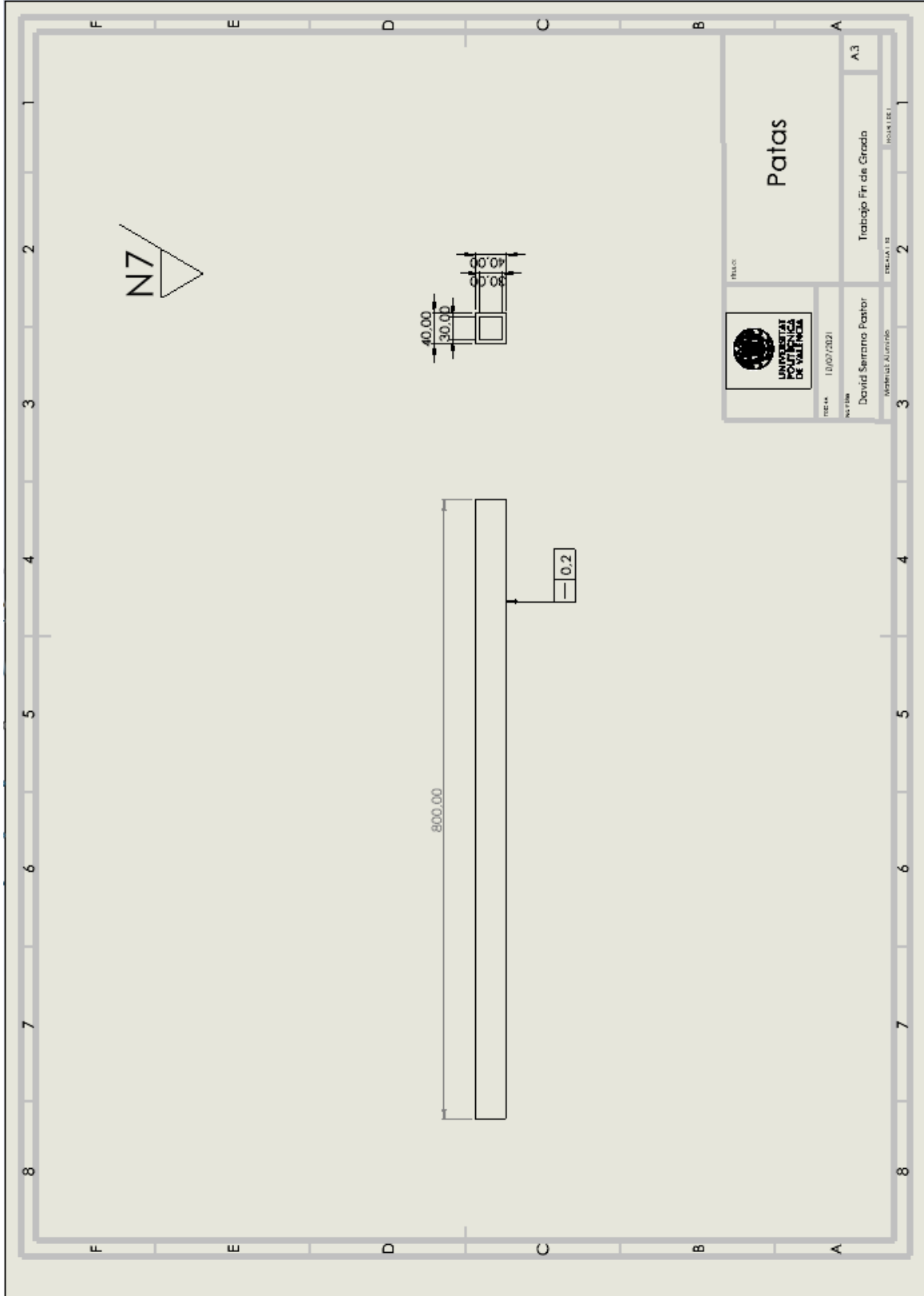






UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

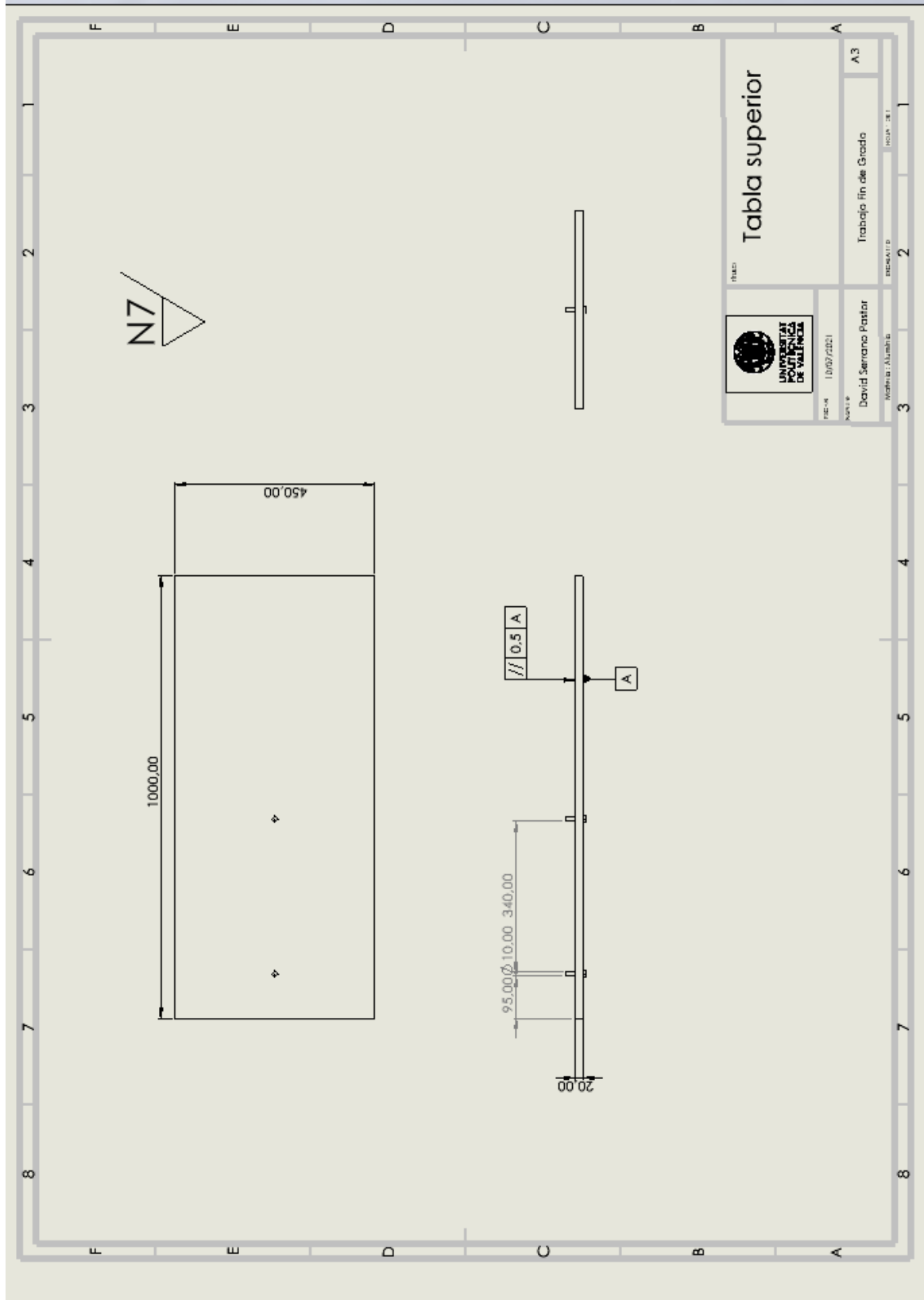
CAMPUS D'ALCOI





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

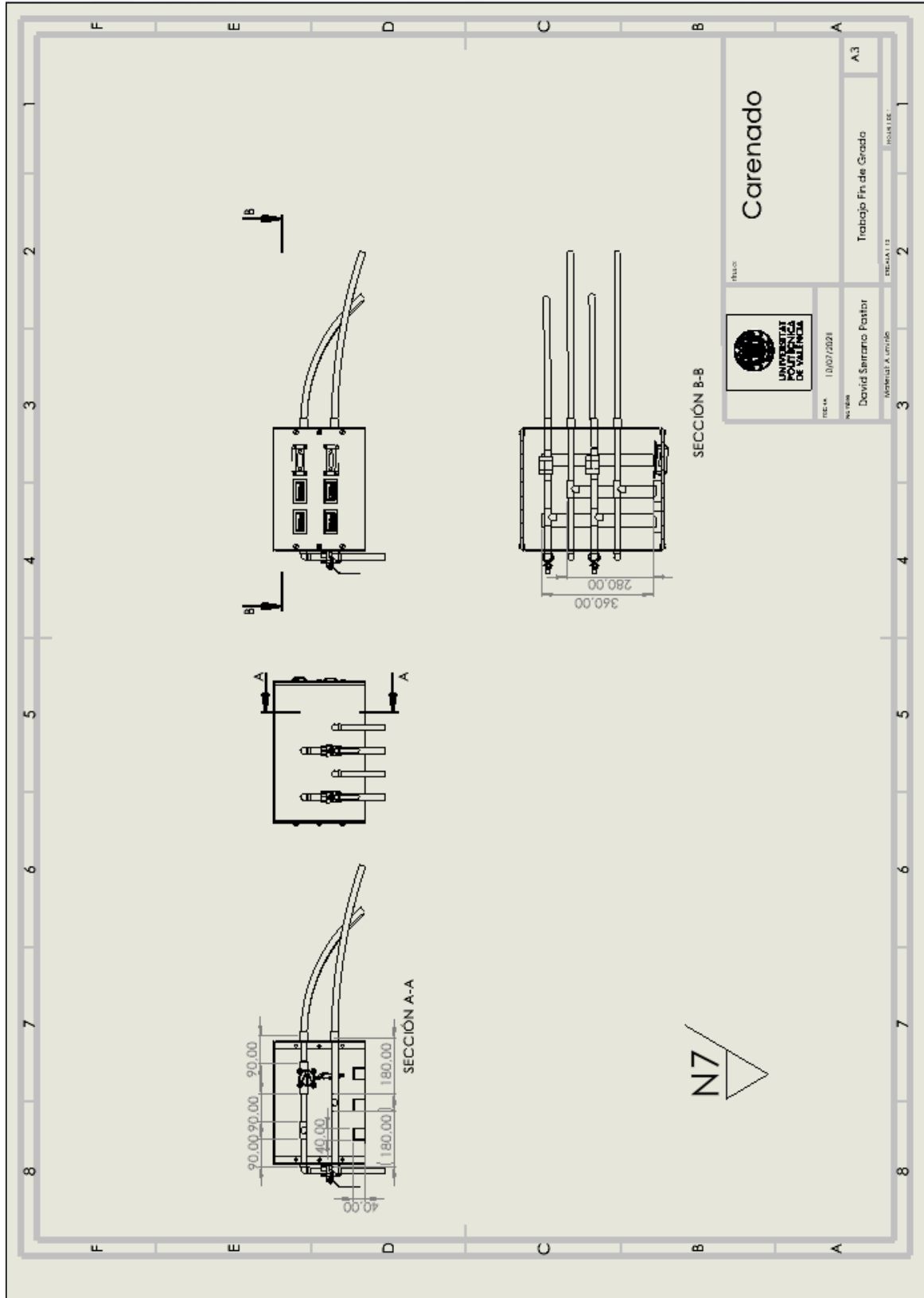
CAMPUS D'ALCOI





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

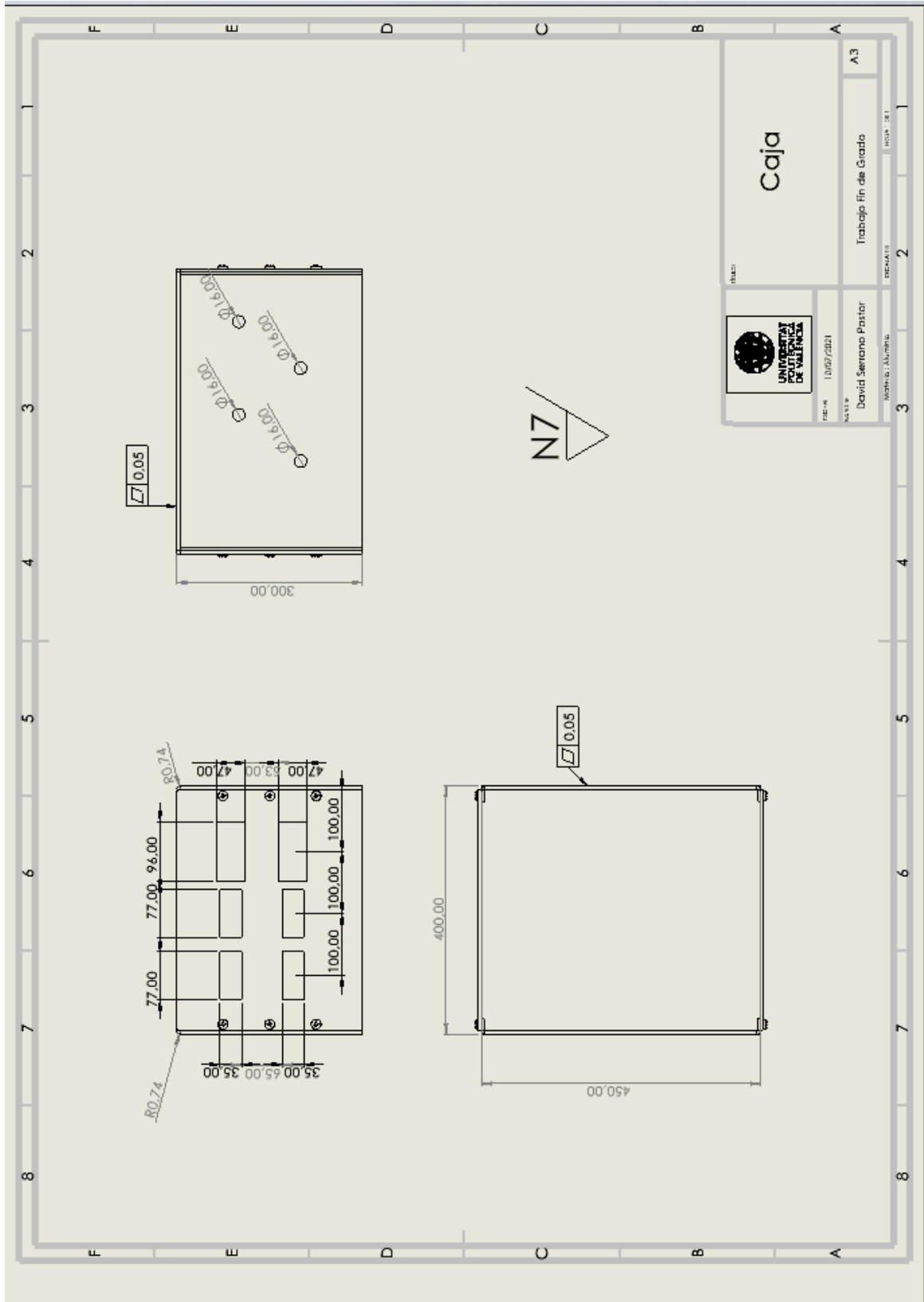
CAMPUS D'ALCOI





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI





## ANEXO I

### Estudio de materiales

En el anexo 1 se va a mostrar el estudio realizado con la aplicación GRANTA CES Educpack 2020 para seleccionar el mejor material para nuestra aplicación.

Primero se va a mostrar el estudio realizado para la selección del mejor material para los tubos internos.

The screenshot displays the GRANTA CES Educpack 2020 software interface. The main window is titled 'Proyecto de selección' and shows a list of materials on the left and a detailed property view on the right. The 'Price' property is highlighted, showing a maximum value of 2,5 EUR/kg. The interface also includes a search bar, a navigation menu, and a list of materials to be selected.

**1. Datos para la selección**  
Base de datos: Level 3  
Seleccionar de: Personalizado: MaterialUniverse

**2. Etapas de selección**  
Gráfico/Índice | Limite | Árbol  
 Etapa 1: Price  
 Etapa 2: Young's modulus  
 Etapa 3: Water (fresh)  
 Etapa 4: Thermal conductivity  
 Etapa 5: Maximum service temperature

**3. Resultados: pasan 1631 de 4162**  
Mostrar por: Fasan todas las etapas  
Clasificar por: Orden alfabético

**Price**  
Mínimo: [ ] Máximo: 2,5 EUR/kg  
Price per unit volume: [ ] EUR/m<sup>3</sup>

**Physical properties**  
Mechanical properties  
Impact & fracture properties  
Thermal properties  
Electrical properties  
Magnetic properties  
Optical, aesthetic and acoustic properties  
Critical materials risk  
Processing properties  
Durability  
Primary production energy, CO2 and water  
Processing energy, CO2 footprint & water  
Recycling and end of life

En la aplicación Granta CES Educpack 2020, donde se ha realizado el estudio, se ha seleccionado un precio máximo de 2,5 EUR/kg para los tubos, ya que su única función es hacer pasar el fluido y se va a intentar buscar un material que cumpla todas las condiciones de contorno con el mínimo precio posible. Como se puede apreciar pasamos de tener 4162 materiales a 1631.



	Mínimo	Máximo	
Young's modulus	3		GPa
Specific stiffness			MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)			MPa
Tensile strength			MPa
Specific strength			kN.m/kg
Elongation			% strain
Compressive strength			MPa
Flexural modulus			GPa
Flexural strength (modulus of rupture)			MPa
Shear modulus			GPa
Bulk modulus			GPa
Poisson's ratio			
Shape factor			
Hardness - Vickers			HV
Elastic stored energy (springs)			kJ/m <sup>3</sup>
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles			MPa

La siguiente condición de contorno es que sea un material rígido, para evitar posibles deformaciones. Al ser el agua la única fuerza que soportará el tubo se ha seleccionado un módulo de Young de 3 GPa. Con dicha característica eliminamos más de 350 materiales los cuales presentan un bajo módulo de Young y por lo tanto se deforman con poca fuerza aplicada.

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	
Weak acids	
Strong acids	
Weak alkalis	
Strong alkalis	
Organic solvents	
Oxidation at 500C	
UV radiation (sunlight)	
Galling resistance (adhesive wear)	
Flammability	
Primary production energy, CO2 and water	
Processing energy, CO2 footprint & water	
Recycling and end of life	

Para el estudio, la siguiente condición es la resistencia a la corrosión, ya que al estar en



continuo contacto con el agua no queremos que se llegue a oxidar. Esta característica es de las más importantes, eliminamos prácticamente más de la mitad de los materiales que nos quedaban.

The screenshot shows a software interface for material selection. The main window is titled 'Thermal conductivity' and displays a list of materials. The 'Thermal conductivity' property is highlighted, showing a value of 0.15 W/m·°C. The interface includes a search bar, a list of materials, and a table of properties.

Property	Minimo	Máximo	Unit
Melting point			°C
Glass temperature			°C
Maximum service temperature			°C
Minimum service temperature			°C
Thermal conductivity		0.15	W/m·°C
Specific heat capacity			J/kg·°C
Thermal expansion coefficient			µstrain/°C
Thermal shock resistance			°C
Thermal distortion resistance			MW/m

Por último, como queremos un material que consiga que el agua pierda la mínima temperatura para asegurar el correcto cálculo de intercambiadores necesitamos un material que presente baja conductividad térmica. Para ello se ha establecido una conductividad térmica máxima de 0,15 W/m°C.

Entre los materiales que nos ofrece como mejor alternativa observamos que está el PVC rígido, que es uno de los más utilizados en tuberías.



The screenshot shows the Material Universe software interface. The main window is titled 'Maximum service temperature'. On the left, there are three panels: '1. Datos para la selección' (Base de datos: Level 3), '2. Etapas de selección' (Gráfico/Índice, Limite, Árbol), and '3. Resultados: pasan 4 de 4162'. The '3. Resultados' panel shows a list of materials: PVC (chlorinated, molding and extru...), SAN (molding and extrusion), SMMA (clarity, stiffness), and SMMA (ethyl acrylate terpolymer). The main panel on the right shows a list of properties with input fields for 'Mínimo' and 'Máximo' values. The 'Maximum service temperature' property is highlighted with a value of 80 in the 'Mínimo' field. Other properties include Melting point, Glass temperature, Minimum service temperature, Thermal conductivity, Specific heat capacity, Thermal expansion coefficient, Thermal shock resistance, Thermal distortion resistance, Electrical properties, Magnetic properties, Optical, aesthetic and acoustic properties, Critical materials risk, and Processing properties.

No obstante, hay que añadir una última condición: la temperatura mínima de servicio, ya que el agua caliente se encuentra entre los 70-80°C. Se podría colocar el PVC rígido para las tuberías de agua fría por ser un poco más económico. Sin embargo, como la diferencia es mínima, se ha decidido instalar todos los tubos del mismo material para que, en caso de error humano en la conexión, no llegue a presentar deformaciones permanentes.

Una vez finalizado el estudio, entre los materiales que cumplen las condiciones implementadas se ha seleccionado el CPVC por ser, entre ellos, el más comercial y vendido en este tipo de aplicaciones.

A continuación, se va a mostrar el estudio realizado para la selección del material de los tubos externos.





Projecto de selección

1. Datos para la selección

Base de datos: Nivel 3

Seleccionar de: MaterialUniverse: All materials

2. Etapas de selección

Gráfico/Índice Limitar Árbol

Etapa 1: Price

Etapa 2: Young's modulus

Etapa 3: Maximum service temperature

Etapa 4: Water (fresh)

Etapa 5: Yield strength (elastic limit)

Etapa 6: Fracture toughness

3. Resultados: pasan 923 de 4169

Mostrar: Pasan todas las etapas

Clasificar por: Orden alfabético

Nombre

- Aerated concrete
- Aformosa (1)
- Aformosa (2)
- Air melted magnetic iron
- Alberca (1)
- Alberca (2)
- Alder (alnus glutinosa) (1)
- Alder (alnus glutinosa) (2)
- Alder (alnus rubra) (1)
- Alder (alnus rubra) (2)
- Alloy steel, 90-1Mo, Grade F9
- Alumina (99%)
- Alumina (99%)(H880)
- Alumino silicate - 1720
- Alumino silicate - 1723
- Androba (1)
- Androba (2)
- Angelín (1)
- Angelín (2)
- Angelique (1)
- Angelique (2)
- Asbestos (amosite)(1)
- Asbestos (amosite)(2)

Price

Minimo Máximo

EUR/kg

EUR/m<sup>3</sup>

Price per unit volume

Physical properties

Mechanical properties

Impact & fracture properties

Thermal properties

Electrical properties

Magnetic properties

Optical, aesthetic and acoustic properties

Critical materials risk

Processing properties

Durability

Primary production energy, CO2 and water

Processing energy, CO2 footprint & water

Recycling and end of life

Igual que en el estudio anterior, la primera condición de servicio es el precio máximo. Con dicha condición conseguimos eliminar 3000 materiales, ya que interesa que sea lo más económico posible porque este material es fácil de intercambiar en caso de que llegue a romperse.

Projecto de selección

1. Datos para la selección

Base de datos: Nivel 3

Seleccionar de: MaterialUniverse: All materials

2. Etapas de selección

Gráfico/Índice Limitar Árbol

Etapa 1: Price

Etapa 2: Young's modulus

Etapa 3: Maximum service temperature

Etapa 4: Water (fresh)

Etapa 5: Yield strength (elastic limit)

Etapa 6: Fracture toughness

3. Resultados: pasan 39 de 4169

Mostrar: Pasan todas las etapas

Clasificar por: Orden alfabético

Nombre

- Aspen (populus grandidentata) (1)
- Aspen (populus tremuloides) (1)
- Basewood (1)
- Butadiene rubber (unreinforced)
- Butternut (1)
- Celba (1)
- Chlorinated polyethylene (unreinforced)
- Cottonwood (populus balsamifera) (1)
- Cottonwood (populus trichocarpa) (1)
- Cuangare (1)
- EBA (17-27% butyl acrylate)
- EVA (Shore A65, 33% vinyl acetate)
- EVA (Shore A65, 33% vinyl acetate)
- EVA (Shore A95/050, 12% vinyl acetate)
- Fir (abies balsamea) (1)
- Fir (abies concolor) (1)
- Fir (abies grandis) (1)
- Fir (abies lasiocarpa) (1)
- Fir (abies magnifica) (1)
- Fir (abies procera) (1)
- Insulation board, parallel to board
- Insulation board, perpendicular to board
- Natural rubber (unreinforced)

Young's modulus

Minimo Máximo

0,5 GPa

Specific stiffness MN/m/kg

Yield strength (elastic limit) MPa

Tensile strength MPa

Specific strength kN/m/kg

Elongation % strain

Compressive strength MPa

Flexural modulus GPa

Flexural strength (modulus of rupture) MPa

Shear modulus GPa

Bulk modulus GPa

Poisson's ratio

Shape factor

Hardness - Vickers HV

Elastic stored energy (springs) kJ/m<sup>3</sup>

Fatigue strength at 10<sup>7</sup> cycles MPa

La siguiente es el módulo de Young, ya que al tener que manipular dichos tubos para conectarlos a los distintos intercambiadores queremos que sea flexible. Por ello seleccionamos un máximo de 0,5 GPa, ya que con ejercer una fuerza de 1 N podemos moverlo 2 mm. Los materiales que cumplen dichas características son únicamente 39 de los 4169 de base.



The screenshot shows the software interface with the following details:

- Projecto de selección:** 1. Datos para la selección. Base de datos: Level 3. Selección de: MaterialUniverse: All materials.
- 2. Etapas de selección:** Gráfico/Índice, Limite, Árbol. Etapas: Etapa 1: Price, Etapa 2: Young's modulus, Etapa 3: Maximum service temperature, Etapa 4: Water (fresh), Etapa 5: Yield strength (elastic limit), Etapa 6: Fracture toughness.
- 3. Resultados: pasan 8 de 4169.** Mostrat: Pasan todas las etapas. Clasificar por: Orden alfabético.
- Material List:** Chlorinated polyethylene (unreinforc...), Natural rubber (unreinforced), PE-HD (low/medium molecular weight), PE-LD (molding and extrusion), PE-LD (molding and extrusion), PVC-elastomer (Shore A35), PVC-elastomer (Shore A55), Styrene butadiene rubber (SBR, unr...).
- Water (fresh) Properties:** Physical properties, Mechanical properties, Impact & fracture properties, Thermal properties, Electrical properties, Magnetic properties, Optical, aesthetic and acoustic properties, Critical materials risk, Processing properties, Durability. Durability table: Water (fresh) - Excellent, Water (salt), Weak acids, Strong acids, Weak alkalis, Strong alkalis, Organic solvents, Oxidation at 500C, UV radiation (sunlight), Galling resistance (adhesive wear), Flammability.

Otra condición muy importante es la resistencia a la oxidación ya que se encuentra en continuo contacto con el agua. Cualquiera de estos 8 materiales sobrantes podría servir.

The screenshot shows the software interface with the following details:

- Projecto de selección:** 1. Datos para la selección. Base de datos: Level 3. Selección de: MaterialUniverse: All materials.
- 2. Etapas de selección:** Gráfico/Índice, Limite, Árbol. Etapas: Etapa 1: Price, Etapa 2: Young's modulus, Etapa 3: Maximum service temperature, Etapa 4: Water (fresh), Etapa 5: Yield strength (elastic limit), Fracture toughness.
- 3. Resultados: pasan 3 de 4169.** Mostrat: Pasan todas las etapas. Clasificar por: Orden alfabético.
- Material List:** PE-HD (low/medium molecular weight), PE-LD (molding and extrusion), PE-LD (molding and extrusion).
- Yield strength (elastic limit), Fracture toughness Properties:** Physical properties, Mechanical properties, Impact & fracture properties, Thermal properties. Mechanical properties table: Young's modulus, Specific stiffness, Yield strength (elastic limit), Tensile strength, Specific strength, Elongation, Compressive strength, Flexural modulus, Flexural strength (modulus of rupture), Shear modulus, Bulk modulus, Poisson's ratio, Shape factor, Hardness - Vickers, Elastic stored energy (springs), Fatigue strength at 10<sup>7</sup> cycles, Fracture toughness, Toughness (G).

No obstante, se ha realizado un último estudio entre ellos para ver que material es mejor para conseguir una mayor resistencia al impacto con una vida de servicio mayor.

Entre los 3 materiales restantes se ha seleccionado el PE-LD por ser el más manipulable y flexible. Además de ser uno de los más comunes y comerciales del mercado para este tipo de aplicaciones.



Por último, vamos a ver el estudio realizado para la selección del mejor material para la estructura.

The screenshot shows a software interface for material selection. The left sidebar contains the following sections:

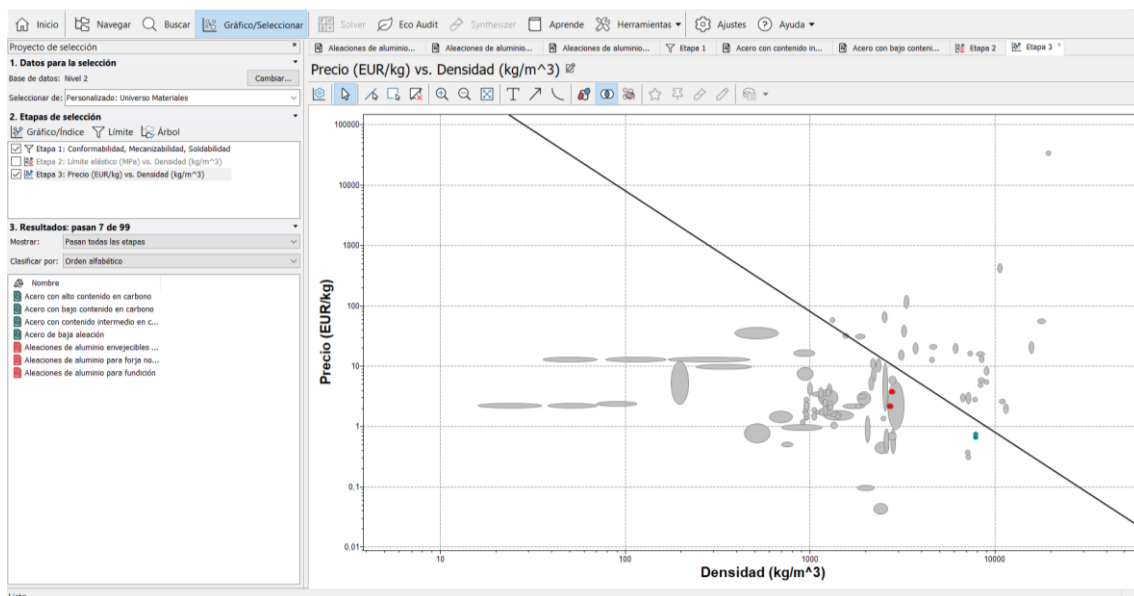
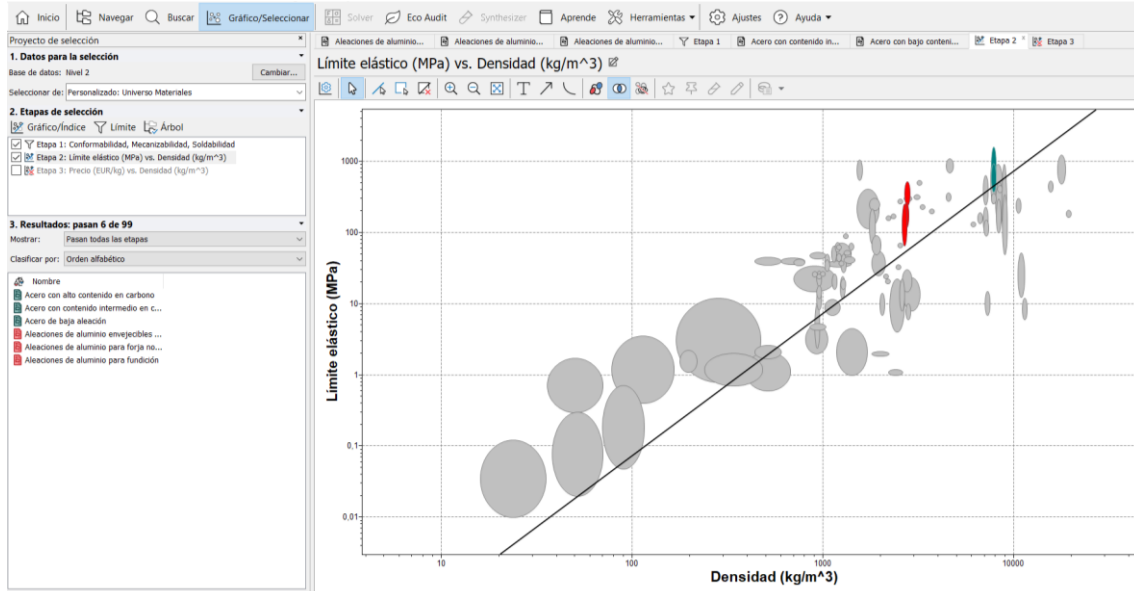
- 1. Datos para la selección:** Base de datos: Nivel 2. Selector: Personalizado: Universo Materiales.
- 2. Etapas de selección:** Gráfico/Índice, Límite, Árbol. Etapa 1: Conformabilidad, Mecanizabilidad, Soldabilidad. Etapa 2: Límite elástico (MPa) vs. Densidad (kg/m<sup>3</sup>). Etapa 3: Precio (EUR/kg) vs. Densidad (kg/m<sup>3</sup>).
- 3. Resultados: pasan 11 de 99.** Clasificar por: Orden alfabético.

The main panel shows search results for 'Conformabilidad, Mecanizabilidad, Soldabilidad'. A table lists properties with minimum and maximum values:

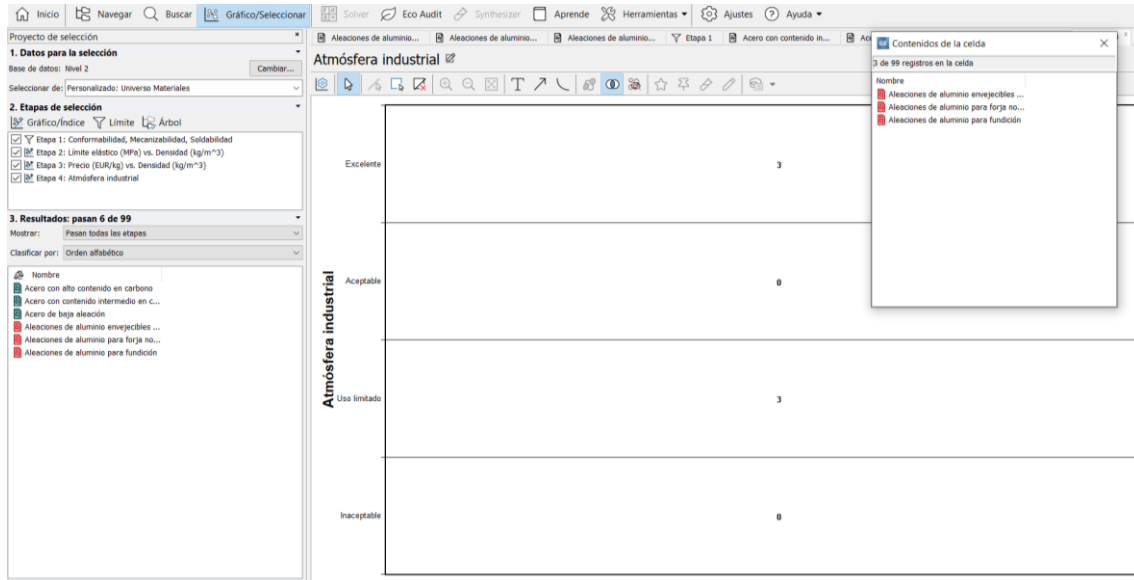
	Mínimo	Máximo
Colabilidad		
Moldeabilidad		
Conformabilidad	4	
Mecanizabilidad	4	
Soldabilidad	4	
Aptitud a soldado o brazing		

Below the table, there are expandable sections for Durability (Durabilidad) under various conditions: Agua y disoluciones acuosas, ácidos, bases, gasolinas, aceites y solventes, alcohol, aldehidos, cetonas, halógenos y gases, entornos construidos, Inflamabilidad, and ambiente térmico.

La primera condición que tiene que cumplir es la procesabilidad, ya que se trata de una lámina fina de metal. Para darle la forma deseada (evitando las roturas, la aparición de arrugas, el adelgazamiento excesivo en algunas zonas o las abolladuras) se requiere una buena conformabilidad. Además, se requiere que el material tenga una buena facilidad para que se realice la soldadura, ya que tanto las patas como la mesa van soldadas entre sí, y para eso se requiere un material que al ser soldado presente una buena calidad y solidez en las uniones. Asimismo, se busca un material con buena mecanizabilidad. Gracias a esto se consigue un amplio abanico de procesos de fabricación a la hora de abaratar costes.



Entre los materiales sobrantes se han realizado dos estudios para ver cuáles son los mejores por su resistencia mecánica específica, la cual compara la resistencia en función de su densidad, como económicos. En ambos estudios el acero y aluminio son la mejor opción.



Por último, para elegir uno entre estos dos materiales, se ha seleccionado el aluminio por tener unas propiedades excelentes en una atmósfera industrial.

Entre las distintas aleaciones de aluminio la 6061 es la mejor para dicha aplicación. Por sus buenas características mecánicas, buena resistencia a la corrosión y su buena soldabilidad.



## Anexo II

### Manual de uso

1. Conectar la entrada de la estación al suministro de la red de agua y al suministro de agua caliente, así como la salida al punto de desagüe correspondiente para cada corriente.
2. Montar el intercambiador y conectar las mangueras a las entradas y salidas de este mediante los conectores rápidos.
3. Encender el equipo y esperar a que todos los indicadores muestren una medida.
4. Ajustar la posición de las válvulas de suministro para obtener el caudal deseado en la corriente fría y en la caliente.
5. Esperar a que los valores de temperatura estén estabilizados.
6. Anotar los valores de temperaturas y de caudal.
7. Cerrar el suministro de agua fría y caliente.
8. Realizar los cálculos:
  1. Potencia térmica absorbida por el flujo frío y cedida por el flujo caliente.
  2. Diferencia media logarítmica de temperaturas.
  3. Coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador.