

Diseño y Construcción de un Prototipo a Escala de Laboratorio de un Sistema de Aire  
Acondicionado Agua-Aire

Alexon Sneyder Amado Velandia, José Alejandro Millán Barajas

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero mecánico

Director

David Alfredo Fuente Díaz

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Físico mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2024

**Tabla de Contenido**

Introducción .....	12
Capítulo 1- Prototipo De Maqueta Con Cuatro Habitaciones En Material Transparente Tipo Acrílico .....	13
1.1. Objetivos .....	13
1.1.1. Objetivo General .....	13
1.1.2. Objetivos Específicos.....	13
1.2. Descripción General.....	14
1.2.1. Descripción Prototipo .....	14
1.2.2. Descripción Del Proceso.....	16
1.3. Fundamentos Teóricos .....	18
1.3.1. Efectos Termoeléctricos.....	18
1.4. Prototipo De Maqueta.....	22
Capítulo 2 - Construcción Del Prototipo De Aire Acondicionado .....	31
2.1. Montaje De Controlador De Temperatura .....	40
2.1.1. Imágenes Del Termostato Con Su Configuración .....	41
2.1.2. Instrumentación Electrónica .....	42
2.1.3. Compras Y Recibimiento De Material .....	45
Capítulo 3. Viabilidad Económica.....	46
Capítulo 4 - Análisis Termodinámico.....	50
4.1. Balance De Energía En La Celda Peltier .....	50
4.2. Balance De Calor En La Cara Fría .....	51

---

4.3. Balance De Calor En La Cara Caliente .....	54
4.4. Cálculo De Coeficiente De Convección .....	55
Capítulo 5. Evaluación De Los Parámetros De Funcionamiento .....	59
5.1. Sistema Cerrado .....	59
5.2. Sistema Abierto.....	59
5.3. Operatividad.....	60
5.4. Instrucciones Principales, Advertencias Y Precauciones .....	61
Capítulo 6. Prácticas De Laboratorio.....	62
6.1. Práctica 1.....	64
6.2. Práctica 2.....	65
6.3. Práctica 3.....	65
Capítulo 7. Resultados .....	67
Capítulo 8. Análisis De Resultados .....	71
8.1. Conclusiones.....	75
Referentes Bibliográficos .....	77
Apéndices.....	79

**Lista de tablas**

Tabla 1 Descripción partes del prototipo .....	16
Tabla 2 Lista de componentes .....	31
Tabla 3 Materiales 1 .....	46
Tabla 4 Costo de Inversión 1 .....	46
Tabla 5 Costo de operación .....	47
Tabla 6 Ingresos por operación 1 .....	47
Tabla 7 Amortización 1 .....	48
Tabla 8 Datos iniciales 1 .....	53
Tabla 9 Registro de información 1 .....	63
Tabla 10 Fases 1.1. ....	67
Tabla 11 Fase 2.1 .....	68
Tabla 12 Práctica 2 .....	69
Tabla 13 Práctica 3 .....	70

**Lista de figuras**

Figura 1 Prototipo y sus partes 1 .....	15
Figura 2 Efecto Peltier .....	18
Figura 3 Diseño preliminar 1 .....	22
Figura 4 Diseño de superficie base .....	23
Figura 5 Soporte caja .....	23
Figura 6 Espacios a acondicionar en m en material acrílico.....	24
Figura 7 Paredes acrílico 1.....	25
Figura 8 Tapa superior acrílico .....	25
Figura 9 Kit de refrigeración Peltier .....	26
Figura 10 Kit de refrigeración para sistema de distribución aire-aire .....	27
Figura 11 Soporte para kit de refrigeración aire .....	27
Figura 12 Kit de refrigeración para sistema de distribución agua-aire.....	28
Figura 13 Soporte para kit de agua .....	28
Figura 14 Ducto de suministro de aire 1 .....	29
Figura 15 Ducto de retorno de aire .....	30
Figura 16 Ventanilla móvil .....	30
Figura 17 Materiales recibidos .....	32
Figura 18 Sierra Circular de Diseño Industrial .....	33
Figura 19 Laminas cortadas .....	33
Figura 20 Maquina C.N.C. Router.....	34
Figura 21 Construcción de base.....	35
Figura 22 Acrílico ensamblado en la base de trípex.....	36

---

Figura 23 Impresora Ender 3D creality. ....	37
Figura 24 Impresión 3D ductos .....	37
Figura 25 Kit de refrigeración sistema aire-aire .....	38
Figura 26 Kit de refrigeración sistema aire-aire .....	39
Figura 27 Configuración F1- Valor de referencia. ....	41
Figura 28 Configuración F2- Histéresis.....	41
Figura 29 Configuración F3- Tiempo de retardo.....	41
Figura 30 Configuración F4- Calibración.....	41
Figura 31 Termohigrómetros en los soportes impresos.....	42
Figura 32 Soporte para sensor .....	43
Figura 33 Sistema de agua.....	43
Figura 34 Esquema eléctrico.....	44
Figura 35 Conexiones eléctricas realizadas .....	45
Figura 36 Balance de Calor de una Celda Peltier .....	50
Figura 37 Ventanillas removibles .....	60
Figura 38 Bombilla incandescente.....	64
Figura 39 Espacios a acondicionar .....	65
Figura 40 Ventanilla móvil.....	66
Figura 41 Fase 1.....	71
Figura 42 Fase 2.....	72
Figura 43 Práctica 2 .....	73
Figura 44 Práctica 3 .....	74

**Lista de apéndices**

Apéndice 1 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Vista Isométrica .....	79
Apéndice 2 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Vista principales del sistema mecánico .....	80
Apéndice 3 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Vista explosionada.....	81
Apéndice 4 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 1- base_1 .....	82
Apéndice 5 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 2- Lateral de madera.....	83
Apéndice 6 Sistema de aire acondicionado agua- aire. Plano de pieza. Código: 3-Lateral 2 de madera.....	84
Apéndice 7 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 4- Tapa madera fuente.....	85
Apéndice 8 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 5- planta inferior.....	86
Apéndice 9 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 6- Lateral 1 .....	87
Apéndice 10 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 7- lateral 2 .....	88
Apéndice 11 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 8- Tapa superior .....	89

Apéndice 12 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza 9-lateral v 2 .....	90
Apéndice 13 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 10-acople 1 .....	91
Apéndice 14 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 11-pieza 2-1.....	92
Apéndice 15 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 12-pieza 2 .....	93
Apéndice 16 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Plano de pieza. Código de pieza:13- pieza 2 final .....	94
Apéndice 17 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. 14- Bajante final ...	95
Apéndice 18 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 15-bajante centro.....	96
Apéndice 19 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 16-S ventilas.....	97
Apéndice 20 Sistema de aire acondicionado agua- aire. Plano de pieza. Código de pieza: 17 -diagonal.....	98
Apéndice 21 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 18-acople ventilador.....	99
Apéndice 22 Sistema de aire acondicionado agua- aire. Plano de pieza. Código de pieza: 19-pantalla acople ventilador .....	100
Apéndice 23 Sistema de aire acondicionado agua - aire. Plano de pieza. Código de pieza: 20-ventana DIS.....	101

---

Apéndice 24 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 21 - superior 1 .....	102
Apéndice 25 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 22 - inferior 2 copia.....	103
Apéndice 26 Sistema de aire acondicionado agua - aire. Plano de pieza. Código de pieza: 23 - soporte 1.....	104
Apéndice 27 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 24 - termohigrómetro .....	105
Apéndice 28 Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 25 - ventana 1 .....	106
Apéndice 29 Sistema de aire acondicionado agua - aire. Plano de pieza. Código de pieza: 26 - ventana 2 .....	107

## Resumen

**Título:** Diseño y Construcción de un Prototipo a Escala de Laboratorio de un Sistema de Aire Acondicionado Agua-Aire\*

**Autor:** Alexon Sneyder Amado Velandia, José Alejandro Millán Barajas\*\*

**Palabras clave:** Celda Peltier; temperatura; humedad; enfriamiento.

### Descripción:

El proyecto se enfoca en el diseño y construcción de un modelo educativo de aire acondicionado que utiliza celdas Peltier para generar frío. El enfriamiento se lleva a cabo utilizando un sistema de agua-aire, el cual es regulado por dos termostatos para un control preciso de la temperatura.

El sistema aire-aire comprende una unidad de frío, un ducto de ventilación y otro de retorno, conectados a dos espacios que se desean acondicionar. Mientras que el sistema agua-aire incluye una unidad de enfriamiento, una bomba de agua y distribución de frío mediante tubos de agua hacia unidades encargadas de distribuir el frío a dos espacios a acondicionar.

Para evaluar el rendimiento del sistema, se simulan cargas térmicas como bombillos incandescentes y filtración de aire. Se emplean cinco termohigrómetros para recopilar datos sobre la temperatura y la humedad en los diferentes espacios.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Físico Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director David Alfredo Fuente Díaz.

**Abstract**

**Title:** Design and Construction of a Laboratory-Scale Prototype of a Water-Air Conditioning System.\*

**Author:** Alexon Sneyder Amado Velandia, José Alejandro Millán Barajas\*\*

**Keywords:** Peltier cell; temperature; humidity; cooling.

**Description:**

The project focuses on the design and construction of an educational model of air conditioning that uses Peltier cells to generate cold. Cooling is carried out using a water-air system, which is regulated by two thermostats for precise temperature control. The air-to-air system comprises a cooling unit, a ventilation duct and a return duct, connected to two spaces to be conditioned. While the water-air system includes a cooling unit, a water pump and cold distribution using water pipes to units responsible for distributing the cold to two spaces to be conditioned.

To evaluate system performance, thermal loads such as incandescent bulbs and air filtration are simulated. Five thermohygrometers are used to collect data on temperature and humidity in different spaces.

---

\* Degree Work

\*\* faculty mechanical physical. School mechanics. Director David Alfredo Fuente Díaz.

### **Introducción**

Este documento contiene el informe de ejecución del proyecto de grado: diseño y construcción de un prototipo a escala de laboratorio de un sistema de aire acondicionado agua-aire, cuyo resultado es un prototipo de aire acondicionado didáctico, donde se presentan las partes que componen los sistemas de aire acondicionado aire-aire y aire-agua. El diseño y prototipo presentado contiene cuatro espacios a acondicionar: todos con la simulación de una carga térmica representada en una bombilla incandescente; dos con simulaciones de una ganancia de humedad a través de infiltraciones de aire ambiente y dos sin ganancias de humedad.

Los prototipos de aire acondicionado se desarrollaron usando celdas Peltier como fuentes de frío. En un caso se usa aire como sistema de transporte térmico y en la otra agua. Se incluyen ventiladores de suministro y retorno, con sus respectivos ductos en el caso del sistema de aire: la bomba de circulación y sus tuberías en el sistema de agua.

## **Capítulo 1- Prototipo de maqueta con cuatro habitaciones en material transparente tipo acrílico**

### **1.1.Objetivos**

#### ***1.1.1. Objetivo General***

Contribuir al desarrollo a la misión de la Universidad Industrial de Santander con el desarrollo de tecnología para el diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un prototipo de sistema de aire acondicionado agua-aire, para ser usado como material didáctico en la asignatura de refrigeración y aire acondicionado.

#### ***1.1.2. Objetivos Específicos***

- Diseñar y construir una maqueta de 0.5 m<sup>2</sup>, con cuatro habitaciones en material transparente tipo acrílico.
- Construir un prototipo de aire acondicionado usando celda de Peltier como fuente de frío y un sistema de distribución de este, empleando agua-aire.
- Evaluar la viabilidad económica del proyecto mediante el respectivo análisis de costos para la fabricación de este.
- Determinar el comportamiento del sistema mediante la evaluación de sus parámetros de funcionamiento principales, como temperatura, humedad de las diferentes habitaciones.

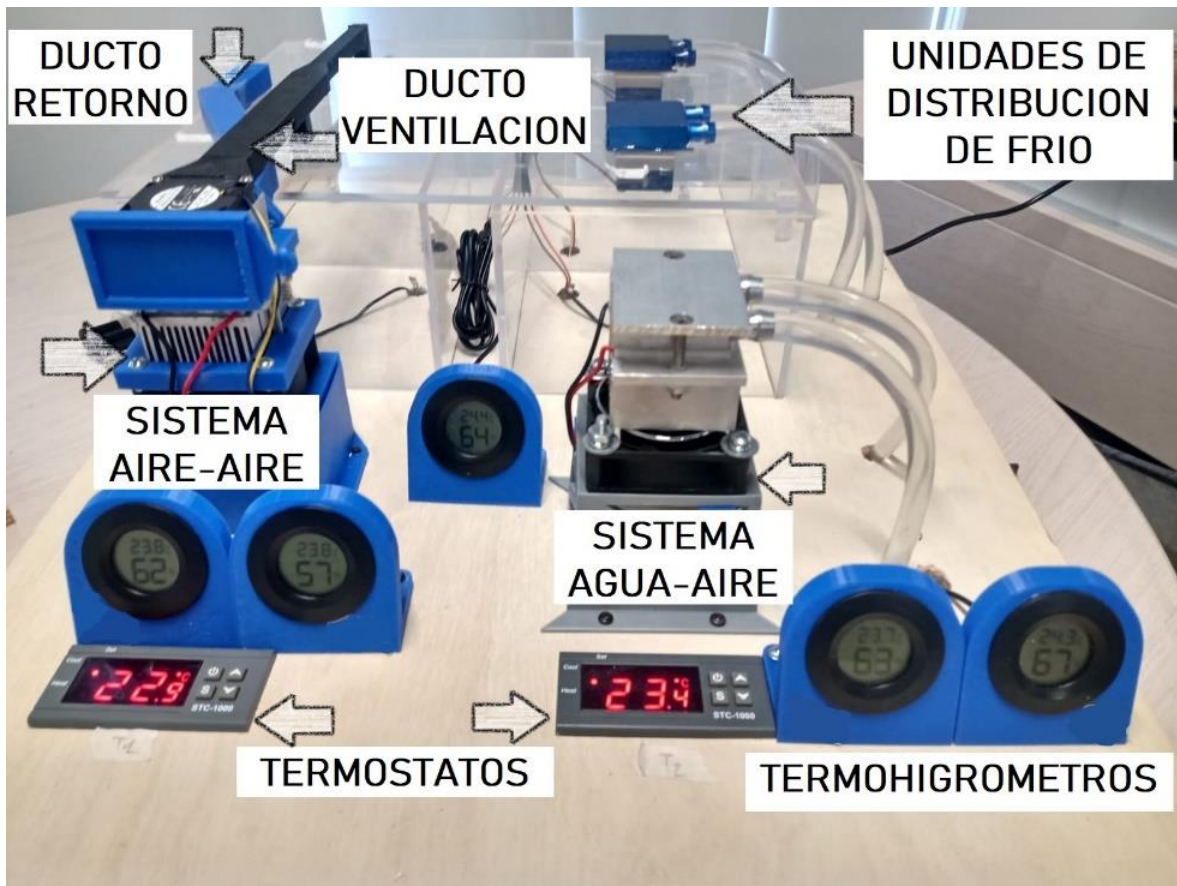
## 1.2.Descripción General

### 1.2.1. Descripción Prototipo

El banco de laboratorio cuenta con dos prototipos de sistemas de aire acondicionado controlados por termostatos. El primer sistema es de tipo aire-aire, el cual consta de: una unidad de frío, un ducto de ventilación y otro de retorno, que están conectados a dos espacios a acondicionar. El segundo es un sistema de tipo agua-aire, el cual consta de una unidad de frío, una bomba de agua y distribución de frío mediante tubos con agua hasta unas unidades de distribución del frío a dos espacios a acondicionar, además, se cuenta con 5 termohigrómetros, como se puede apreciar en la Figura 1.

La unidad de frío del sistema aire-aire consta de: una Peltier, dos disipadores y dos ventiladores que se encargan de hacer circular el aire frío y extraer el calor; por otro lado, la unidad de frío del sistema agua-aire consta de: una Peltier, un disipador de calor, un ventilador y un cubo de agua encargado de la transferencia del frío.

Las unidades de distribución del frío constan de: un cubo de agua, un disipador y un ventilador encargado de hacer circular el aire en los espacios a acondicionar.

**Figura 1***Prototipo y sus partes 1*

**Tabla 1***Descripción partes del prototipo*

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
<b>Ducto de retorno</b>	Cuenta con un ventilador para ayudar con el retorno del aire
<b>Ducto ventilación</b>	Es el encargo de distribuir el aire frío que sale del sistema aire-aire
<b>Sistema aire-aire</b>	Está conformado por ventilador axial por la parte inferior donde se produce la disipación de calor producido por la Peltier y un ventilador centrifugo por la parte superior con el fin de enviar aire frío por el ducto de ventilación hacia la zona a acondicionar
<b>Sistema agua-aire</b>	Está conformado por ventilador axial por la parte inferior donde se produce la disipación de calor producido por la Peltier y un bloque de agua en la parte superior que funciona como intercambiador de calor y así enfriar el agua que pasa por circuito hidráulico
<b>Termostato</b>	Es el encargado de controlar la Peltier y los ventiladores de cada sistema presente
<b>Termohigrómetros</b>	Son sensores de temperatura y humedad colocados en diferentes puntos para toma de datos
<b>Unidades de distribución de frío</b>	Constan de un bloque de agua encargado de intercambio de calor, entre el agua fría y el espacio a acondicionar, cuenta con un ventilador axial para distribuir el aire frío.

*Nota.* Descripción de las partes del prototipo observadas en la Figura 1.

### **1.2.2. Descripción del proceso**

En el sistema aire-aire se llevan a cabo el siguiente proceso: con el ventilador de turbina se capta el aire del ambiente para empezar el proceso de enfriamiento de este, al pasar por el disipador que recibe el frío de la Peltier, luego de este proceso se envía por los ductos hacia las zonas a acondicionar, el aire que llega frío da vuelta por el cuarto y sale por una ventila de retorno hacia el disipador; este sistema cuenta con dos forma de toma de aire: se puede realizar la toma de aire

del ambiente exterior y un flujo de retorno o solo con el flujo de retorno para una mayor eficiencia ante el enfriamiento del aire.

En el sistema agua-aire se realizan dos procesos para poder acondicionar el espacio a la temperatura requerida, el primero consta de enfriar agua a través de un sistema cerrado por el cual circula el agua, consta de: una bomba, unos cubos y tuberías con sus respectivos acoples; los cubos son los encargados del intercambio de calor entre la parte fría de la Peltier y el agua. El segundo sistema consta de un disipador unido a un cubo con un ventilador con la función de forzar el aire a través de disipador y distribuir el frío.

### 1.3.Fundamentos teóricos

#### 1.3.1. Efectos termoeléctricos

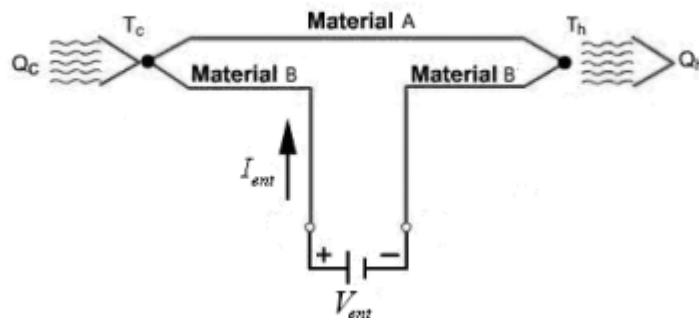
La termoelectricidad tiene la correlación de voltajes y corrientes con la transferencia de calor y temperatura.

##### **Efecto Peltier**

Usualmente el efecto Peltier está definido como un fenómeno termoeléctrico que se caracteriza por la diferencia de temperatura entre las superficies de un semiconductor cuando por este circula una corriente. Este proceso de enfriamiento y calentamiento está íntimamente ligado a la composición del material y a la corriente que atraviesa la unión. Así mismo este fenómeno ocurre debido que al poner en contacto dos metales diferentes se genera una diferencia de potencial, originada principalmente por la diferencia de valencia entre ambos (G.N.Logvinov, 2005). A continuación, se muestra en la figura 2 el proceso mencionado.

**Figura 2**

*Efecto Peltier*



*Nota.* Este esquema representa el fenómeno que ocurre por el efecto Peltier. Tomado de Seung-Goo, K. (2019).

Teniendo en cuenta lo anterior, se deduce que la razón de transferencia de calor por el efecto Peltier es expresada como:

$$Q_{EP} = \alpha * T * I$$

$\alpha$ : coeficiente de seebeck ( $\frac{V}{K}$ )

$T$ = temperatura lado caliente ó frio (K)

I: intensidad de la corriente (A)

### **Efecto Seebeck:**

El efecto Seebeck es el proceso opuesto al efecto Peltier, pues implica la generación de un diferencial de voltaje al aplicar una diferencia de temperatura en las uniones de dos metales. Este fenómeno se utiliza de manera práctica en dispositivos como termocuplas o termopares, así como en celdas Peltier, donde se aprovecha la capacidad de transformar diferencias de temperatura en corriente eléctrica (Herrera Sánchez, A. F., & Quintero Herrera, T. J. (2013).

$$\alpha = \frac{\nabla V}{\nabla T}$$

$\nabla V$ : Diferencia de voltaje (V)

$\nabla T$ : Diferencia de temperatura (K)

### **Efecto Joule:**

Este fenómeno es conocido por la conducción de corriente eléctrica y su fenómeno térmico asociado, esta se define como la cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, donde depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que esta circula por el conductor y de la resistencia que opone al mismo paso (Patterson, 2007).

$$Q_J = R * I^2$$

R: Resistencia ( $\Omega$ )

I: intensidad de la corriente (A)

### **Conducción Térmica:**

La tasa de transferencia de calor por conducción está íntimamente ligada con la Ley de Fourier. Esta establece que la cantidad de calor transferido por conducción en una dirección específica es directamente proporcional al área perpendicular al flujo de calor y al gradiente de temperatura en esa dirección siempre y cuando exista un trabajo interno durante el proceso (Cengel, 2011). Entonces el calor por conducción se expresa:

$$Q_{\text{Conduccion}} = \frac{k * A * \nabla T}{e}$$

Donde:

k: Conductividad termica del material ( $\frac{W}{m * K}$ )

A: area ( $m^2$ )

$\nabla T$ : Diferencia de temperatura en la superficies (K)

e: longitud de cada elemento (m)

### **Primera y segunda ley de la termodinámica:**

Al analizar un sistema sometido a un proceso se utiliza el principio de la conservación de la energía o balance de energía, esto está asociado a la primera ley de la termodinámica, que establece la variación total de energía en un sistema que es sometido a un proceso es igual a la

cantidad total de energía que entra al sistema menos la cantidad total de energía que sale del sistema durante el proceso, esta se expresa como (Cengel, 2011):

$$E_{\text{entrada}} - E_{\text{salida}} = \nabla E_{\text{sistema}}$$

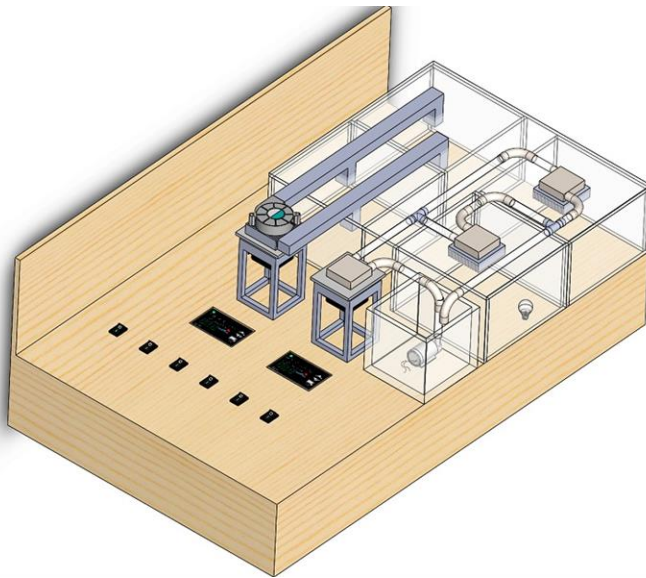
La segunda ley de la termodinámica establece que, al someter un sistema a un proceso, hay una fracción de su energía que no puede utilizarse eficientemente para realizar el trabajo y tiende a aumentar con el tiempo.

### 1.4. Prototipo de maqueta

Para la elaboración del diseño se consideran las dimensiones de una habitación de 3 m de largo y ancho por 2 m de altura, para tener una visualización del prototipo es usando el software de diseño CAD SolidWorks. Se fijaron las condiciones de diseño teniendo en cuenta que va a ser un modelo didáctico y práctico con facilidad de transportar; se tomó una escala de diseño 1:20, por lo tanto, se definió un área de trabajo de 44 cm x 70 cm. En la Figura 2, se observa el diseño preliminar del prototipo con sus respectivos sistemas de suministro de aire.

#### Figura 3

##### *Diseño preliminar 1*

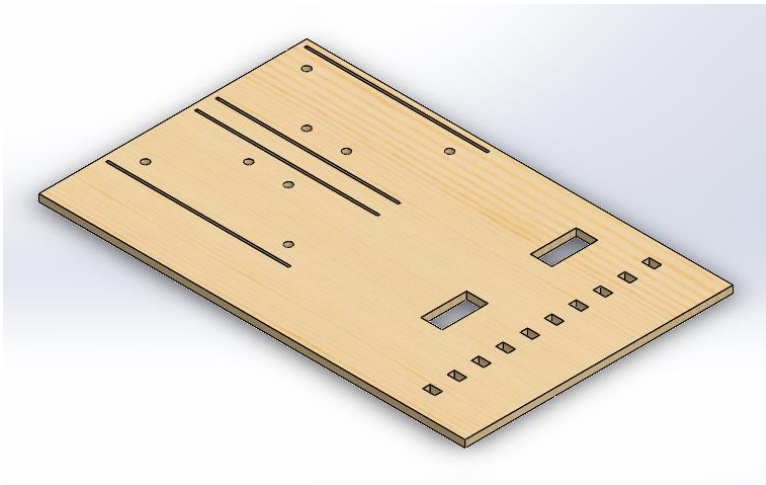


La superficie base se diseñó con sus respectivas ranuras y huecos pasantes que permitan la instalación de los distintos componentes tales como: paredes, interruptores, bombillos, sensores, termóstatos como se muestra en la Figura 3. Esta superficie base es la tapa de una caja echa del

mismo material, la cual es el soporte de todos los sistemas como se ve en la Figura 4. El material considerado para esta superficie es de madera tríplex por su ligereza y fácil manejo.

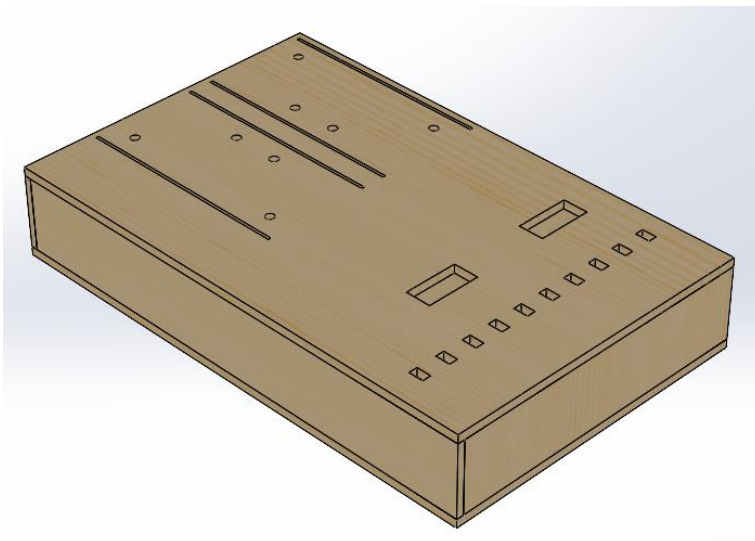
#### Figura 4

*Diseño de superficie base*



#### Figura 5

*Soporte caja*



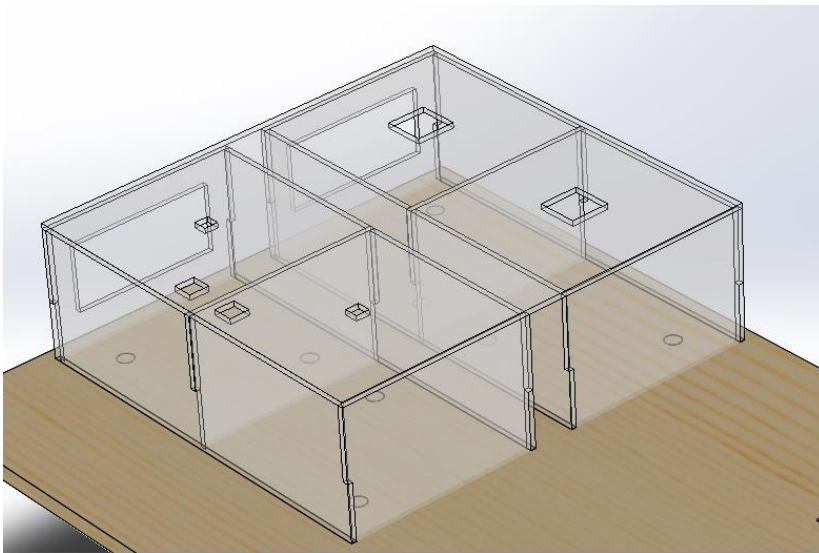
*Nota.* En la Figura 5, se observa el diseño de los espacios a acondicionar.

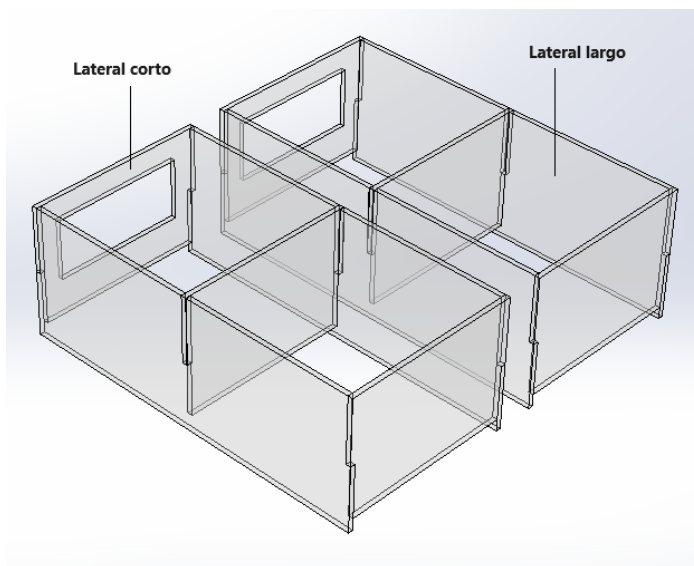
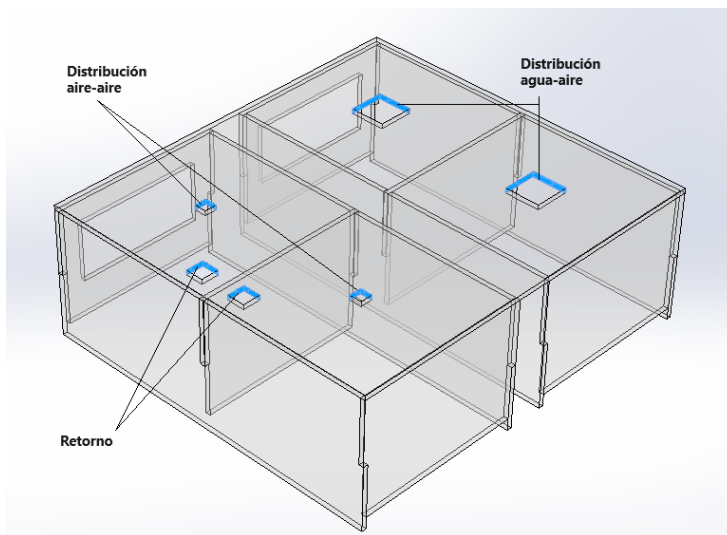
Cada espacio tiene un área de 15 cm x 15 cm, y una altura de 10 cm; para los cuatro espacios requeridos se ocupa un área de 30 cm x 33 cm sobre la superficie base. El material usado para la construcción de los espacios fue acrílico de 4 mm de espesor, las paredes se diseñaron de manera ensamblable, las cuales se dividen en 2 tipos: los laterales cortos que van sobre la superficie de madera y ensamblados con los laterales largos que van entre las ranuras de la superficie base, como se ven en la Figura 6; también se hicieron orificios para simular una ventana en los laterales cortos de la parte posterior.

En la tapa superior se hicieron los respectivos agujeros para la colocación de los sistemas de distribución y sistema de retorno, para la ubicación de estos orificios se tuvo en cuenta que la distribución de aire no se viera afectada por la toma del retorno, por lo tanto, la entrada del ducto de distribución se ubica en el centro de cada espacio y el retorno las cuales se pueden ver en la figura 7.

### **Figura 6**

*Espacios a acondicionar en m en material acrílico*



**Figura 7***Paredes acrílico 1***Figura 8***Tapa superior acrílico*

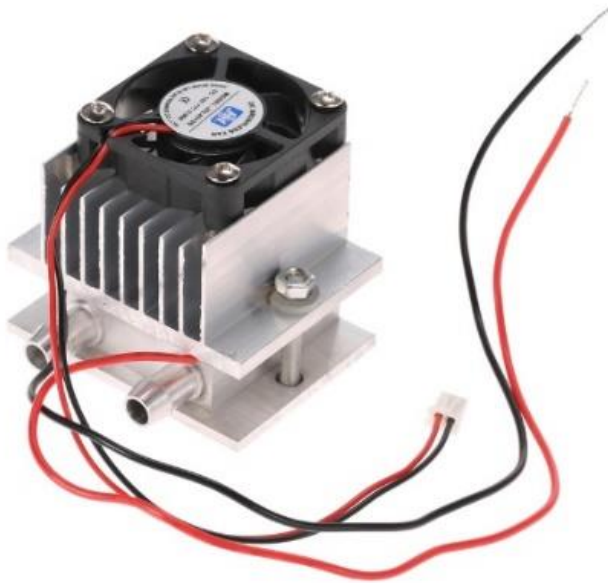
Se selecciona el kit de refrigeración Peltier para líquido, el cual es usado como se observa en la Figura 8, para caso del proyecto se modifica la disposición de la disipación de calor generado por la Peltier, mediante un ventilador (por defecto con disipación por agua); debido a que la

eficiencia de enfriamiento en la Peltier depende de la disipación de calor generado en una de sus caras.

Se modelaron dos tipos de kit de refrigeración: uno para el sistema de distribución aire-aire y el otro para el sistema de distribución agua-aire. En la Figura 9, se puede observar el kit de refrigeración para el sistema aire-aire, este cuenta con una disipación de calor por ventilador y distribución de frío por ventilador. Partiendo de la altura de 10 cm desde la base superior de madera hasta la superficie superior de acrílico como altura mínima de trabajo y con las medidas de los componentes del kit, se diseñó una estructura para: sostener, anclar y elevar el kit a la altura requerida para unirse al ducto de ventilación y de retorno como se observa en la Figura 10.

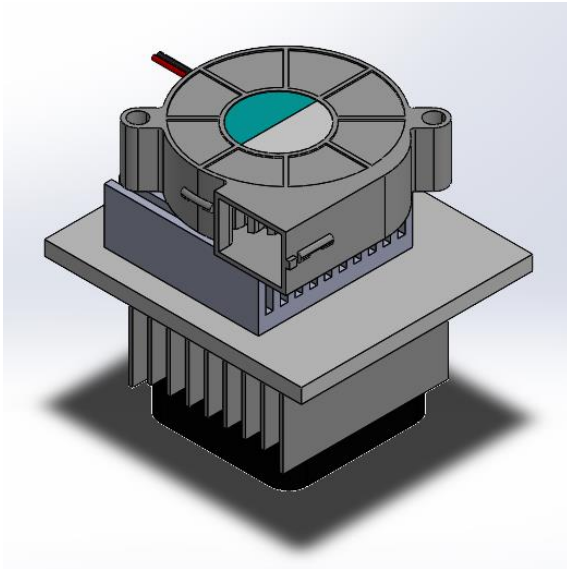
### Figura 9

*Kit de refrigeración Peltier*

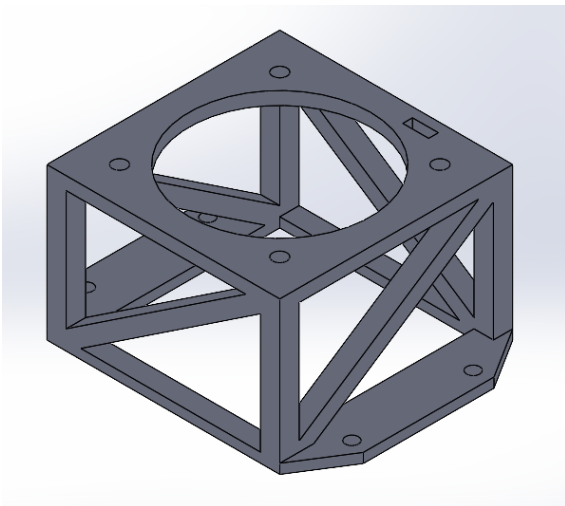


**Figura 10**

*Kit de refrigeración para sistema de distribución aire-aire*

**Figura 11**

*Soporte para kit de refrigeración aire*

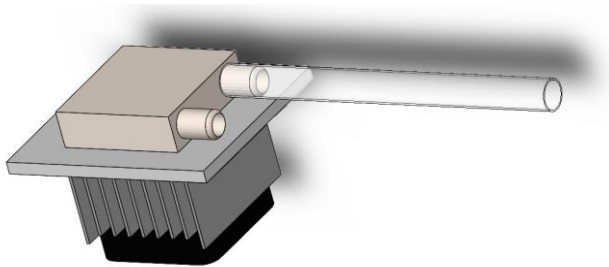


*Nota.* En la Figura 11, se puede observar el Kit de refrigeración para el sistema de distribución agua-aire.

Este cuenta con un ventilador para la disipación de calor y un bloque de agua para la distribución del frío, el cual cuenta con las dimensiones: 40 mm de largo por 40 mm de ancho, a una altura de 12 mm y un acople de 9 mm de diámetro; también se le diseña una estructura para alojar el kit de refrigeración, con el cual se eleva el sistema más de 10 cm desde la superficie base. Ver Figura 12.

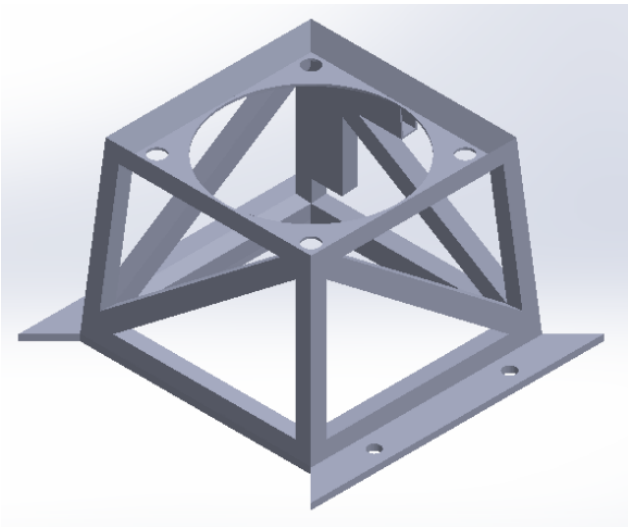
**Figura 12**

*Kit de refrigeración para sistema de distribución agua-aire*



**Figura 13**

*Soporte para kit de agua*

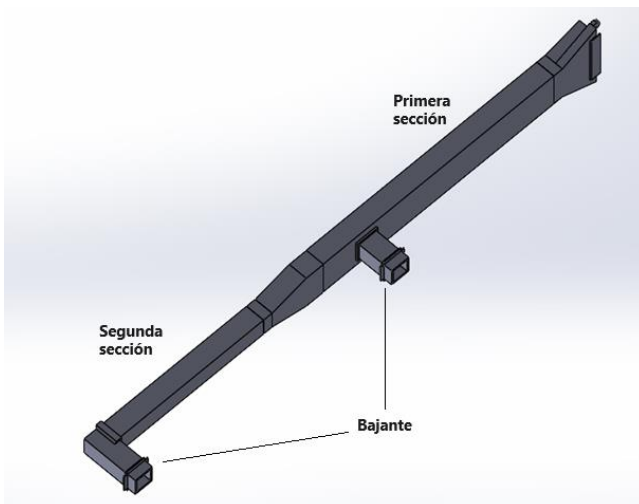


Se diseñó un ducto de suministro de aire-aire con una longitud de 29 cm, el cual se divide en 2 partes de diferente sección transversal, la primera sección con un área de 30 mm x 10 mm y

la segunda con un área de 1 cm<sup>2</sup>; también se cuenta con dos bajantes ubicados desde la punta de la segunda sección y separados a 15 cm con un área de sección transversal de 1 cm<sup>2</sup>, ver Figura 13. Luego se modeló el ducto de retorno con una longitud de 22 cm y un área de sección transversal de 15 mm x 15 mm, este cuenta con una sección diagonal que facilita la ubicación de los puntos de retorno en el espacio a acondicionar; se cuenta con un espacio para el ventilador que ayuda a que el aire retorne, y a su vez un soporte que sostiene el retorno unido al dissipador, ver Figura 14. Las dimensiones y ubicación de los ductos se calcularon de acuerdo con la posición de cada espacio a acondicionar, teniendo en cuenta una mejor distribución de aire en el ducto de suministro en el área de cada espacio y el ducto de retorno en una esquina para evitar interferencia con entrada de aire frío al sistema, las secciones transversales se diseñaron bajo el criterio del tipo de ventilador y su capacidad volumétrica; también se elaboró una ventanilla móvil con el propósito de tener un sistema de control de volumen de aire fresco que ingresa al espacio a acondicionar, ver Figura 15.

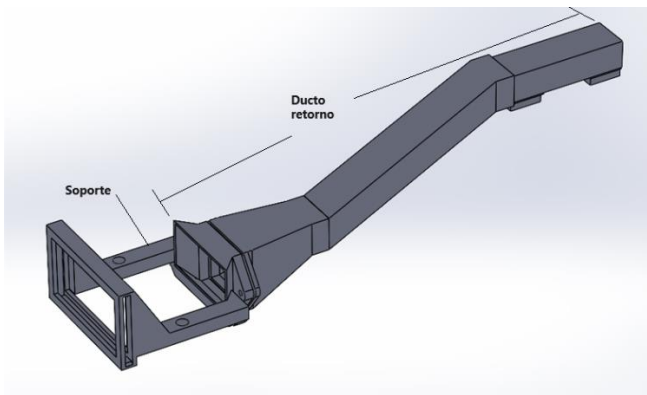
### Figura 14

#### *Ducto de suministro de aire 1*



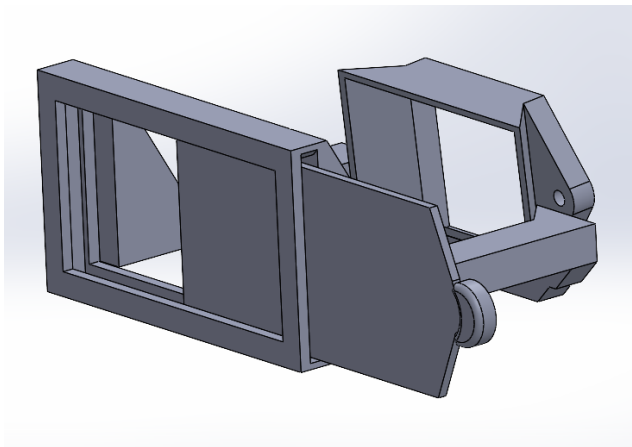
**Figura 15**

*Ducto de retorno de aire*



**Figura 16**

*Ventanilla móvil*



## Capítulo 2 - Construcción del prototipo de aire acondicionado

Con los diseños realizados en el Capítulo 1, se elaboró un listado de materiales necesarios para la construcción del prototipo, cómo se puede ver en la Tabla 2. Para adquisición de los artículos se hizo a través de la escuela de Ingeniería Mecánica, con ayuda el ingeniero Javier Pico Cáceres para los respectivos trámites, posteriormente fueron entregados como se ve en la Figura 16.

**Tabla 2**

*Lista de componentes*

Item	Cantidad	Nombre
1	2	Kit refrigeración peltier
2	2	mini ventiladores (30x30mm)
3	1	ventilador turbo de refrigeracion (40x40mm)
4	1	Bomba centrifuga sumergible (240 L/h)
5	2	Controlador de temperatura
6	5	Mini sensor digital de temperarura y humedad
7	1	Fuente alimentación de 650 W
8	10	Interruptor on/off
9	3	Disipadores
10	2	Bloque de agua
11	1	Conector de acoplamiento rapido
12	4	Bombillos de incandesente E10
13	4	Base de rosca E10
14	1	Cable rojo y negro (3m)
15	1	Pegante acrilico
16	1	Pegante madera
17	1	Cinta aislante
18	1	Manguera de neumatica transparente (5 m)
22	2	Te neumatica
24	1	Lamina de acrilico
25	1	Lamina de madera



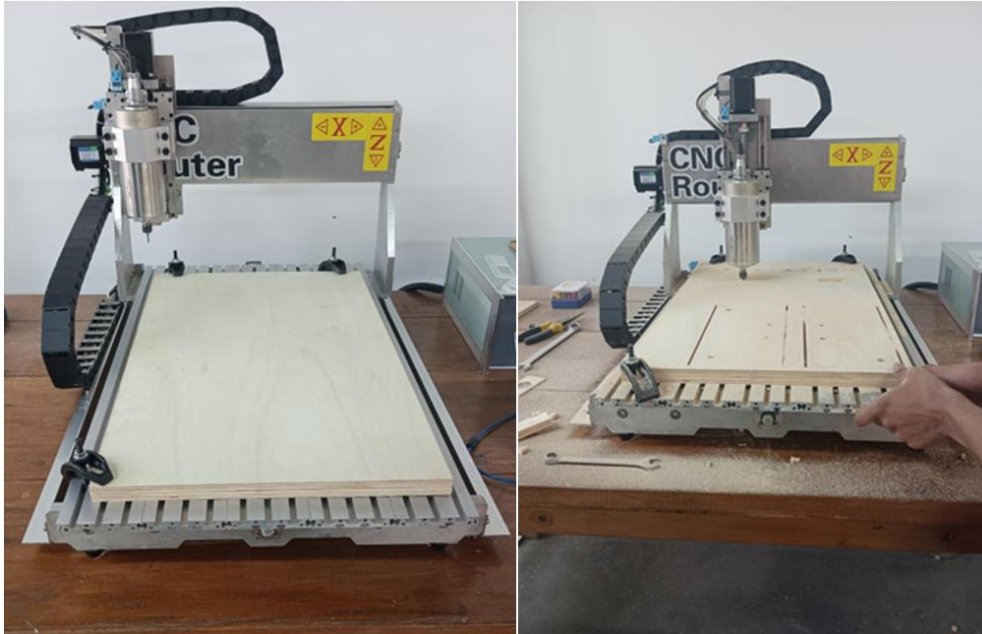
**Figura 18***Sierra Circular de Diseño Industrial***Figura 19***Laminas cortadas*

Después de tener cortada la lámina, se usó el programa Autodesk Fusion 360 con el propósito de obtener los códigos de control numérico para la máquina C.N.C. Router ubicada en la escuela de Ingeniería Mecánica a cargo del profesor Ricardo Jaimes. Usando como plantilla la base diseñada en SolidWorks, convirtiéndola a formato vectorial usando Autodesk Fusion 360 para

obtener los parámetros de operación mediante control numérico y así hacer el grabado necesario en la superficie de la madera; en la Figura 19 se puede observar la máquina C.N.C. la cual tiene las siguientes especificaciones de operación: velocidad del husillo de 300 ~ 24000 rpm.

### Figura 20

#### *Maquina C.N.C. Router*



Posteriormente de tener las diferentes láminas cortadas y con el grabado, se dió paso a construir la base como se ve en la Figura 20. Empleando un taladro inalámbrico, una broca 3/32" se hicieron perforaciones por los laterales de la lámina y posteriormente se usó pegante de madera para dar mayor adhesión entre las superficies y por último usando tornillos de 1/8" para mayor soporte.

**Figura 21***Construcción de base*

Con la lámina de acrílico, se emplea una cortadora laser ubicada en la escuela de Ingeniería Mecánica, esta realiza un corte con una buena precisión y buen acabado superficial, para este proceso fue necesario tener el modelado en el programa de SolidWorks, para luego exportarlo a formato vectorial e importarlo a la máquina. Después de tener el corte de las piezas con sus respectivas dimensiones se da paso a ensamblarlas en las ranuras de la superficie base, como se puede apreciar en la Figura 2, el montaje de la base con sus cuartos en acrílico.

**Figura 22**

*Acrílico ensamblado en la base de tríplex*

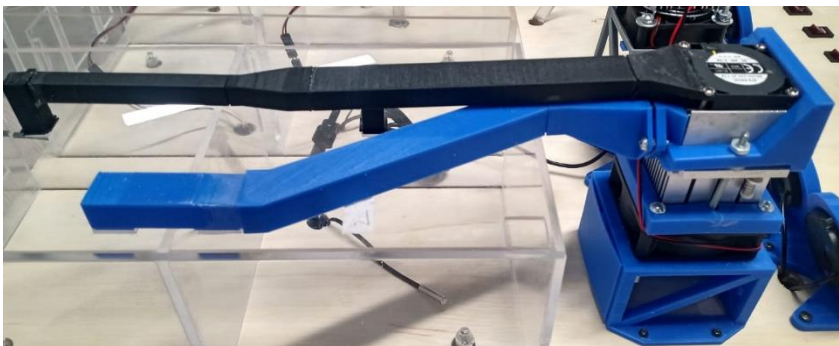


Se empleó una impresora Ender 3D Creality, la cual se ve en la Figura 22. Esta usa filamento PLA de 1,75 mm como material de trabajo, con la cual se crearon los ductos y soportes requeridos, siendo este un termoplástico fabricado a base de recursos renovables. Se elaboraron estos accesorios en la impresora 3D por su facilidad de uso y su versatilidad a la hora de construir piezas geométricas complejas en poco tiempo, precisión y con buen acabado superficial.

**Figura 23***Impresora Ender 3D creality.***Impresora 3D Ender 3**

Características Técnicas	
Tecnología	FDM/FF (Modelado por deposición fundida)
Filamento admitido	PLA/ABS/WOOD
Volumen de impresión	220x220x250mm
Velocidad de impresión	≤180 mm/s, normal 30-60mm/s
Diámetro del filamento	1.75 mm
Sistema de Extrusión	Extrusora Bowden
Diámetro de la boquilla	0.4 mm (puede ser 0.3 o 0.2mm)
Hotend	Ensamblaje Hotend Creality Ender-3
Temperatura máxima de impresión	≤260 °C
Temperatura máxima de plataforma	≤100 °C
Plataforma de impresión	Placa flexible
Nivelación de la plataforma	Manual - Perilla
Reanudación de impresión	Si
Sensor de filamento	No
Precisión	± 0,1 mm
Tipo de Software	Creality, Cura, Repetier-Host, Simplify3D
Interfaz de usuario	Pantalla LCD con perilla
Transferencia de archivo	Micro USB/TF card
Formato de archivo	STL/OBJ/AMF
Idioma	Chino/Inglés
Voltaje Nominal	100-120V/6.8A 200-240V / 3.4A, 50/60Hz
Protección Nominal	1270W/24V
Tamaño de Máquina	430x424x472mm
Tamaño de Empaque	520x505x280mm
Peso de la Máquina	8Kg
Peso Paquete	8.6Kg

*Nota.* En la Figura 23 se puede apreciar ducto suministro de aire de color negro y el ducto de retorno color azul. Estos se elaboraron con impresión 3D.

**Figura 24***Impresión 3D ductos*

En la Figura 24, se observa el montaje del kit de refrigeración aire-aire, teniendo como pieza fundamental la celda Peltier TEC1-12706, de acuerdo con la referencia, para su

funcionamiento se alimenta 12 voltios y 6 amperios nominales; al circular una corriente eléctrica se genera una diferencia de temperatura entre la superficie superior e inferior de la celda, proporcionando un lado frío y el otro caliente.

Para tener una mejor conductividad y un buen contacto entre la celda y el disipador se aplica pasta térmica. En la parte inferior del disipador se instaló un ventilador con las dimensiones 6 cm x 6 cm x 1 cm de 12 voltios nominales, con la finalidad de extraer el calor generado por la placa; adicionalmente en la parte superior del disipador se instaló un ventilador centrífugo, con dimensiones 4 cm x 4 cm x 1 cm de 24 voltios nominales, permitiendo direccionar el flujo de aire y suministrarlo hacia el interior del ducto; por último se ensambla al soporte kit de refrigeración aire; todos los componentes mencionados están alimentados por una fuente de poder ATX de 700 watts nominal.

### Figura 25

*Kit de refrigeración sistema aire-aire*



En la Figura 25, se observa el montaje del kit de refrigeración de agua, teniendo como pieza fundamental la celda Peltier TEC1-12706, de acuerdo con la referencia, para su funcionamiento se alimenta 12 voltios y 6 amperios nominales; al circular una corriente eléctrica se genera una diferencia de temperatura entre la superficie superior e inferior de la celda, proporcionando un lado frío y el otro caliente.

Para tener una mejor conductividad y un buen contacto entre la celda y el bloque de agua se aplicó pasta térmica. El bloque de agua cuenta con sus especificaciones de 4cm x 4cm x1 cm, permitiendo el intercambio de calor desde la Peltier hasta el agua que circula en el interior. Luego por la parte de la cara caliente se instaló el disipador de calor de aluminio rectangular con dimensión de 4cmx4cmx3cm, después se agregó un ventilador de 12 voltios nominales con dimensiones de 6cm x6cmx1cm permitiendo una disipación de calor en el sistema.

### **Figura 26**

*Kit de refrigeración sistema aire-aire*



## 2.1. Montaje de Controlador de Temperatura

Para tener controlada la temperatura de la celda se usó un termostato digital STC-1000 que es de una gran precisión, con facilidad de programar por sus sencillas de conexiones. Una de las ventajas que tiene este termostato es que permite controlar una fuente fría y una caliente a la vez.

En el menú de este termostato se requiere cuatro valores a parametrizar F1 (valor de referencia), ver Figura 26, F2 (Histéresis) este valor será la diferencia o suma a la de referencia donde se establecerá como límite inferior, ver Figura 27, F3 (Tiempo de retardo), ver Figura 28, y F4 (calibración), ver Figura 29.

Una vez encendido el termostato se encuentra en su pantalla principal, marcando en todo momento la temperatura medida por la sonda, la cual fue colocada en cada espacio a acondicionar. La pantalla muestra dos indicadores: el primero es “Cool” para realizar un control de temperatura en áreas a acondicionar y el segundo “Heat” para realizar un control de temperatura en calefacción. Para este caso se configura en el indicador “Cool”, realizando la parametrización adecuada. Luego de haber ajustado los valores, se mostrará en la siguiente imagen los parámetros establecidos para este sistema de refrigeración.

### 2.1.1. Imágenes del termostato con su configuración

**Figura 27**

*Configuración F1- Valor de referencia.*



**Figura 28**

*Configuración F2- Histéresis.*



**Figura 29**

*Configuración F3- Tiempo de retardo*



**Figura 30**

*Configuración F4- Calibración*



### 2.1.2. Instrumentación Electrónica

Sensores: Se emplean cinco termohigrómetros para medir simultáneamente la temperatura y la humedad, como se puede observar en la Figura 30. Cada uno de ellos dispone de un sensor externo que mide los valores de temperatura y humedad relativa en la ubicación donde se encuentra la sonda. Estos datos se transmiten a la unidad principal con alta precisión y sensibilidad. Uno de los aspectos más destacados de estos termohigrómetros es su amplio rango de operación, que va desde  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con una precisión de  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una tensión de funcionamiento de  $1,5\text{ V}$ .

Los sensores se distribuyeron de la siguiente manera: se colocaron cuatro sondas en cada espacio. Los datos recopilados se muestran en la pantalla principal de este sensor, ubicada en la parte externa. Estas pantallas están ensambladas en un pequeño soporte diseñado en SolidWorks y fabricado mediante impresión 3D (ver Figura 31). El último sensor se instaló en el exterior con el propósito de medir las condiciones ambientales.

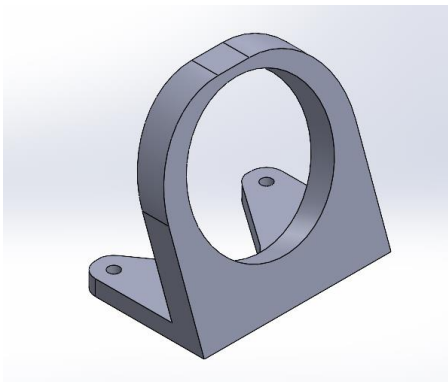
**Figura 31**

*Termohigrómetros en los soportes impresos.*



**Figura 32**

*Soporte para sensor*



El sistema de refrigeración agua-aire está equipado con una bomba que está conectada a dos contenedores de agua para transportar el frío. En el diseño preliminar, se consideró la utilización de un depósito de agua y una bomba sumergida en el agua. Sin embargo, se realizó un cambio en el diseño debido al gran volumen de agua que sería necesario manipular para lograr el enfriamiento deseado. En su lugar, se optó por un sistema cerrado, lo que permitió reducir el volumen de agua, como se muestra en la Figura 32.

**Figura 33**

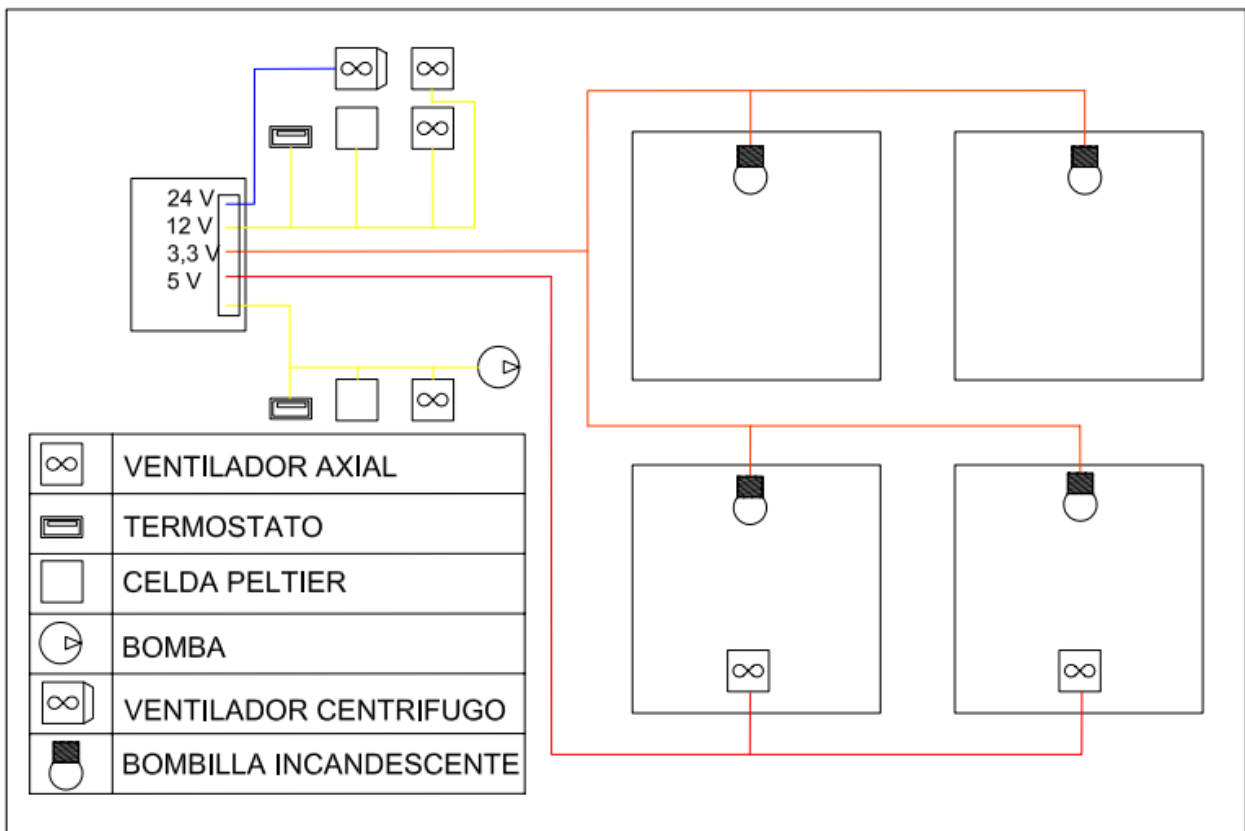
*Sistema de agua*



Para el montaje eléctrico, se eligió una fuente ATX de 750 W que proporciona diferentes voltajes, desde 3 V hasta 24 V. Los distintos elementos requerían voltajes específicos, por lo que se configuraron líneas de voltaje de acuerdo con los dispositivos empleados. Se utilizó un voltaje de 3,3 V para los bombillos incandescentes, una línea de 12 V para la Peltier, el termostato, la bomba y los ventiladores, y 24 V para un ventilador centrífugo. En la Figura 33, se muestra el esquema eléctrico utilizado para la conexión adecuada de los diversos componentes, y en la Figura 34, se pueden apreciar las conexiones realizadas.

**Figura 34**

*Esquema eléctrico*



**Figura 35**

*Conexiones eléctricas realizadas*



### ***2.1.3. Compras y recibimiento de material***

Para este propósito, se solicitó apoyo presupuestario al Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, por un valor de \$1.860.000, una vez obtenida la aprobación, se procedió a la selección de los equipos necesarios junto con sus especificaciones. Inicialmente, se obtuvieron las cotizaciones de diversos proveedores y se elaboró un cuadro comparativo para elegir la mejor opción de compra. Luego, se proporcionó a la escuela un listado con los precios seleccionados, una vez aprobados, se efectuó la compra de los insumos necesarios para continuar con la construcción del proyecto.

### Capítulo 3. Viabilidad económica

Para cumplir con el objetivo del proyecto, fue necesario hacer la siguiente inversión:

**Tabla 3**

*Materiales 1*

VIABILIDAD ECONOMICA		
ITEM	DESCRIPCION	SUBTOTAL
1	Compra de equipos	\$ 1.514.703,40
2	Alquiler taladro	\$ 15.000,00
3	Operación C.N.C Router	\$ 40.000,00
4	Operación C.N.C Cortadora Laser	\$ 30.000,00
5	Operación C.N.C Impresora 3D	\$ 200.000,00
6	Sierra Angular	\$ 30.000,00
7	Otros	\$ 420.000,00
8	Alquiler Voltmetro	\$ 15.000,00
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2.264.703,40</b>

**Tabla 4**

*Costo de Inversión 1*

Costo inversión banco laboratorio (\$)	
Concepto	VALOR
<b>Inversión</b>	2.264.703,4
<b>Total, de la inversión</b>	2.264.703,4

Con la finalidad de evaluar la viabilidad de la construcción y operación del prototipo a escala de laboratorio de un sistema de aire acondicionado agua-aire, se realizó proyección de

costos-operación en uso, determinando el flujo de ganancia por la operación, los cuales se relacionan a continuación:

**Tabla 5**

*Costo de operación*

<b>Costos de operación por ciclo de 2 horas funcionamiento (\$)</b>					
<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>	<b># Ciclos/día</b>	<b>Días laborados al mes</b>	<b>Costo operación / Mes</b>	<b>Costo operación / Año</b>
<b>Energía w/h</b>	1.000,00	4,00	30,00	120.000,00	1.440.000,00
<b>Depreciación en 5 años</b>	314,54	4,00	30,00	37.745,06	452.940,68
<b>Mantenimiento preventivo</b>	220,00	4,00	30,00	26.400,00	316.800,00
<b>Mantenimiento correctivo</b>	110,00	4,00	30,00	13.200,00	158.400,00
<b>TOTAL, COSTO</b>	1.644,54			197.345,06	2.368.140,68

Una vez determinado los costos de operación, se procedió a realizar los cálculos financieros para determinar un flujo de operación positivo, generando rentabilidad para el uso del sistema.

**Tabla 6**

*Ingresos por operación 1*

<b>Ingresos por operación por ciclo de 2 horas funcionamiento (\$)</b>
--

Concepto	Valor	# Ciclos/día	Días laborados /mes	Ingreso operación / mes	Ingreso operación /mes
Ingreso	2.137,90	4,00	30,00	256.548,57	3.078.582,88
<b>Total, ingresos</b>	<b>2.137,90</b>			<b>256.548,57</b>	<b>3.078.582,88</b>

Tabla 7

Amortización 1

	Flujo de caja (\$)					
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
<b>TOTAL, INGRESOS</b>	0,00	3.078.5	3.078.5	3.078.5	3.078.5	3.078.5
<b>TOTAL, EGRESOS</b>	2.264.70	2.368.1	2.368.1	2.368.1	2.368.1	2.368.1
	3,40	40,68	40,68	40,68	40,68	140,68
<b>FLUJO NETO</b>	-	710.44	710.44	710.44	710.44	710.44
	2.264.70	2,20	2,20	2,20	2,20	42,20
	3,40					
<b>TIR</b>	17,0%					
<b>VPN</b>	2.560.98					
	5,15					

Teniendo en cuenta los cálculos anteriores, se logró determinar que el diseñar y construir el prototipo a escala de laboratorio de un sistema de aire acondicionado agua-aire, es financieramente viable, en tanto que los costos de inversión inicial para su construcción son de \$2.264.703,4 y el operarlo continuamente con ciclos de dos (2) horas, con una operación de un horizonte de proyección a cinco (5) años de uso, se logra obtener una rentabilidad positiva de la

TIR =17,0%. Por tanto, es viable su construcción, teniendo en cuenta su propósito educativo, es útil para que los estudiantes de la universidad realicen las prácticas de sus ensayos en el laboratorio, propiciando aprendizaje y conocimiento práctico para los estudiantes que hagan uso de este sistema.

## Capítulo 4 - Análisis termodinámico

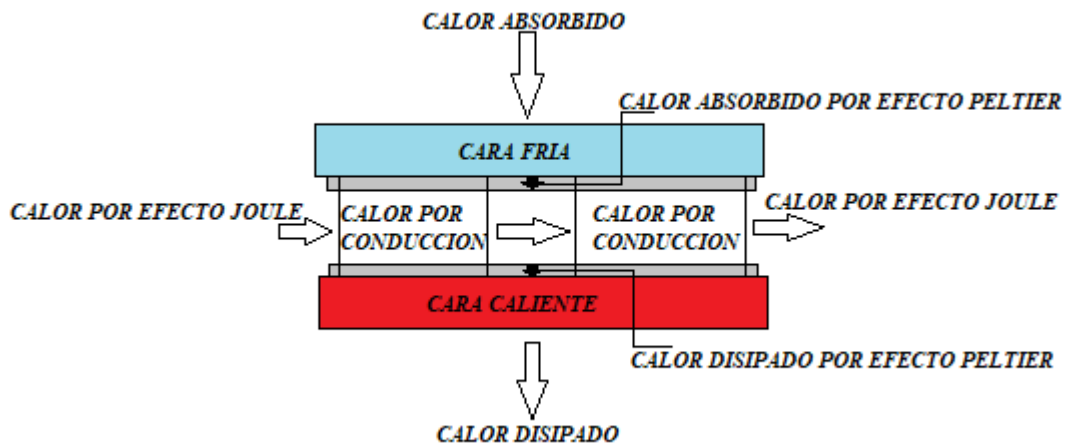
El análisis termodinámico del presente proyecto se basa en: cálculo del calor absorbido y disipado por la celda Peltier, coeficiente de convección en el disipador.

### 4.1. Balance de Energía en la Celda Peltier

A continuación, en la figura 35, se muestra la energía presente producida por el efecto Peltier, donde se aplica como principio la primera ley de la termodinámica, es decir, como un sistema puede intercambiar energía a su alrededor mediante la transferencia de calor.

**Figura 36**

*Balance de Calor de una Celda Peltier*



*Nota.* Representación esquemática de balance de energía. Tomado de (Briceño Prado, 2022)

$Q_F$ : Calor absorbido (W)

$Q_{EPF}$ : Calor absorbido por efecto peltier (W)

$Q_C$ : Calor disipado (W)

$Q_{EPC}$ : Calor disipado por efecto peltier (W)

$Q_{JF}$ : Calor generado por efecto joule cara fria (W)

$Q_{JC}$ : Calor generado por efecto joule cara caliente (W)

$Q_{CONDUCCION}$ : Calor por conduccion (W)

#### 4.2. Balance de calor en la cara fría

Partiendo del efecto Peltier se divide el balance de energía en las dos caras, tomando la cara fría para efecto de cálculo del calor como se denota en la Ecuación 1 (Cengel, 2011):

$$Q_F = Q_{EPF} - Q_{JF} - Q_{CONDUCCION} \quad (1)$$

Se tiene el calor que es producido por el efecto Joule, el cual circula por la Peltier en la cara fría como se muestra en la Ecuación 2:

$$Q_{JF} = 0,5 * R * I^2 (W) \quad (2)$$

R: Resistencia de la peltier ( $\Omega$ )

I: Intensidad corriente (A)

Dado que la celda Peltier cuenta con semiconductores internos, este presenta calor por conducción que se calcula por la ley de Fourier en la Ecuación 3 (Cengel, 2011):

$$Q_{CONDUCCION} = -K * A * \frac{\nabla T}{e} (W) \quad (3)$$

K: Conductivida del material  $\left(\frac{W}{m * K}\right)$

A: Area transversal ( $m^2$ )

e: espesor de la placa peltier ( $m^2$ )

Entonces la diferencia de temperatura será la cara caliente y cara fría como se muestra en la Ecuación 4:

$$\nabla T = T_c - T_F \quad (4)$$

$\nabla T$ : Diferencia de temperatura entre la superficie (K)

$T_c$  = Temperatura de la cara caliente (K)

$T_F$  = Temperatura de la cara fria (K)

Luego se expresa con la Ecuación 5, el calor absorbido por el efecto Peltier:

$$Q_{EPF} = \alpha * T_F * I \text{ (W)} \quad (5)$$

Por el efecto Peltier actúa un coeficiente llamado Seebeck este es debido a la diferencia de voltaje que circula por la placa, esta se expresa en la Ecuación 6:

$$\alpha = - \frac{\nabla V}{\nabla T} \quad (6)$$

$\alpha$ : coeficiente de seebeck  $\left(\frac{V}{K}\right)$

$\nabla V$  = diferencia de voltaje (V)

Por lo tanto, sustituyendo en la Ecuación 1, la Ecuación 2 Ecuación 3 y Ecuación.5 queda de la siguiente manera mostrada en la Ecuación 8:

$$Q_F = \alpha * T_F * I - 0,5 * R * I^2 - K * A * \frac{T_C - T_F}{e} \quad (8)$$

Tomando en cuenta las ecuaciones expresadas, se da continuidad al desarrollo de estas con los datos iniciales suministrados como se muestra en Tabla 8.

**Tabla 8**

*Datos iniciales 1*

Datos	Unidades
R=5,6	$\Omega$
I=2,6	A
V=11,91	v
T <sub>F</sub> =290	$^{\circ}$ K
T <sub>C</sub> =319	$^{\circ}$ K
$\alpha$ =-0,4110	v/ $^{\circ}$ K
$\nabla T$ =29	$^{\circ}$ K
K=0,37	w/m* $^{\circ}$
	K
A=0,016	m <sup>2</sup>
e =0,0004	m

A continuación, reemplazando los datos en la Ec.7, se tiene que el calor total absorbido da como resultado.

$$Q_F = -285,7 \text{ W} \quad \text{Calor total absorbido}$$

### 4.3. Balance de calor en la cara caliente

Tomando en cuenta el efecto Peltier, se pasa a analizar la cara caliente para el cálculo del calor disipado como se denota en la ecuación 8 (Cengel, 2011):

$$Q_C = Q_{EPC} + Q_{JC} - Q_{CONDUCCION} \quad \text{Ec.8}$$

Luego se tiene el calor que es producido por el efecto Joule, este se conserva el valor de la ecuación 2:

$$Q_{JC} = 18,93 \text{ (W)}$$

Dado que la celda Peltier cuenta con semiconductores internos, esta presenta calor por conducción que se denomina por la ley de Fourier se sigue conservando igualmente de la ecuación 3 que tiene como resultado:

$$Q_{CONDUCCION} = -42,92 \text{ (W)}$$

Para el cálculo del calor disipado por el efecto Peltier que se calcula según la Ecuación 9 se conserva el valor del coeficiente de Seebeck que es  $\alpha = -0,4107 \text{ V/K}$ .

$$Q_{EPC} = \alpha * T_C * I \text{ (W)} \quad (9)$$

$$Q_{EPC} = -340,7 \text{ (W)}$$

Luego se sustituyeron los valores de calor por el efecto Joule, Peltier y conducción en la ecuación 9 tenemos como resultado;

$$Q_c = -285,7 \text{ (W)} \quad \text{Calor total disipado}$$

#### 4.4. Cálculo de coeficiente de convección

A continuación, como existe presencia de un ventilador se calcula la velocidad del flujo de aire inducido con la ecuación 10 (Mott, 2006), y se considera como flujo forzado.

$$V_{\text{aire}} = \frac{Q_{\text{ven}}}{A_{\text{ven}}} \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) \quad (10)$$

donde;

$$Q_{\text{ven}}: \text{Flujo volumétrico} \quad \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$A_{\text{ven}}: \frac{\pi \cdot D^2}{4} \text{ Area del ventilador} \quad (\text{m}^2)$$

$$D: \text{Diametro del ventilador} \quad (\text{m})$$

De acuerdo con las especificaciones del ventilador tenemos que su flujo volumétrico es de  $0,001557 \text{ m}^3/\text{s}$  y su diámetro es de  $0,03 \text{ m}$ , luego reemplazando estos valores en la ecuación 10 tenemos como resultado;

$$V_{\text{aire}} = 2,203 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Después de determinar la velocidad del aire se procede a calcular el diámetro hidráulico al interior del dissipador como se indica en la Ecuación 11 (Cengel, 2011). Siendo un parámetro importante en el flujo de fluidos.

$$D_h = \frac{4 * A_m}{P_m} \text{ (m)} \quad (11)$$

Donde:

$D_h$ : Diametro hidraulico (m)

$A_m$ :  $L * W$  Area mojada (m<sup>2</sup>)

$P_m$ :  $L + W$  Perimetro mojado (m)

$L$ : Longitud aleta dissipador (m)

$W$ : Espesor (m)

Las especificaciones del dissipador son: longitud de la aleta de 0,023 m y espesor de 0,005 m, con estos valores se calculó el área y el perímetro mojados como se muestra a continuación.

$$A_m = 0,000115 \text{ (m}^2\text{)}; P_m = 0,028 \text{ (m)}$$

Posteriormente se reemplaza los valores del área y perímetro mojado en la ecuación 11 dando como resultado el siguiente valor;

$$D_h = 0,01643 \text{ (m)}$$

Después de haber determinado los valores del diámetro hidráulico y la velocidad del aire; se calcula el número de Reynolds con la Ecuación 12 (Cengel, 2011);

$$Re = \frac{\rho_{aire} * D_h * V_{aire}}{\mu_{aire}} \quad (12)$$

Donde:

Re: Numero de Reynolds

$\rho_{\text{aire}}$  : Densidad del aire  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

$\mu_{\text{aire}}$  = Viscosidad dinamica  $\left(\frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}}\right)$

Luego se determinó las propiedades del aire con la temperatura ambiente de 24 °C y una presión de 1 atmosfera equivalente a 101,325 Kpa.

$\rho_{\text{aire@24}^\circ\text{C}}$  : 1,188  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

$\mu_{\text{aire@24}^\circ\text{C}}$  = 0,00001844  $\left(\frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}}\right)$

Reemplazando los valores de: la velocidad, viscosidad, diámetro hidráulico en la ecuación 12, tenemos que el número de Reynolds es:

$$\mathbf{Re = 4664}$$

Cuando el número de Reynolds es mayor a 4000, se concluye que hay flujo turbulento, indicando la presencia de convección forzada.

Después de establecer que hay flujo turbulento, se procede a calcular el número de Nusselt con la ecuación 13 (Cengel, 2011). En el caso de ductos no circulares con convección forzada, se emplea la ecuación de Dittus Boelter (Mills, 1995).

A continuación, se debe conocer el número de Prandtl para aplicar la Ecuación 13 y este se determina con la temperatura ambiente y presión:

$$\Pr_{@24^\circ\text{C}-1\text{ atm}} = 0,7283$$

Donde

Pr: Numero de prandtl

Si  $Re > 2300$ , se considera flujo turbulento entonces  $0.6 < Pr < 160$  y  $n=0,4$  para el calentamiento y  $0,3$  para el enfriamiento del fluido que fluye, se usa la siguiente ecuación:

$$Nu = 0,0023 * Re^{0,8} * Pr^n \quad (13)$$

Nu: Numero de nusselt

n: constante de enfriamiento ó calentamiento

sustituyendo los valores en la ecuación 13, tenemos que el número de Nusselt es;

$$\mathbf{Nu = 18,01}$$

Por ello tenemos que el coeficiente de transferencia de calor por convección

(Incropera, 1999)

$$h = \frac{k * Nu}{D_h} \quad (14)$$

$$\mathbf{h = 13,94 \left( \frac{W}{m^2 * K} \right)}$$

## Capítulo 5. Evaluación de los parámetros de funcionamiento

Para ello, se toma en cuenta la temperatura de los espacios a acondicionar. Esta varía en relación con la temperatura ambiente y depende de cada sistema de aire acondicionado la temperatura final. Los sistemas de aire acondicionado propuestos en el prototipo tienen la misma fuente generadora de frío. Sus diferencias se basan en la forma de suministro del frío. En el sistema aire-aire, el aire se enfría más rápidamente debido a que fuerza el flujo de aire directamente sobre el dissipador frío. Por otro lado, el sistema agua-aire demora más en transportar el frío, ya que primero debe enfriar el volumen de agua antes de distribuir el frío a la unidad dentro del espacio a acondicionar. Para evaluar el funcionamiento se realiza a través de las siguientes posibilidades prácticas:

### 5.1. Sistema cerrado

Donde los cuartos a acondicionar estén totalmente cerrados, sin permitir flujo de aire, en este podría variar de dos maneras; la primera es sin carga de calor, la segunda es con carga de calor, la cual es suministrada por bombillos incandescentes, esto para aplicar para ambos sistemas.

### 5.2. Sistema abierto

Donde uno de los cuartos a acondicionar de cada sistema tiene una ventanilla para que se lleve a cabo un intercambio de calor con el ambiente exterior y así comparar con el cuarto que está cerrado. El sistema aire – aire cuenta con un control en la toma de aire y puede tomar aire del exterior y recircular aire del interior o solo recircular el aire del interior; en esta variante se podrá

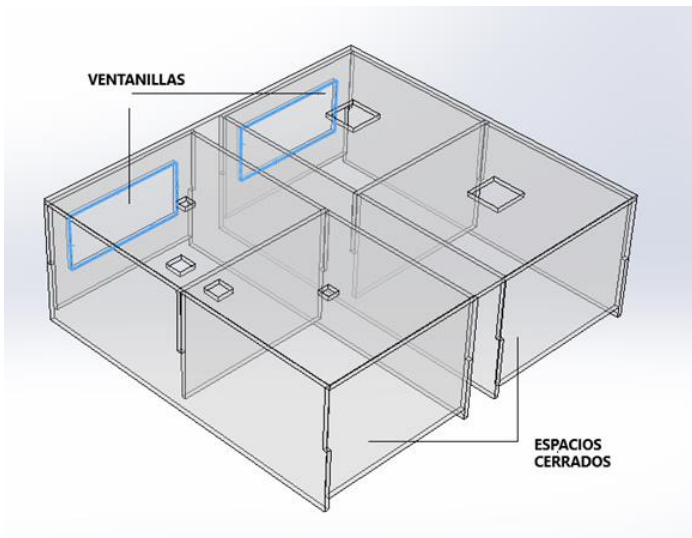
analizar cómo cambia la humedad y la temperatura dependiendo de la configuración que se tenga de toma de aire.

### 5.3. Operatividad

Para el funcionamiento del sistema se requiere que esté conectado a la red eléctrica del laboratorio o área de trabajo. El prototipo no cuenta con accesorios adicionales para montar durante las diferentes prácticas, cuenta con unas ventanillas removibles que se pueden retirar según el fenómeno a analizar durante las actividades prácticas. En la Figura 35, sobre el lateral corto se pueden observar los espacios de las ventanillas removibles.

**Figura 37**

*Ventanillas removibles*



Este prototipo tiene una secuencia sugerida de encendido y apagado para su correcto funcionamiento, los pasos son los siguientes:

1. Conectar la fuente a la red eléctrica.
2. Encender los termohigrómetros.
3. Encender la fuente.
4. Encender la bomba.

5. Encender los termostatos.
6. Encender los ventiladores.
7. Encender bombillos.
8. Apagar los bombillos.
9. Apagar los ventiladores.
10. Apagar los termostatos.
11. Apagar la bomba.
12. Apagar la fuente.
13. Apagar los termohigrómetros.
14. Desconectar de la red eléctrica.

#### **5.4. Instrucciones principales, advertencias y precauciones**

Para encender los termohigrómetros, se debe oprimir el segundo botón ubicado en la parte posterior, el cual es el de encendido y apagado. El primer botón es para cambiar la escala de temperatura a Fahrenheit. Es importante tener en cuenta que el banco de laboratorio está construido con componentes sensibles, por lo tanto, se recomienda no exceder los 120 minutos de uso continuo en cada ciclo de operación. Después de cada ciclo, es aconsejable apagar el banco durante al menos 10 minutos antes de reiniciar su funcionamiento. Además, se sugiere limitar el uso a un máximo de 4 ciclos por día, ya que este sistema se ha diseñado con fines experimentales y educativos, no para uso comercial. Verificar que el sistema de agua no tenga presencia de aire, ya que es un sistema cerrado. En caso de que llegue a presentarse aire en el sistema, es debido a una fuga del líquido; por consiguiente, se debe realizar un nuevo llenado de agua al sistema. Es importante no operar la bomba con presencia de aire en el sistema.

### **Capítulo 6. Prácticas de laboratorio**

Desarrollo de la práctica: Para el desarrollo de la práctica, primero se procederá a identificar las partes del prototipo presente en el laboratorio, luego se deberán tomar los datos de tiempo, temperatura y humedad de cada termohigrómetro. Después se tomarán los primeros datos de temperatura y humedad de cada termohigrómetro, sin encender los sistemas de generación de frío. Luego, se procederá a tomar los siguientes datos cada 5 minutos, registrando los datos obtenidos en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Registro de información 1*

Hora de inicio		Hora final				Fecha	
No Dato	Tiempo [min]	Sistema aire-aire		Sistema agua-aire		Ambiente	
		Espacio 1	Espacio 2	Espacio 3	Espacio 4	Termino higrómetro 5	
		Termino higrómetro 1	Termino higrómetro 2	Termino higrómetro 3	Termino higrómetro 4		
		Temperatura [°C] Humedad [%]	Temperatura [°C] Humedad [%]	Temperatura [°C] Humedad [%]	Temperatura [°C]	Humedad [%] Temperatura [°C]	Humedad [%]
1	0						
2	5						
3	10						
4	15						
5	20						
6	25						

*Nota.* Esta tabla será usada en cada práctica.

Con este prototipo de sistema de aire acondicionado se realizarán 3 prácticas, para estudiar los cambios de temperatura y humedad dependiendo de la configuración de los sistemas a estudiar.

### 6.1. Práctica 1

Esta práctica se divide en dos fases: Primera fase: Inicialmente se encienden los termohigrómetros para tomar los datos de temperatura y porcentaje de humedad inicial de los espacios a acondicionar, luego se procede a encender los sistemas de generación de frío y se comienza a registrar la temperatura y humedad de los espacios acondicionados mientras se estabilizan a la temperatura requerida, se emplea la Tabla 9 en la cual se registran datos, por aproximadamente 30 minutos cada 5 minutos, para una toma de 6 datos, con la finalidad de analizar el cambio de temperatura y humedad de cada espacio acondicionado.

Segunda fase: Terminada la primera fase, se procede a simular carga de calor encendiendo las bombillas incandescentes, como el de la Figura 36, con el propósito de observar el cambio de temperatura y humedad en el espacio acondicionado al recibir esta carga térmica, se ejecutará durante 30 minutos registrando los datos en la Tabla 9, cada 5 minutos.

#### Figura 38

*Bombilla incandescente*

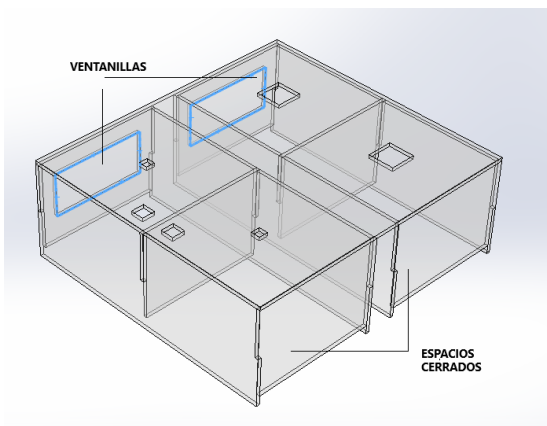


## 6.2. Práctica 2

En esta práctica, se llevará a cabo una comparación de los espacios acondicionados, ya que se dispone de dos tipos de espacios por cada sistema. Uno de ellos está totalmente cerrado, mientras que el otro cuenta con unas ventanillas, como se aprecia en la Figura 37, que pueden retirarse con la finalidad de simular una carga térmica al permitir el flujo de aire desde el interior hacia el exterior. Se deben registrar los datos en la Tabla 9 cada 5 minutos, durante un periodo de 30 minutos.

### Figura 39

*Espacios a acondicionar*



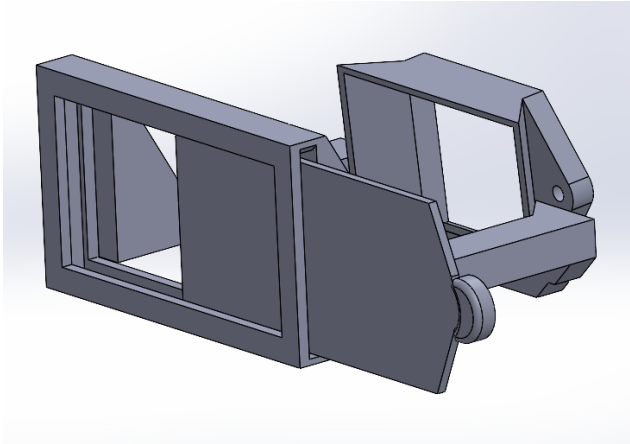
## 6.3. Práctica 3

El sistema aire-aire cuenta con un control en la toma de aire, como se puede observar en la Figura 38. Este cuenta con una ventanilla móvil que permite la recirculación del aire presente en el ciclo de acondicionamiento cuando está colocada; cuando es retirada, permite la renovación del aire que circula al interior del sistema. Para efectos de la práctica, se enciende el sistema con la ventanilla cerrada, se espera 15 minutos para la estabilización de la carga térmica; posteriormente,

se procede a registrar el dato inicial y a su vez se retira la ventanilla se da inicio a la toma de datos, cada 5 minutos.

**Figura 40**

*Ventanilla móvil*



Con los datos recolectados, se deberá realizar graficas comparativas, con la finalidad de apreciar el comportamiento de la temperatura en cada espacio. Para un análisis adecuado se deben analizar los datos de la siguiente manera:

- 1- Comparar los espacios 1 y espacios 2.
- 2- Comparar los espacios 3 y 4.
- 3- Comparar los espacios 2 y 4, de esta comparación se notará la diferencia entre los sistemas presentes.

### Capítulo 7. Resultados

Realizando la practica 1, se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 10**

*Fases 1.1.*

Hora de inicio		2:45 p.m.		Hora final		3:10 p. m.		Fecha		5/12/2023			
		Sistema aire-aire				Sistema agua-aire				Ambiente			
		Espacio 1		Espacio 2		Espacio 3		Espacio 4					
		Termohigrómetro 1		Termohigrómetro 2		Termohigrómetro 3		Termohigrómetro 4		Termohigrómetro 5			
N° Dato	Tiempo [min]	Temperatura [ ° C ]		Humedad [ % ]		Temperatura [ ° C ]		Humedad [ % ]		Temperatura [ ° C ]		Humedad [ % ]	
1	0	27,6	62	27,7	55	27,1	57	26,9	60	27,4	62		
2	5	26,9	60	26,2	56	27	57	26,8	59	27,4	62		
3	10	26,6	61	26	56	27,2	57	27	59	27,4	62		
4	15	26,5	61	25,9	56	27,4	57	27,1	59	27,4	62		
5	20	26,5	62	25,9	56	27,4	57	27,2	59	27,4	62		
6	25	26,5	61	25,9	56	27,3	56	27,2	59	27,5	62		

**Tabla 11***Fase 2.1*

Hora de inicio		3:25 p.m.		Hora final		3:50 p.m.		Fecha		5/12/2023			
		Sistema aire-aire				Sistema agua-aire				Ambiente			
		Espacio 1		Espacio 2		Espacio 3		Espacio 4					
		Termohigrómetro 1		Termohigrómetro 2		Termohigrómetro 3		Termohigrómetro 4		Termohigrómetro 5			
N° Dato	Tiempo [min]	Temperatura [ ° C ]		Humedad [ % ]		Temperatura [ ° C ]		Humedad [ % ]		Temperatura [ ° C ]		Humedad [ % ]	
1	0	26,5	61	25,9	56	27,3	57	27,2	59	27,5	62		
2	5	26,8	60	26,1	56	27,1	57	26,9	56	27,5	62		
3	10	27	60	26,2	56	27,1	57	26,9	59	27,6	62		
4	15	27,1	60	26,3	56	27,2	57	26,9	59	27,6	62		
5	20	27,2	60	26,4	56	27,2	57	27	59	27,6	62		
6	25	27,2	60	26,4	56	27,2	57	27	59	27,5	62		

Tabla 12

## Práctica 2

Hora de inicio		3:55 p.m.		Hora final		4:25 p. m.		Fecha		5/12/2023			
		Sistema aire-aire				Sistema agua-aire				Ambiente			
		Espacio 1		Espacio 2		Espacio 3		Espacio 4					
		Termohigrómetro 1		Termohigrómetro 2		Termohigrómetro 3		Termohigrómetro 4		Termohigrómetro 5			
N° Dato	Tiempo [min]	Temperatura [ ° C ]		Humedad [ % ]		Temperatura [ ° C ]		Humedad [ % ]		Temperatura [ ° C ]		Humedad [ % ]	
1	0	26,6	61	26	56	26,8	58	26,7	60	27,4	62		
2	5	27	61	26	56	26,9	58	26,7	60	27,4	62		
3	10	27,1	61	26	56	26,9	57	26,7	60	27,4	63		
4	15	27,1	61	26	56	27	57	26,6	60	27,4	63		
5	20	27,1	61	26	56	26,9	57	26,6	60	27,4	63		
6	25	27,2	60	26	57	27	57	26,6	61	27,4	63		

Tabla 13

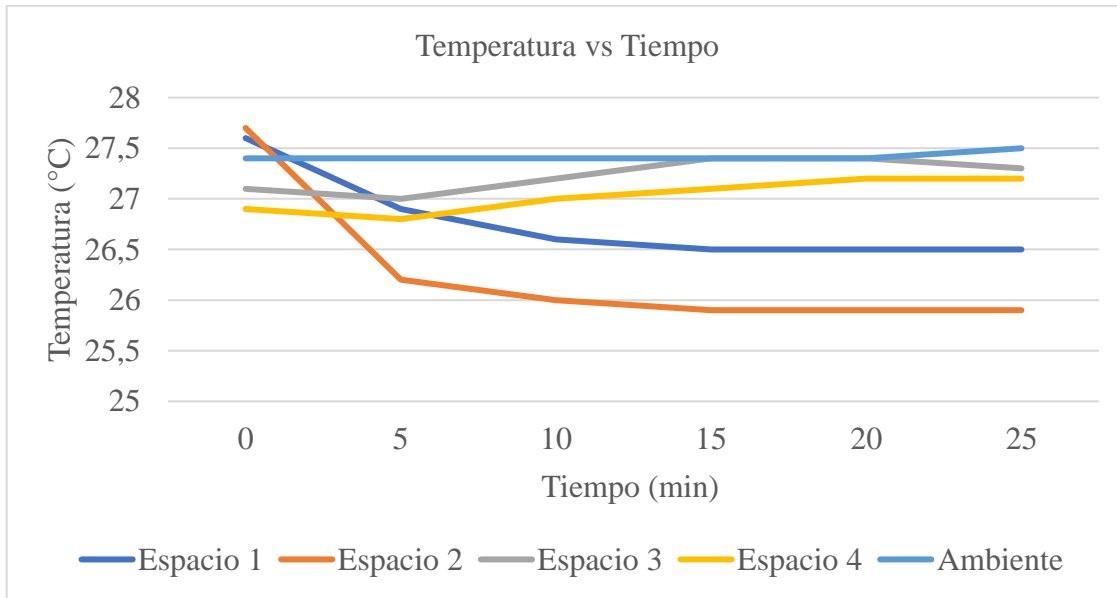
Práctica 3

Hora de inicio		11: 35 a.m.		Hora final		12:00 p.m.		Fecha		10/12/2023	
		Sistema aire-aire				Sistema agua-aire				Ambiente	
		Espacio 1		Espacio 2		Espacio 3		Espacio 4			
		Termohigrómetro 1		Termohigrómetro 2		Termohigrómetro 3		Termohigrómetro 4		Termohigrómetro 5	
		[ ° C ]		[ ° C ]		[ ° C ]		[ ° C ]		[ ° C ]	
		[ % ]		[ % ]		[ % ]		[ % ]		[ % ]	
N° Dato	Tiempo [min]	Temperatura [ ° C ]	Humedad [ % ]	Temperatura [ ° C ]	Humedad [ % ]	Temperatura [ ° C ]	Humedad [ % ]	Temperatura [ ° C ]	Humedad [ % ]	Temperatura [ ° C ]	Humedad [ % ]
1	0	25,7	60	25,7	54	25,7	56	25,5	57	27,1	58
2	5	26,1	59	25,3	54	26,1	55	25,6	58	27	58
3	10	26,2	60	25,4	54	26,2	55	25,7	58	26,9	58
4	15	26,3	59	25,5	54	26,3	55	25,8	58	26,8	59
5	20	26,4	60	25,5	54	26,3	55	25,8	58	26,8	59
6	25	26,4	60	25,6	54	26,4	56	25,8	58	26,9	59

## Capítulo 8. Análisis de resultados

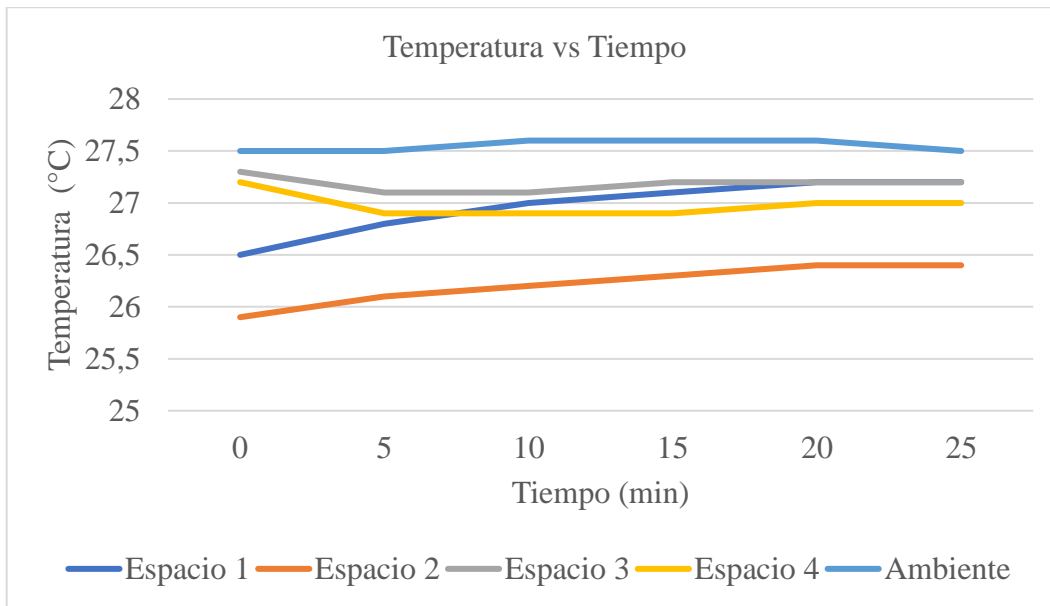
Figura 41

Fase 1

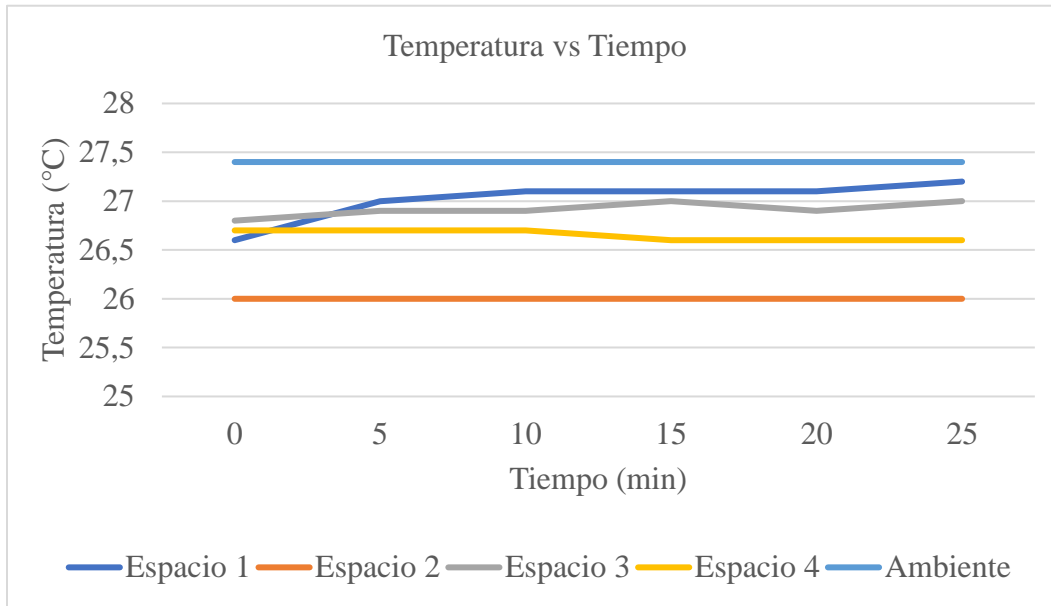


En los primeros 5 minutos del intervalo, la temperatura en los espacios 3-4 se mantiene de manera lineal, pero después de ese tiempo comienza a aumentar. Este cambio se atribuye a la energía radiada por los alrededores y al motor eléctrico presente en los espacios 3 y 4, el cual emite una carga térmica adicional. Esta acumulación de calor provoca un efecto invernadero, haciendo que la temperatura aumente de manera más pronunciada.

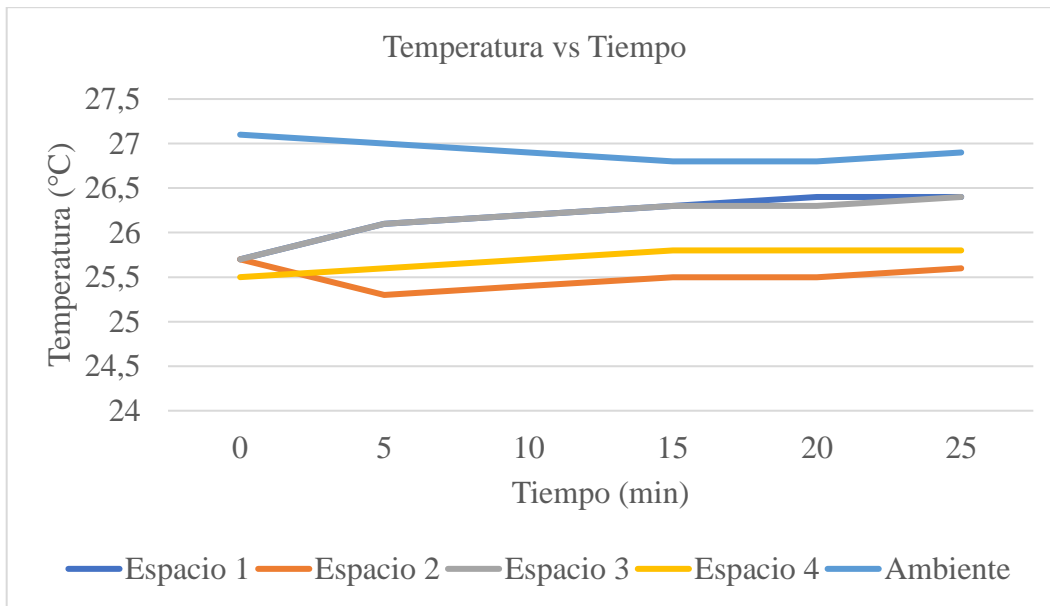
En contraste, en los espacios 1-2, se evidenció un cambio más pronunciado en los primeros 5 minutos, comportándose de manera lineal, pero luego se estabiliza y se vuelve constante. Este comportamiento se debe a la eficiencia del proceso en estos espacios, lo que permite un acondicionamiento más rápido y una menor acumulación de calor.

**Figura 42***Fase 2*

Después de la fase 1, se aguardó un periodo de 15 minutos para permitir que los espacios alcanzaran una estabilidad térmica. Sin embargo, al encenderse los bombillos durante la ejecución de la práctica, se observó un aumento en la temperatura. Este incremento se debe a la carga térmica generada por los bombillos, es decir, la liberación de calor que producen durante su funcionamiento.

**Figura 43***Práctica 2*

Después de un periodo de espera de 15 minutos para estabilizar el sistema, se procedió a retirar las ventanillas posteriores de los espacios 1 y 3. Este cambio resultó en un aumento de temperatura evidente en comparación con los espacios 2 y 4, que permanecieron cerrados.

**Figura 44***Práctica 3*

En la práctica número 3, se observó que el cambio de temperatura está directamente influenciado por la renovación de aire. Esto se evidenció al retirar las ventanillas frontales después de haber llevado a cabo prácticas en un sistema cerrado con solo retorno de aire. En comparación con la fase 1, se notó un aumento de la temperatura, el cual persistió hasta que se alcanzó el equilibrio térmico.

### 8.1. Conclusiones

- Se ha desarrollado y construido un prototipo a escala 1:20, teniendo presente las dimensiones de una habitación real, con el objetivo específico de utilizarlo como recurso didáctico en la enseñanza de refrigeración y aire acondicionado. Con la finalidad de adaptarlo a diversas aplicaciones.
- La construcción del prototipo de aire acondicionado se desarrolló bajo el principio de funcionamiento de una celda Peltier, empleando diferentes accesorios para la elaboración de dos sistemas de distribución de frío, que se basa en modelos convencionales de aire acondicionado en la industria.
- La viabilidad económica es factible debido a que se va a contar con el prototipo para el laboratorio de aire acondicionado, esta inversión es representativa comparada con el impacto de aprendizaje al momento de enseñar. Los costos de fabricación fueron mínimos respecto a una salida práctica el cual lleva factores a tener presente como riesgos, tiempo y estabilidad económica.
- Se evidenció que el desempeño del sistema presenta irregularidades como son: exceso de volumen de agua presente en el sistema, calibración de instrumentación electrónica (sensores), efecto invernadero, ubicación de equipos de medición

(temperatura y humedad), aislamiento del kit de refrigeración para evitar la condensación y disipación de calor ambiente externo.

### Referentes Bibliográficos

Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión, Segunda edición. España: FC Editorial 2004.

Briceño Prado, L. F. (2022). Viabilidad técnico económica del uso de las celdas peltier en la climatización de tableros eléctricos para prolongar la vida útil de la aparamenta eléctrica.

Cengel, YA y Ghajar, AJ (2007). Transferencia de calor y masa (Vol. 53). McGraw-Hill Interamericana.

Comité europeo para la estandarización. (2016). Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural— recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos (ISO 14224:2016). Bruselas.

C. Rubio Ramírez, G. M. (2017). Termoelectricidad: uso de las celdas peltier en el campo de la refrigeración y sus principales aplicaciones. Revista Inventum, vol. 12, n.º 22, pp. 9–16.

Guzmán, D. (2018). Plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para los equipos críticos de la planta de rendering del frigorífico Vijagual S.A. Bucaramanga.

Herrera Sánchez, A. F., & Quintero Herrera, T. J. (2013). Diseño de un banco para la mediación de temperatura en el Laboratorio de Instrumentación de la Universidad Pontificia Bolivariana.

Logvinov, GN, del Río Valdés, JL, & Gurevich, YG (2005). Teoría lineal del enfriamiento termoeléctrico de Peltier. Superficies y vacío, 18 (2), 26-29.

Mott, R. L. (1996). Mecánica de fluidos aplicada. Pearson Educación.

Norma Internacional ISO 55000. (2014). Gestión de activos — Aspectos generales, principios y terminología. Suiza.

Rubio Ramírez, C., Martheyn Lizarazo, G., & Vera Duarte, E. (2017). Termoelectricidad: uso de las celdas peltier en el campo de la refrigeración y sus principales aplicaciones. *Inventum*, pp. 9–16.

SAE International, Engineering Society for Advancing Mobility, Land Sea Air and Space. (1999). *Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad SAE JA1011*. Estados Unidos.

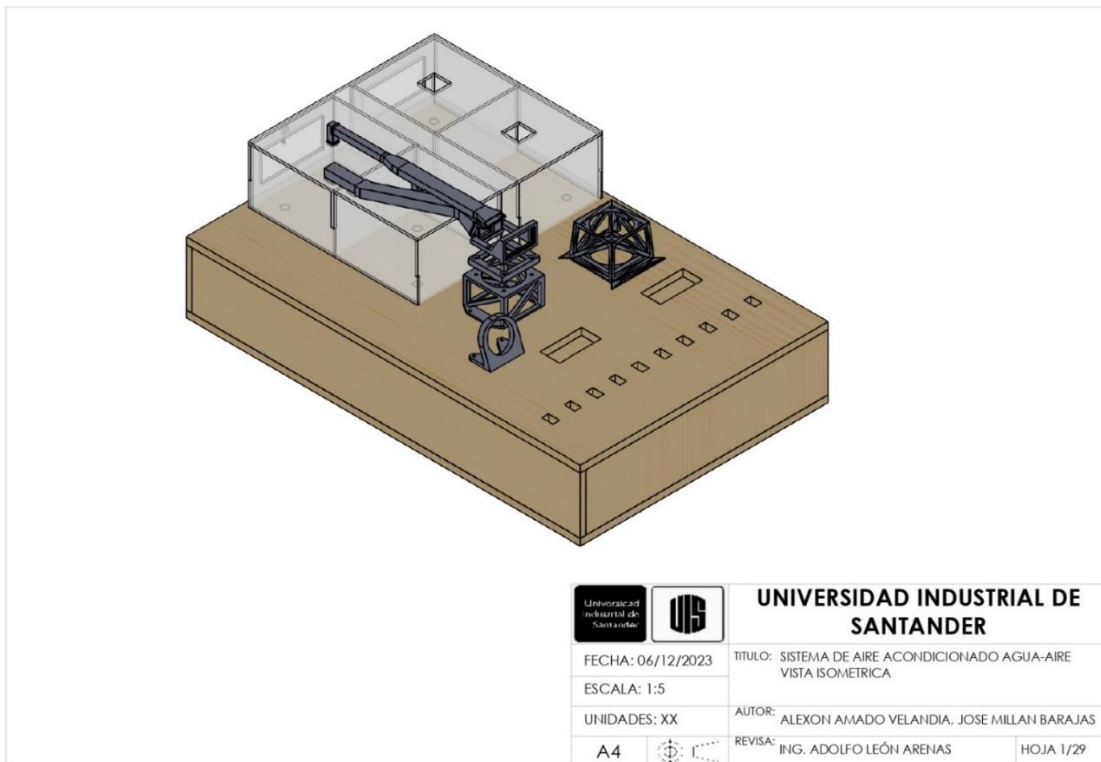
Seung-Goo, K. (2019). Design of an Alarm System Using a Thermoelectric Generator [Diseño de un Sistema de Alarma mediante un Generador Termoeléctrico].

Patterson, G., & Sobral, M. Efecto Peltier. Argentina, Universidad de Buenos Aires, Departamento de Física FCEyN,[en línea]. 2007, 4 P.

## Apéndices

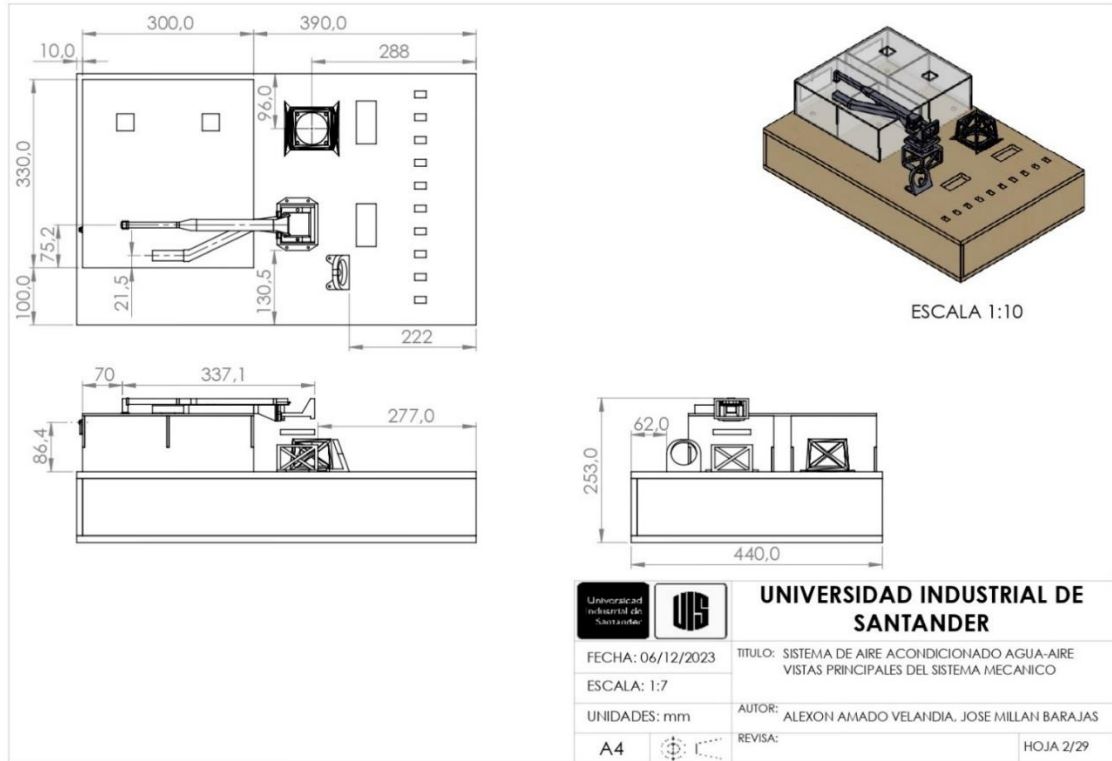
## Apéndice 1

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Vista Isométrica*



Apéndice 2

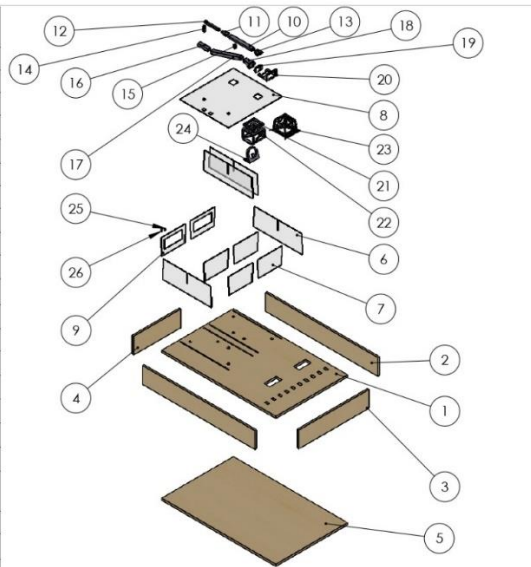
Sistema de aire acondicionado agua-aire. Vista principales del sistema mecánico



Apéndice 3

Sistema de aire acondicionado agua-aire. Vista explosionada

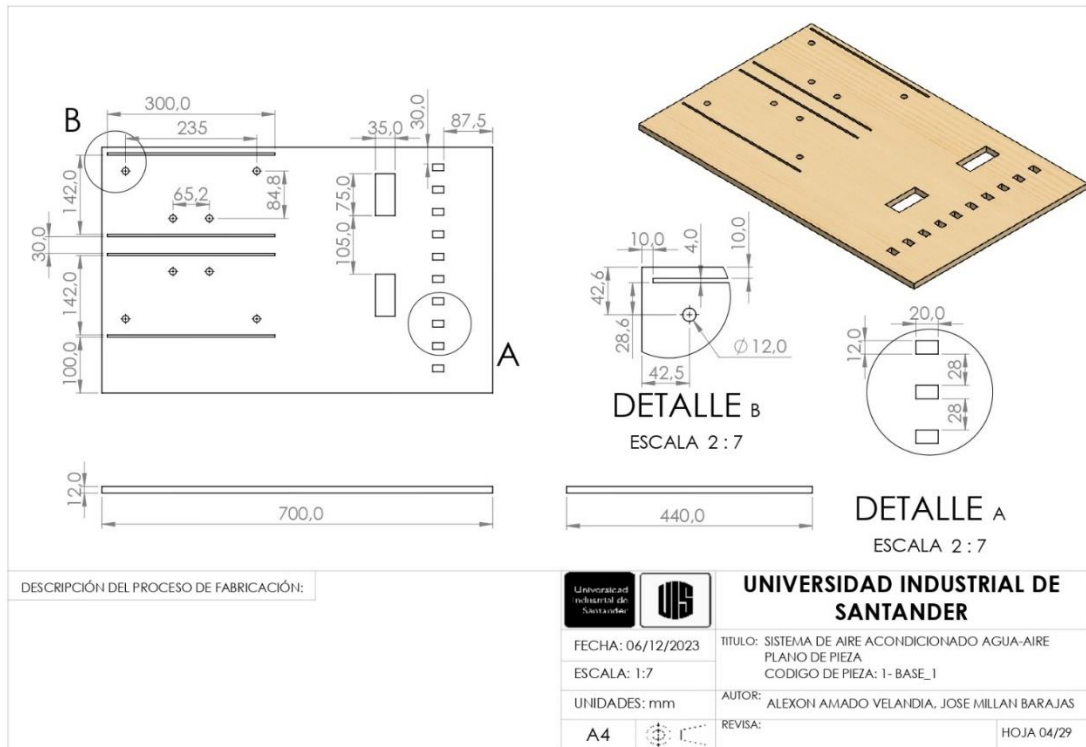
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT
1	BASE_1	MADERA	1
2	LATERAL DE MADERA	MADERA	2
3	LARERAE 2 MADERA	MADERA	1
4	TAPA MADERA FUENTE	MADERA	1
5	PLANTA INFERIRO	MADERA	1
6	LATERAL_1	ACRILICO	4
7	LATERAL_2	ACRILICO	4
8	TAPA SUPERIOR	ACRILICO	1
9	LATERAL_2_V	ACRILICO	2
10	ACOPLE 1	FILAMENTO PLA	1
11	PIEZA2,1	FILAMENTO PLA	1
12	PIEZA 3	FILAMENTO PLA	1
13	PIEZA2FINAL	FILAMENTO PLA	1
14	BAJANTE FINAL	FILAMENTO PLA	1
15	BAJANTE CENTRO	FILAMENTO PLA	1
16	S_VENTILAS	FILAMENTO PLA	1
17	DIAGONAL	FILAMENTO PLA	1
18	ACOPLE VENTILADOR	FILAMENTO PLA	1
19	PANTALLA ACOPLE DISIPADOR	FILAMENTO PLA	1
20	VETANA_DIS	FILAMENTO PLA	1
21	SUPERIOR 1	FILAMENTO PLA	1
22	INFERIOR 2 - COPIA	FILAMENTO PLA	1
23	SOPORTE 1	FILAMENTO PLA	1
24	TERMOHIGRÓMETRO	FILAMENTO PLA	1
25	VENTANA 1	FILAMENTO PLA	1
26	VENTANA 2	FILAMENTO PLA	1



 		<b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>	
FECHA: 06/12/2023		TITULO: SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO AGUA-AIRE VISTA EXPLOSIONADA	
ESCALA: 1:20		AUTOR: ALEXON AMADO VELANDIA, JOSE MILLAN BARAJAS	
UNIDADES: XX		REVISIA: ING. ADOLFO LEÓN ARENAS	
A4		HOJA 3/29	

**Apéndice 4**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 1-base\_1*





**Apéndice 5**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 2- Lateral de madera*



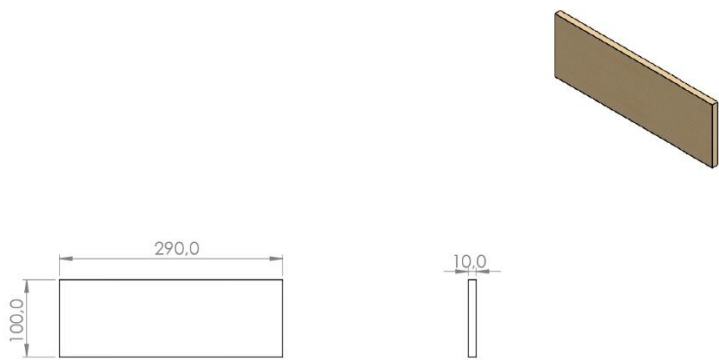
**Apéndice 6**



*Sistema de aire acondicionado agua- aire. Plano de pieza. Código: 3-Lateral 2 de madera*

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:			<b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>
	FECHA: 06/12/2023	TITULO: SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO AGUA-AIRE PLANO DE PIEZA CODIGO DE PIEZA: 3- LATERAL 2 DE MADERA	
	ESCALA: 1:5	AUTOR: ALEXON AMADO VELANDIA, JOSE MILLAN BARAJAS	
	UNIDADES: mm	REVISAS:	HOJA 6/29
	A4		

**Apéndice 7**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 4- Tapa madera fuente*



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:		<b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>
	FECHA: 06/12/2023	TITULO: SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO AGUA-AIRE PLANO DE PIEZA CODIGO DE PIEZA: 4- TAPA MADERA FUENTE
	ESCALA: 1:5	AUTOR: ALEXON AMADO VELANDIA, JOSE MILLAN BARAJAS
	UNIDADES: mm	REVISIA:
	A4 	HOJA 7/29

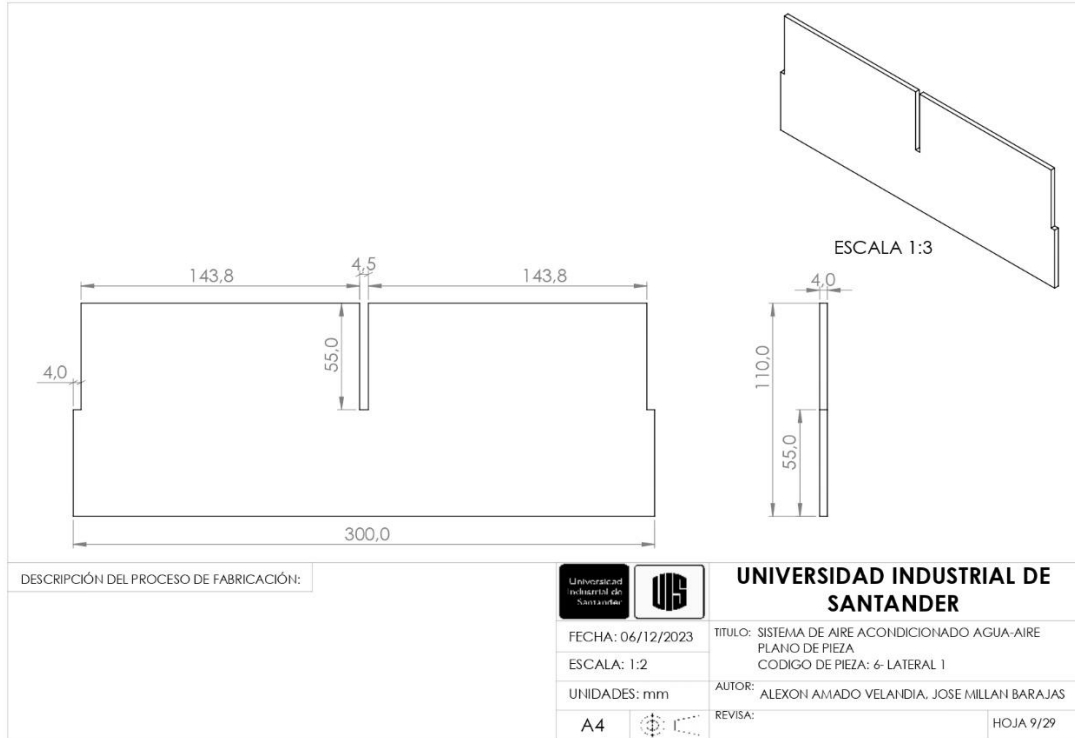
**Apéndice 8**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 5- planta inferior*



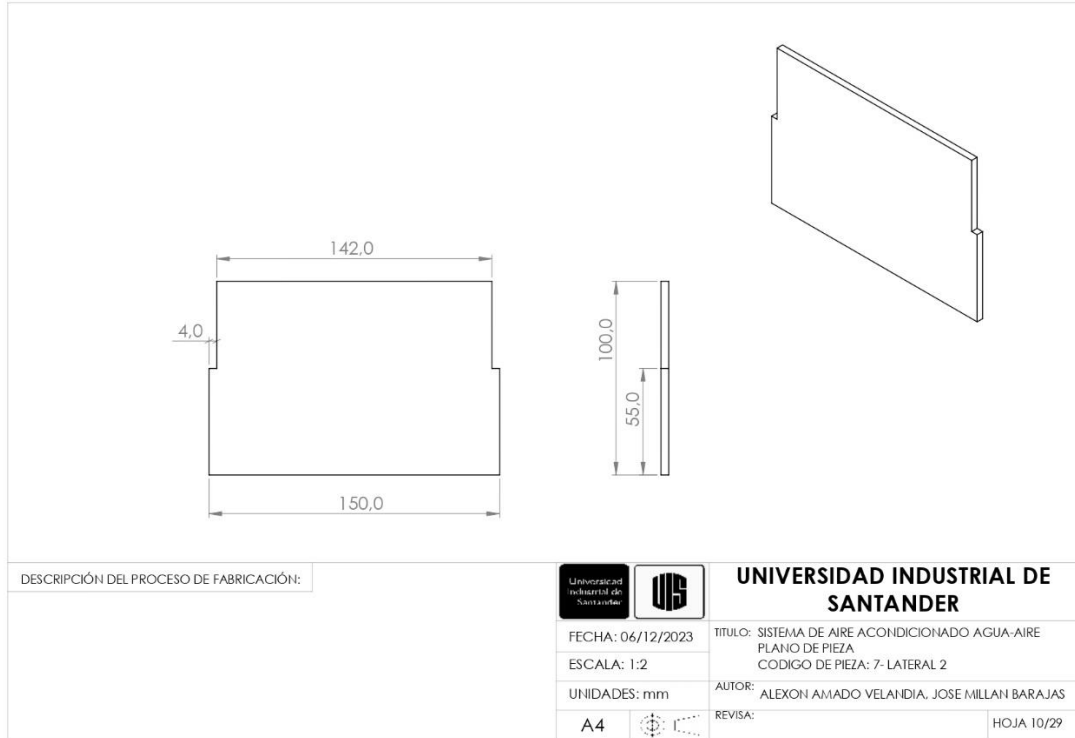
**Apéndice 9**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 6- Lateral 1*



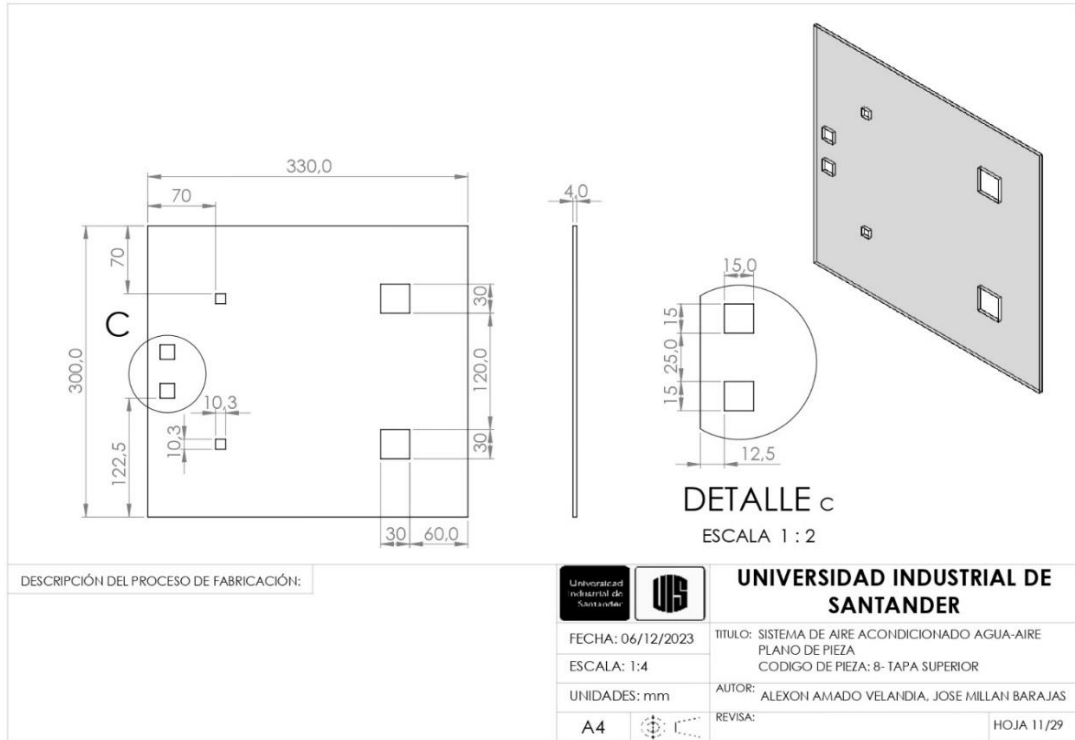
**Apéndice 10**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 7- lateral 2*



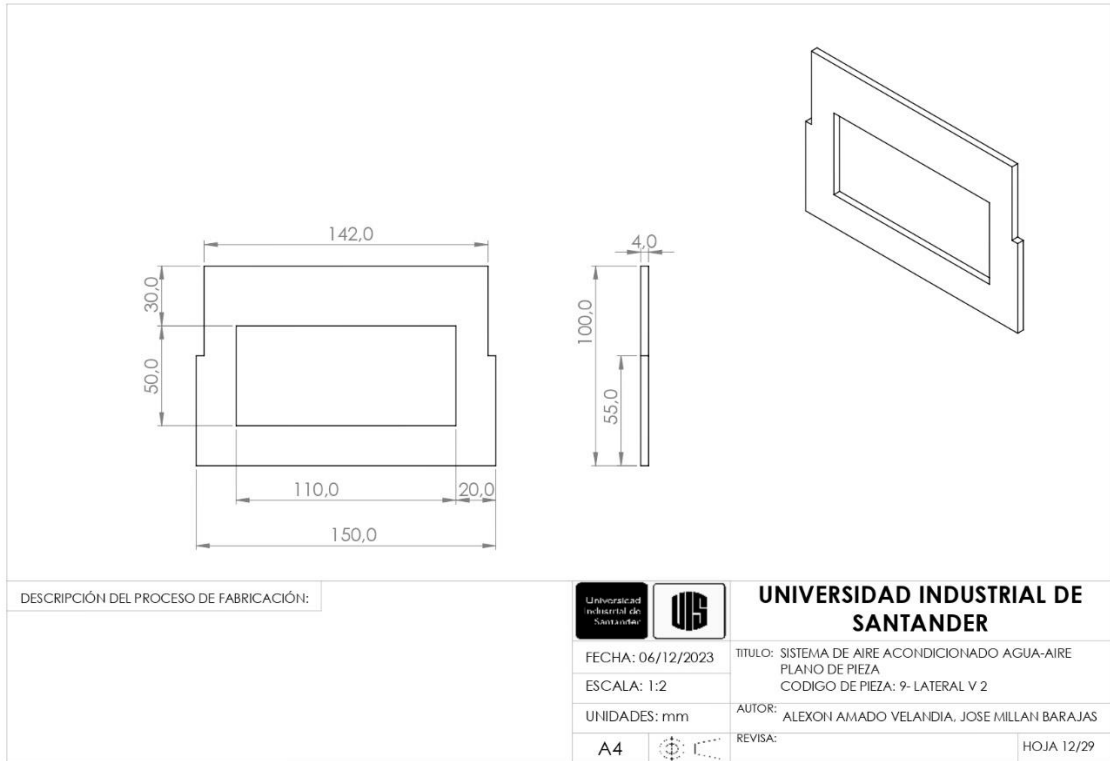
**Apéndice 11**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 8- Tapa superior*



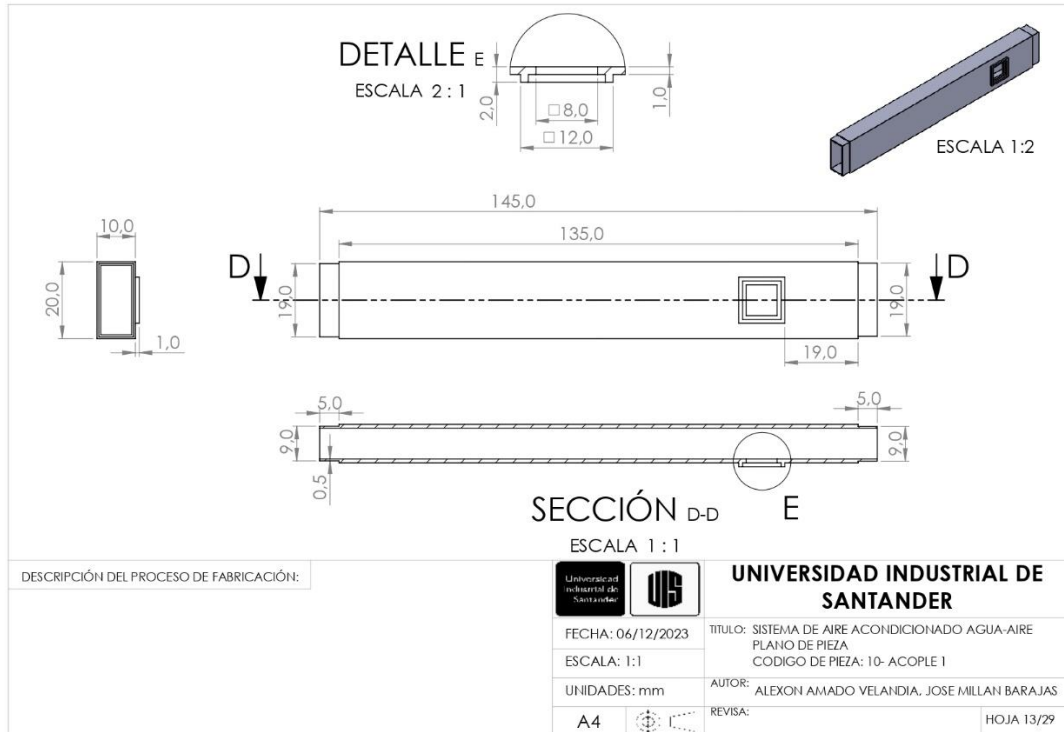
**Apéndice 12**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza 9- lateral v 2*



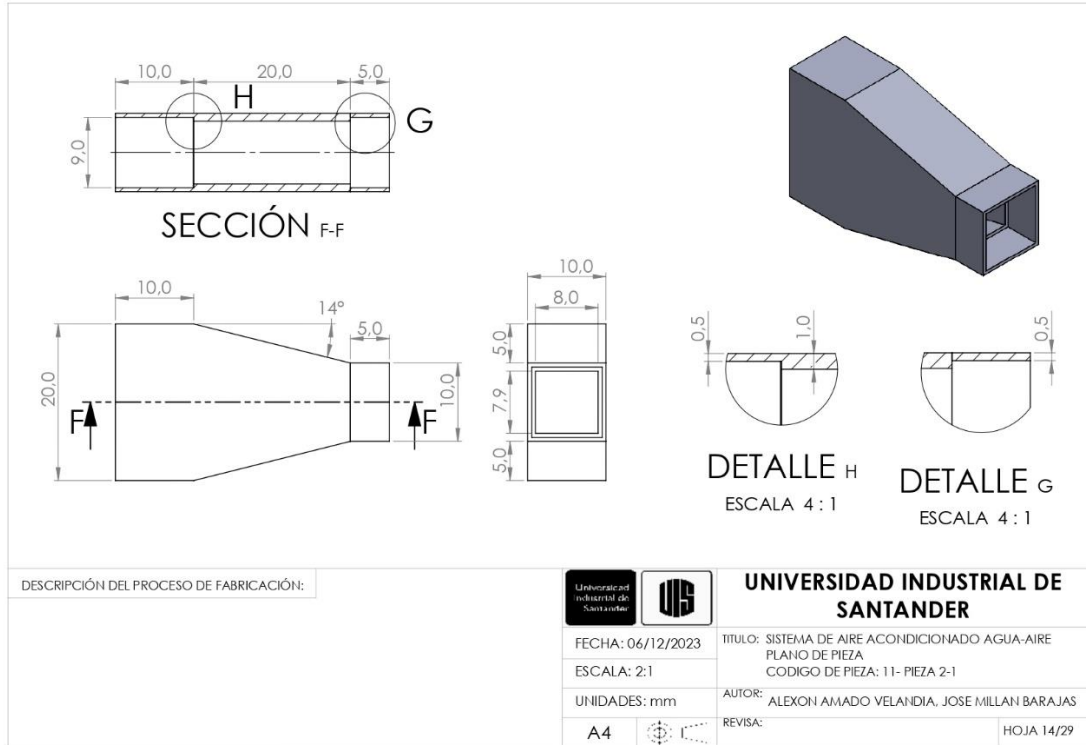
**Apéndice 13**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 10- acople 1*



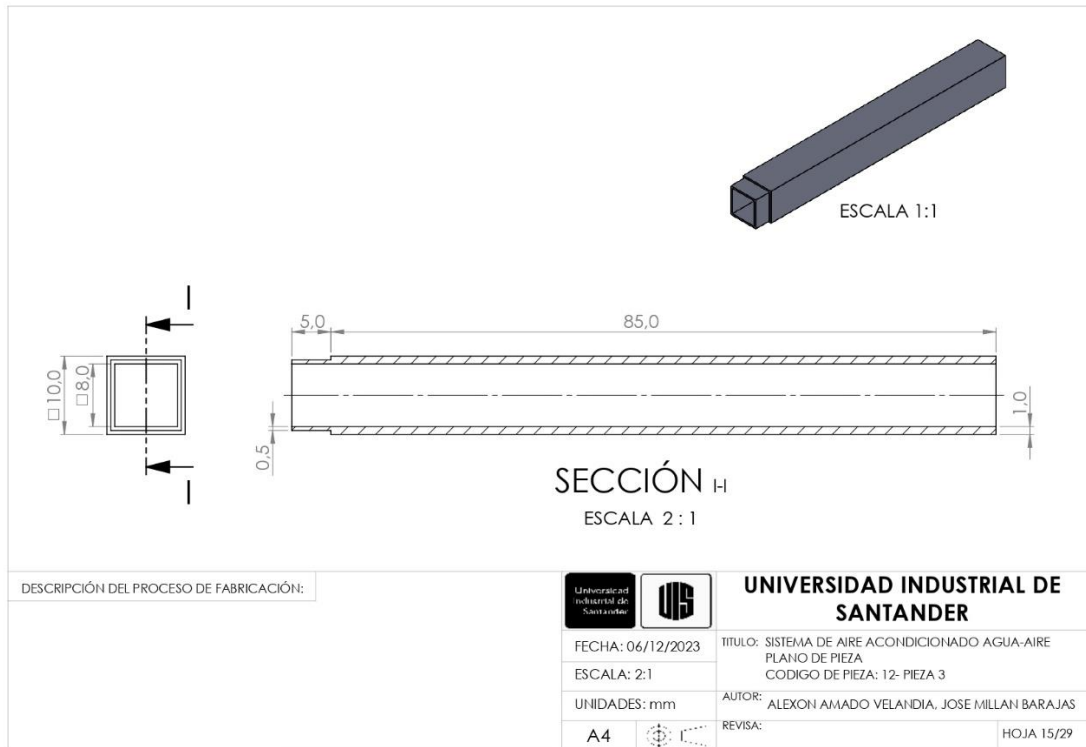
**Apéndice 14**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 11-pieza 2-1*



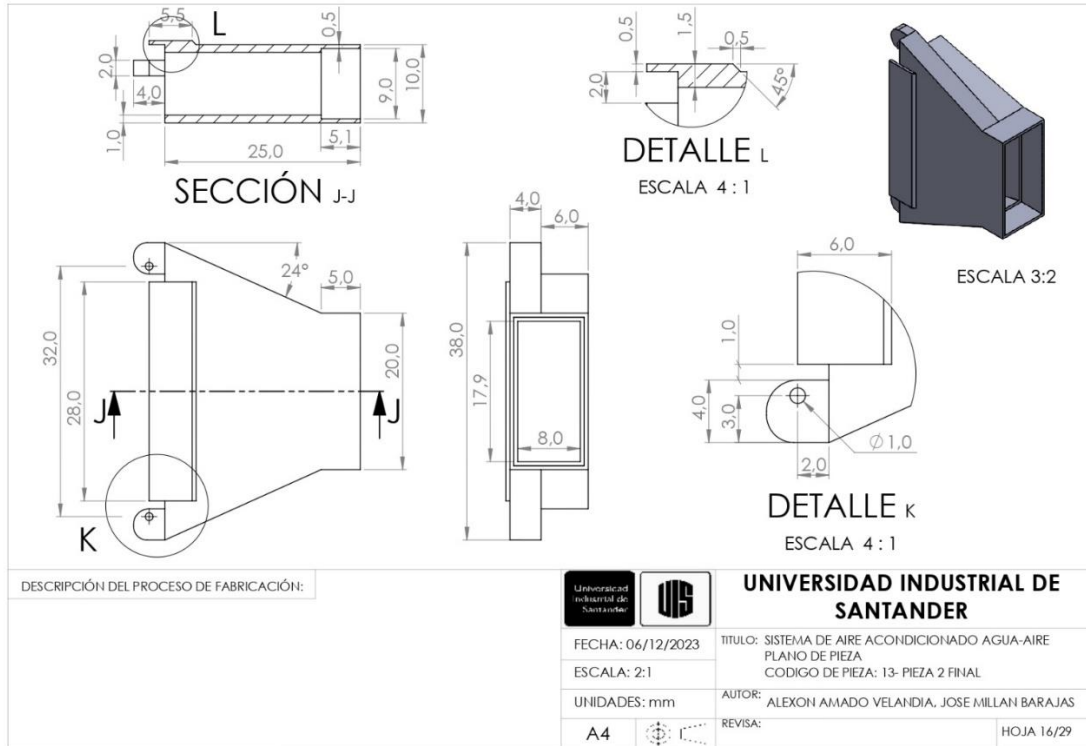
**Apéndice 15**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 12- pieza 2*



**Apéndice 16**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Plano de pieza. Código de pieza: 13- pieza 2 final*



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 06/12/2023

ESCALA: 2:1

UNIDADES: mm

A4



TÍTULO: SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO AGUA-AIRE  
PLANO DE PIEZA  
CÓDIGO DE PIEZA: 13-PIEZA 2 FINAL

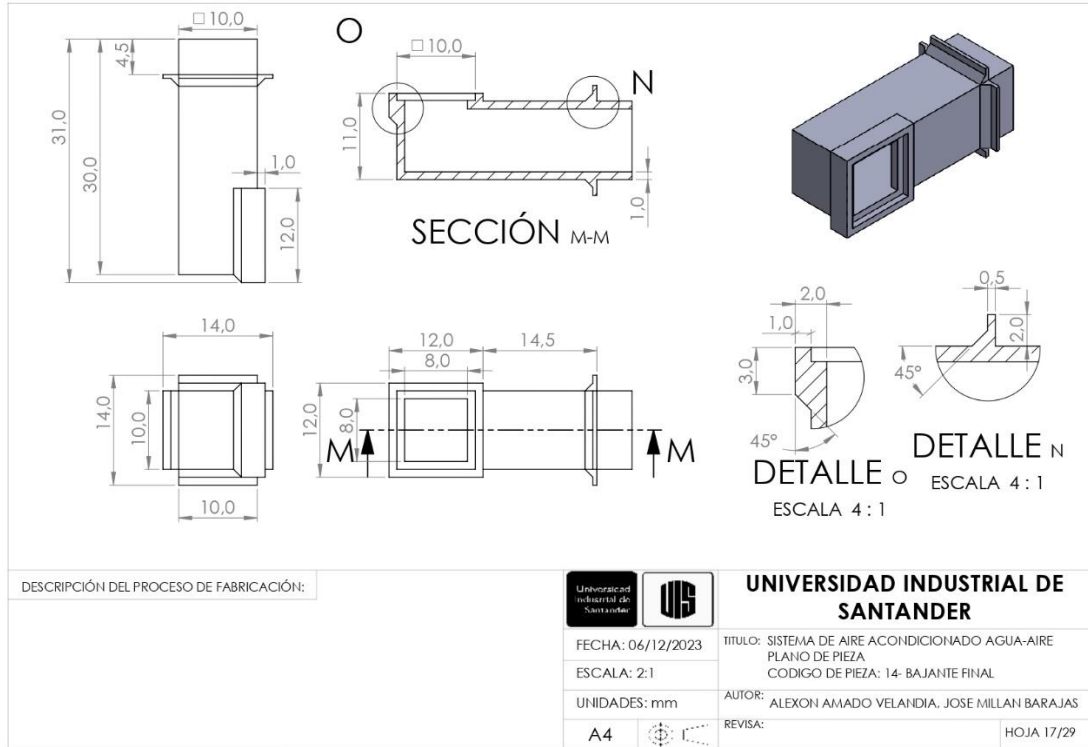
AUTOR: ALEXON AMADO VELANDIA, JOSE MILLAN BARAJAS

REVISÁ:

HOJA 16/29

**Apéndice 17**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. 14- Bajante final*



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 06/12/2023

TITULO: SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO AGUA-AIRE  
PLANO DE PIEZA

ESCALA: 2:1

CODIGO DE PIEZA: 14- BAJANTE FINAL

UNIDADES: mm

AUTOR: ALEXON AMADO VELANDIA, JOSÉ MILLAN BARAJAS

A4

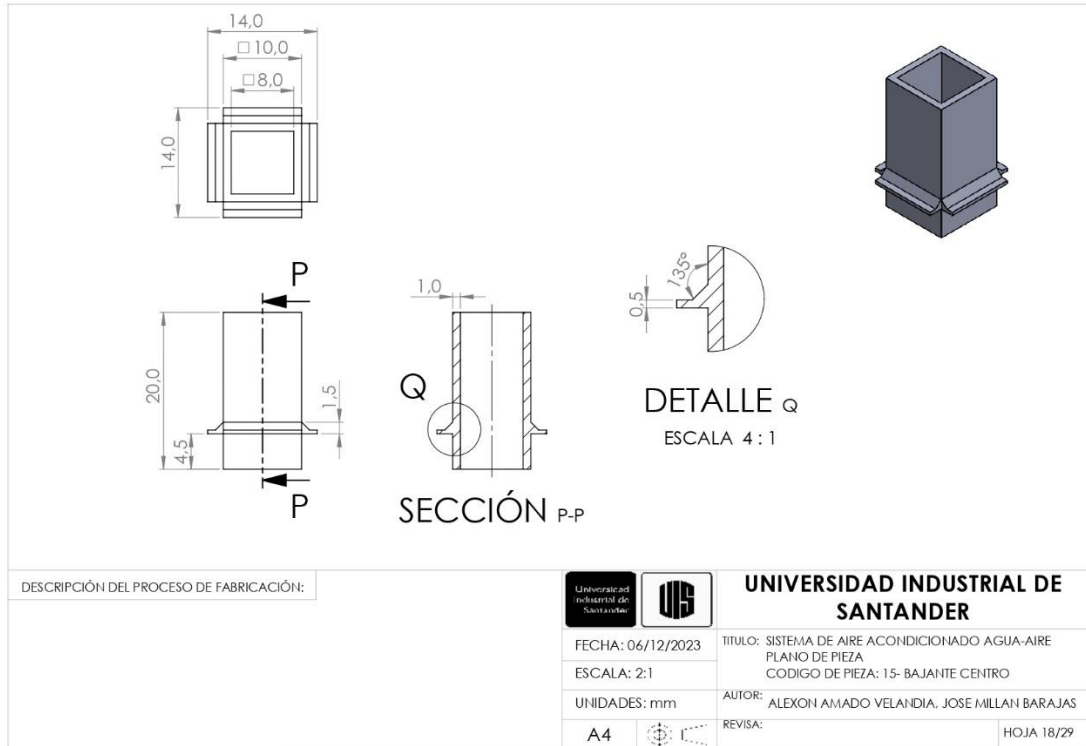


REVISAS:

HOJA 17/29

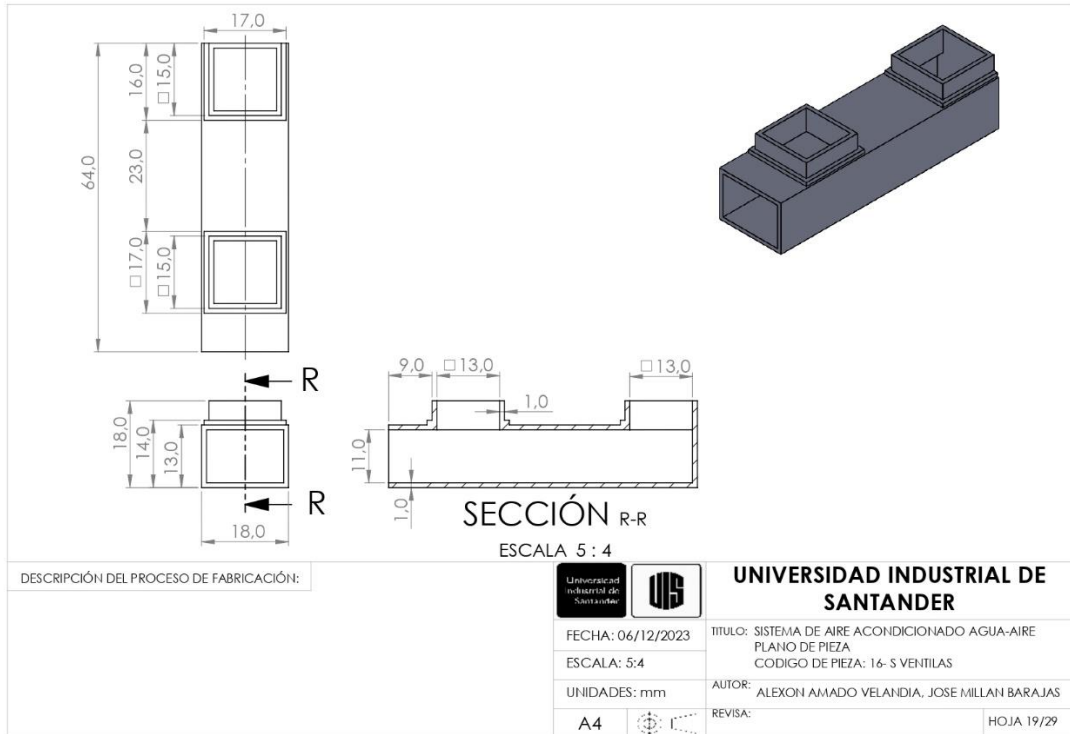
**Apéndice 18**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 15- bajante centro centro*



**Apéndice 19**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 16- S ventilas*



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 06/12/2023

TÍTULO: SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO AGUA-AIRE  
PLANO DE PIEZA  
CÓDIGO DE PIEZA: 16- S VENTILAS

ESCALA: 5:4

UNIDADES: mm

AUTOR: ALEXON AMADO VELANDIA, JOSE MILLAN BARAJAS

A4

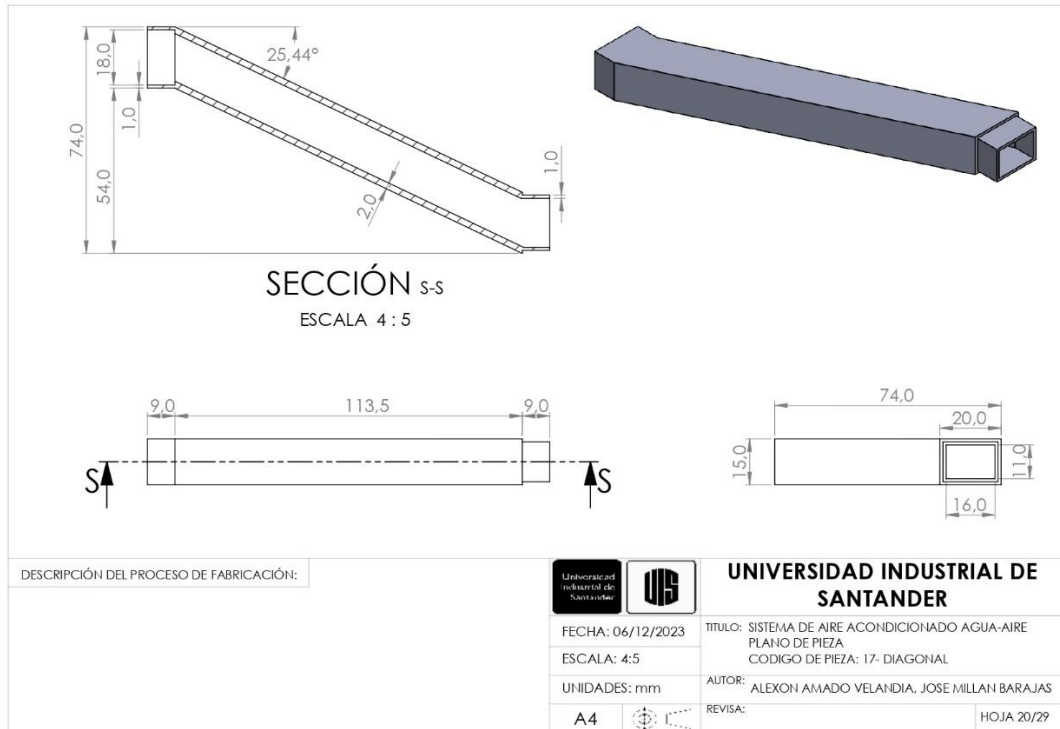


REVIS:

HOJA 19/29

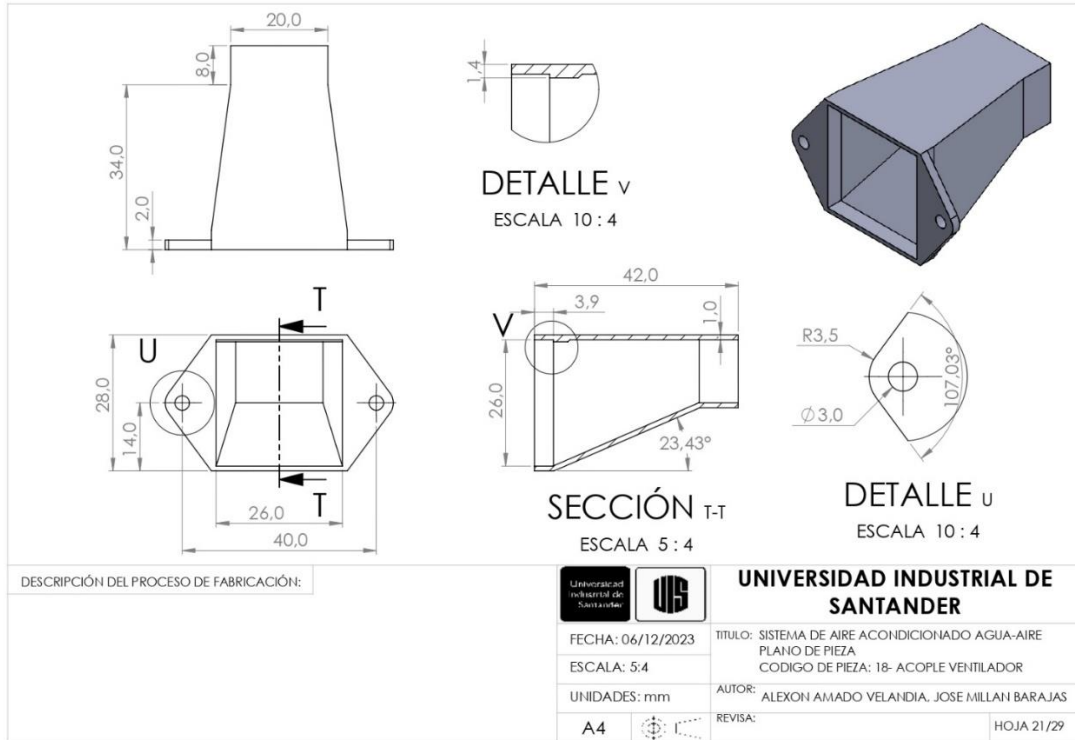
**Apéndice 20**

*Sistema de aire acondicionado agua- aire. Plano de pieza. Código de pieza: 17 - diagonal*



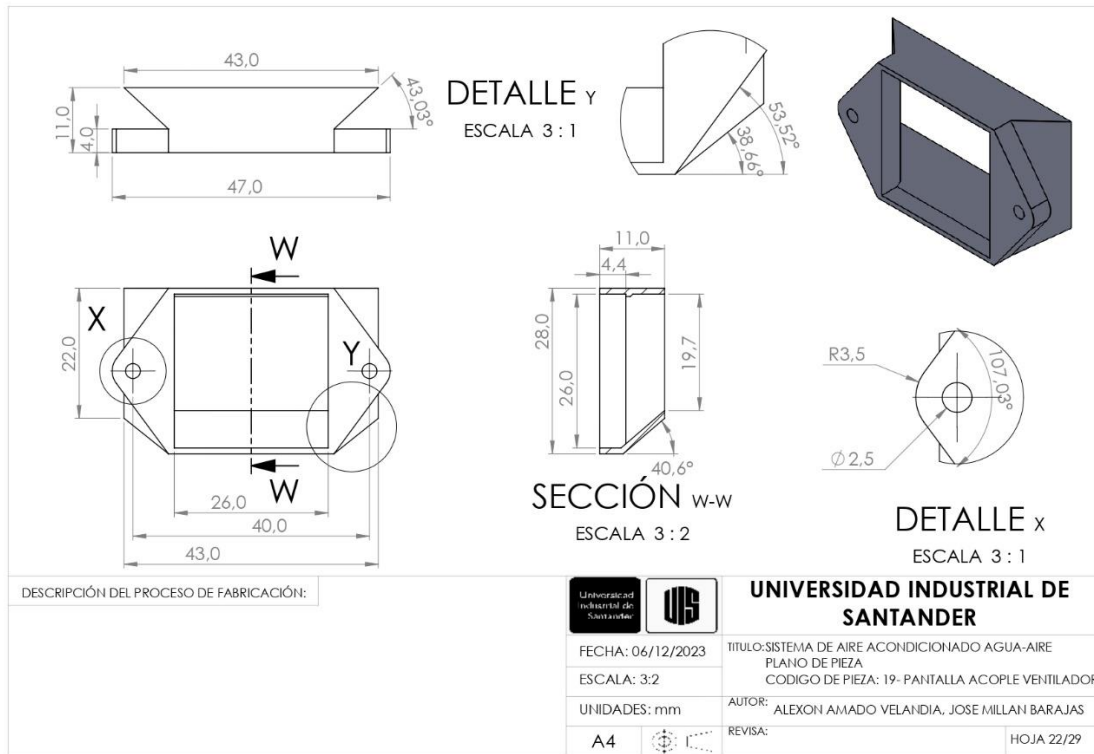
**Apéndice 21**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 18-acople ventilador*



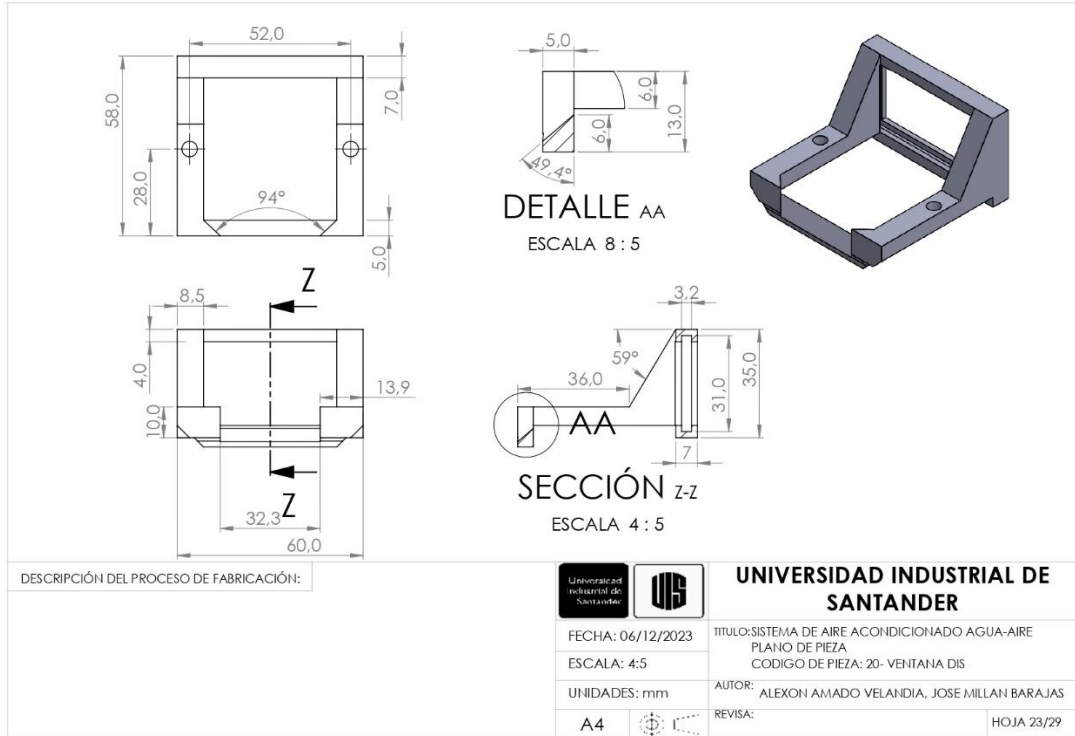
**Apéndice 22**

*Sistema de aire acondicionado agua- aire. Plano de pieza. Código de pieza: 19-pantalla acople ventilador*



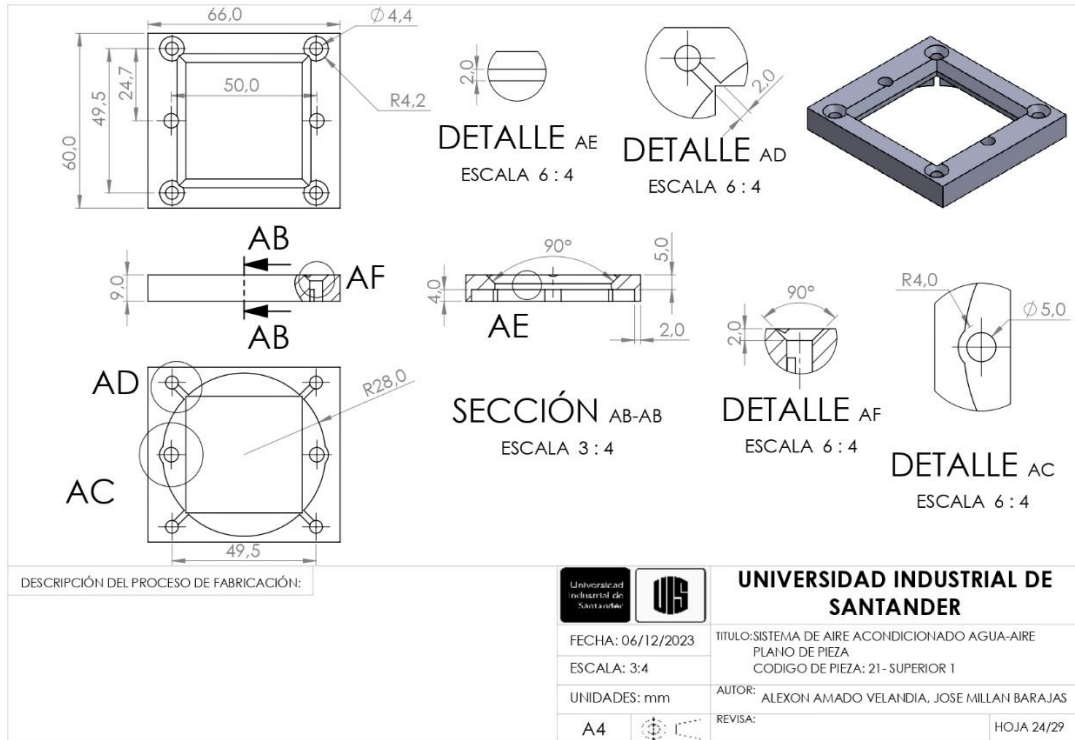
Apéndice 23

Sistema de aire acondicionado agua - aire. Plano de pieza. Código de pieza: 20- ventana DIS



Apéndice 24

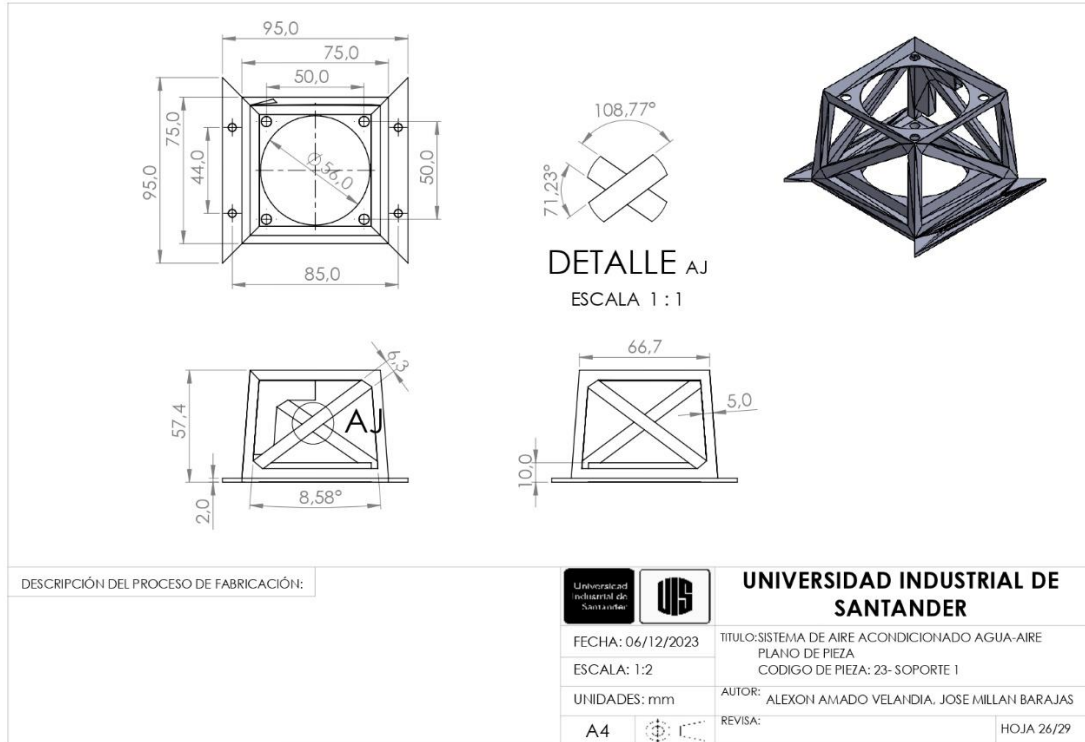
Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 21 - superior 1





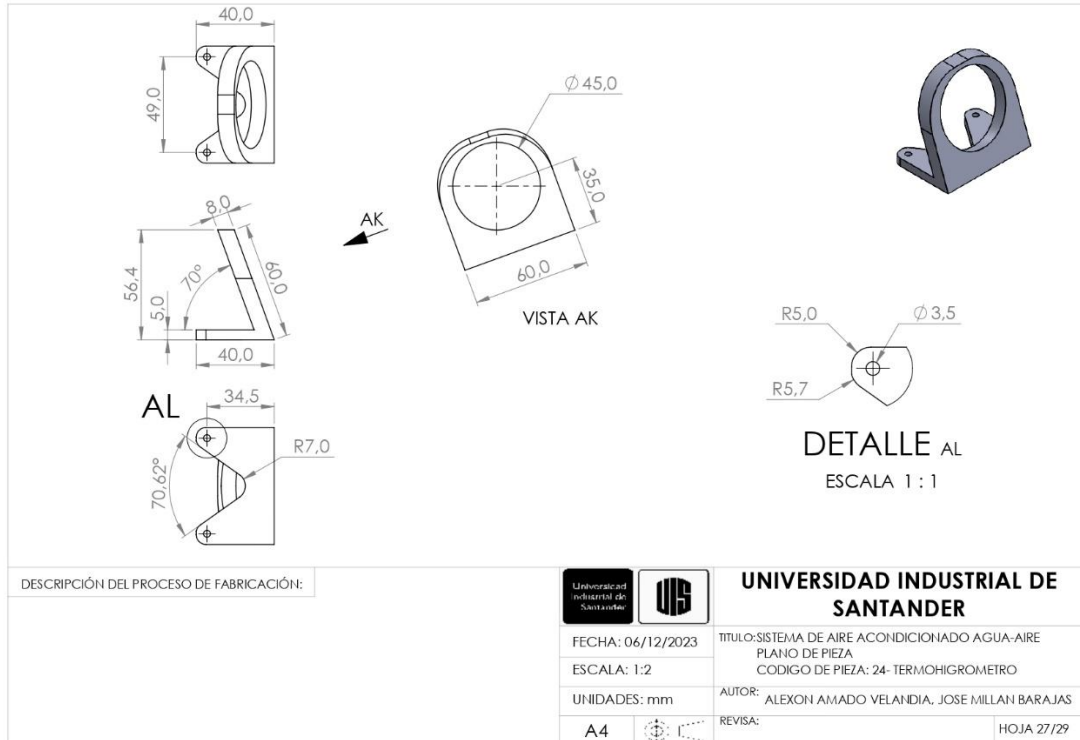
**Apéndice 26**

*Sistema de aire acondicionado agua - aire. Plano de pieza. Código de pieza: 23 - soporte 1*



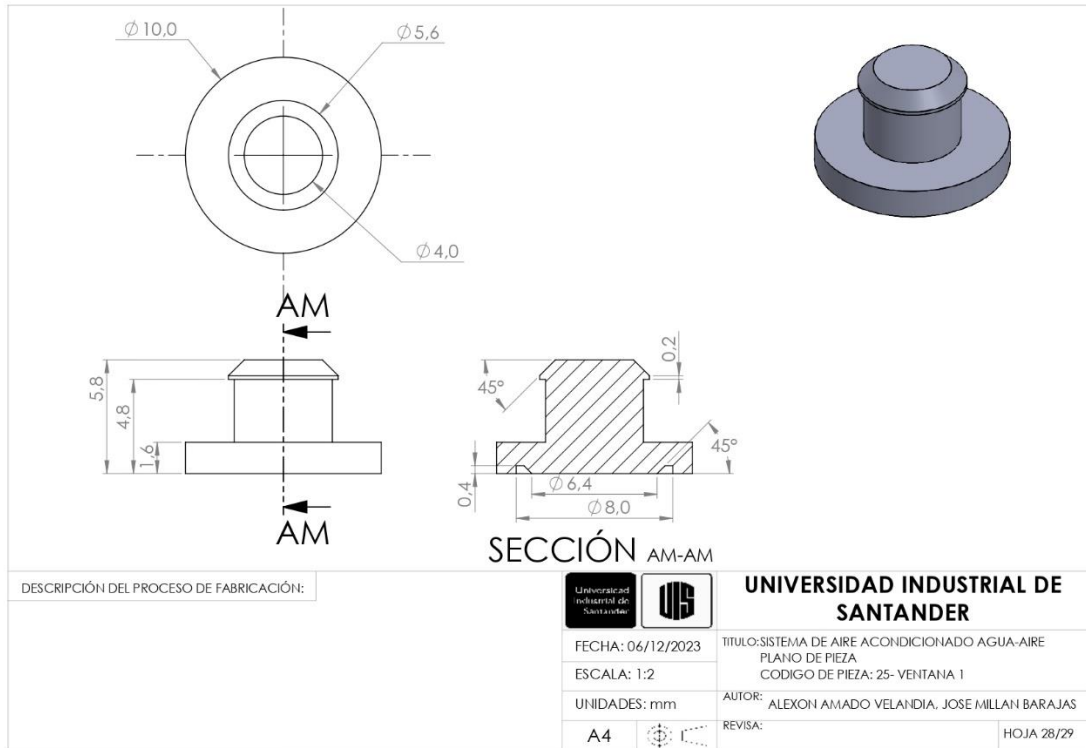
**Apéndice 27**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 24 - termohigrómetro*



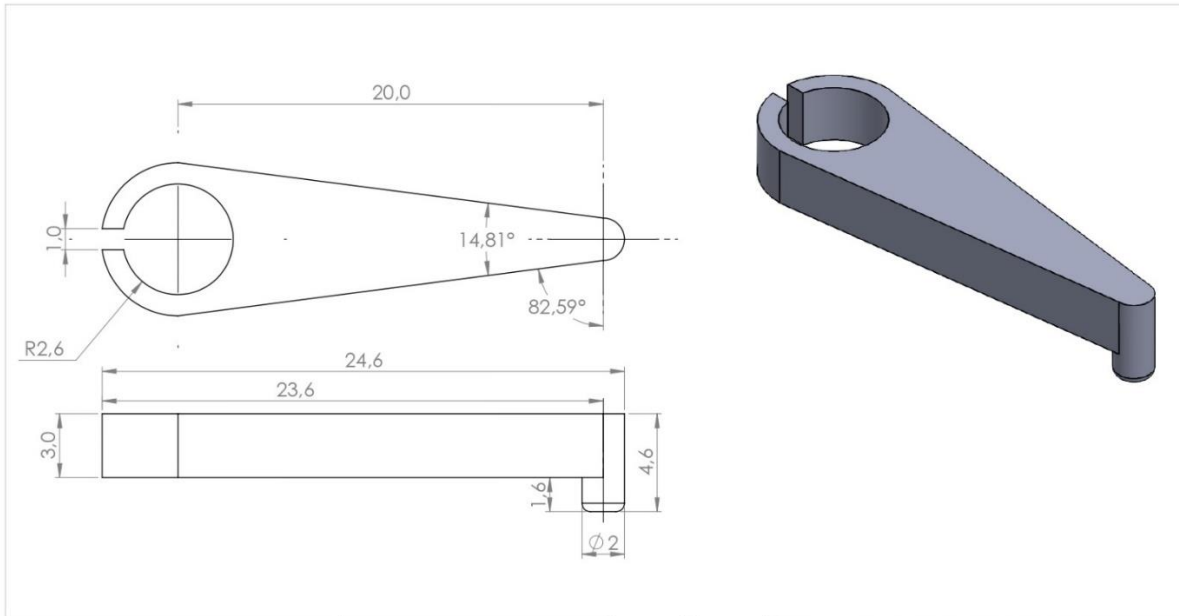
**Apéndice 28**

*Sistema de aire acondicionado agua-aire. Plano de pieza. Código de pieza: 25 - ventana 1*



**Apéndice 29**

*Sistema de aire acondicionado agua - aire. Plano de pieza. Código de pieza: 26 - ventana 2*



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:	 	<b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>	
	FECHA: 06/12/2023	TITULO: SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO AGUA-AIRE	
	ESCALA: 1:2	PLANO DE PIEZA	
	UNIDADES: mm	CODIGO DE PIEZA: 26- VENTANA 2	
	A4		AUTOR: ALEXON AMADO VELANDIA, JOSE MILLAN BARAJAS
			HOJA 29/29