

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Aprovechamiento de calor residual para calentamiento de agua  
mediante una unidad de aire acondicionado**

**Luis Giordano Agurto Montoya  
Carlos Mateo Jarrín Suango  
Kevin Saúl Gutiérrez Pérez  
Roque Emilio Rivadeneira Mendoza**

**Ingeniería Mecánica**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico

Quito, 20 de diciembre de 2022

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Aprovechamiento de calor residual para calentamiento de agua  
mediante una unidad de aire acondicionado**

**Luis Giordano Agurto Montoya  
Carlos Mateo Jarrín Suango  
Kevin Saúl Gutiérrez Pérez  
Roque Emilio Rivadeneira Mendoza**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Juan Sebastián Proaño, PhD.**

Quito, 20 de diciembre de 2022

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Luis Giordano Agurto Montoya

Código: 00209381

Cédula de identidad: 1721321238

Lugar y fecha: Quito, 20 de diciembre de 2022

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos:	Carlos Mateo Jarrín Suango
Código:	00208561
Cédula de identidad:	1750225425
Lugar y fecha:	Quito, 20 de diciembre de 2022

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos:	Kevin Saúl Gutiérrez Pérez
Código:	00209940
Cédula de identidad:	1726840968
Lugar y fecha:	Quito, 20 de diciembre de 2022

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Roque Emilio Rivadeneira Mendoza

Código: 00208166

Cédula de identidad: 1313072009

Lugar y fecha: Quito, 20 de diciembre de 2022

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

## RESUMEN

Este documento resume el diseño e implementación de un kit para la modificación de una unidad de aire acondicionado, para aprovechar el calor desechado y calentar agua para duchas. El proyecto surge ante la necesidad de la Universidad San Francisco de Quito de ser sostenible y amigable con el medioambiente, reduciendo el consumo energético, y las emisiones de CO<sub>2</sub>, producto del uso de calefones para calentar agua en el coliseo del campus. Se contempla un sistema de respaldo con calefón eléctrico diseñado y ensamblado desde cero, además, se implementa un monitoreo de temperatura para controlar su funcionamiento. Finalmente, se encontró la viabilidad económica del proyecto, así como la efectividad en la reducción de GEI. Como visión, a futuro se propone utilizar energías renovables, como paneles solares para la alimentación del compresor del aire acondicionado, y colectores solares para reemplazar el calefón de respaldo.

**Palabras Clave:** Aire acondicionado, kit modificación, recursos renovables, emisiones de CO<sub>2</sub>, control, automatización, GEI.

## ABSTRACT

This document summarizes the design and implementation of a kit for the modification of an air conditioning unit to use waste heat to heat water for showers. The project arises from the need of the Universidad San Francisco de Quito to be sustainable and environmentally friendly, reducing energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions resulting from the use of water heaters in the campus coliseum. A backup system with an electric water heater designed and assembled from scratch is contemplated, and a temperature monitoring system is implemented to control its operation. Finally, its economic viability was found, as well as its effectiveness in GHG reduction. As future work, it is proposed to use renewable energies, such as solar panels to power the air conditioning compressor, and solar collectors to replace the backup heater.

**Keywords:** air conditioning, modification kit, renewable resource, CO<sub>2</sub> emissions, control, automatization, GHG.

## TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción.....	15
1.1.	Resumen ejecutivo.....	15
1.2.	Planteamiento del problema.....	17
1.3.	Requerimientos del cliente.....	17
1.4.	Especificaciones del Proyecto.....	18
1.5.	Diseño de concepto y selección de alternativas.....	18
1.6.	Gestión de proyectos.....	19
1.7.	Estándares ingenieriles.....	20
2.	Materiales y métodos.....	22
2.1.	Materiales y selección de componentes.....	22
2.1.1.	Bomba de calor/Aire acondicionado.....	22
2.1.2.	Intercambiador de calor.....	23
2.1.3.	Tanque de almacenamiento.....	23
2.1.4.	Estructura.....	24
2.1.5.	Calefón.....	25
2.2.	Diseño para manufactura.....	26
3.	Resultados y Conclusiones.....	27
3.1.	Reporte de diseño.....	27
3.1.1.	Aire acondicionado.....	27
3.1.2.	Intercambiador de calor.....	28
3.1.3.	Tanque de agua.....	28
3.1.4.	Calentamiento secundario.....	28
3.1.5.	Sistema de control.....	28
3.2.	Plan de pruebas para prototipo.....	29
3.3.	Seguridad a través del diseño.....	30
3.3.1.	Tuberías de cobre.....	30
3.3.2.	Estructura de madera.....	30
3.3.3.	Calefón.....	30
3.3.4.	Tuberías de PVC.....	31
3.3.5.	Refrigerante.....	31
3.4.	Cálculos de factibilidad del modelo Coliseo Alexandros.....	32
3.4.1.	Resultados Análisis termodinámico modelo Coliseo Alexandros... ..	32
3.4.2.	Resultados Diseño termodinámico modelo Coliseo Alexandros.....	33
3.4.3.	Análisis de demanda.....	33
3.4.4.	Análisis de sostenibilidad.....	33
3.4.5.	Análisis económico.....	34
3.5.	Diseño del prototipo final.....	36
3.5.1.	Resultados Análisis termodinámico modelo prototipo final.....	36
3.5.2.	Resultados Diseño termodinámico modelo prototipo final.....	37
3.5.1.	Resultados Análisis hidráulico modelo prototipo final.....	38

	3.5.2. Resultados Análisis termodinámico 2 y 3 modelo prototipo final...	39
	3.5.4. Análisis económico.....	40
	3.5.5. Sistema de medición de temperatura .....	41
4.	Discusión .....	42
5.	Conclusión.....	43
6.	Trabajo futuro.....	44
7.	Bibliografía.....	46
8.	Apéndices .....	49
8.1.	Planos ingenieriles y detalle de cálculos análisis ingenieril .....	49
8.1.1.	Apéndice 1: Matriz de decisión .....	49
8.1.4.1	Método de selección AC .....	49
8.1.4.2	Método de selección HX.....	51
8.1.4.3	Método de selección Tanque.....	53
8.1.4.4	Método de selección Calefón .....	55
8.1.4.5	Método de Selección estructura .....	56
8.1.2.	Apéndice 2: Diseño de circuito para ducha .....	57
8.1.3.	Apéndice 3: Diseño de circuito de monitoreo de temperatura.....	57
8.1.4.	Apéndice 4: Código Arduino sistema de monitoreo.....	58
8.1.5.	Apéndice 5: Código Python para adquisición de datos .....	62
8.2.	Manejo de proyectos.....	63
8.2.1.	Apéndice 6: Diagrama de Gantt.....	63
8.2.2.	Apéndice 7: Presupuesto prototipo inicial .....	64
8.2.3.	Apéndice 8: Gastos .....	64
8.2.4.	Apéndice 10: Planos .....	67
8.2.4.1	Tuberías de agua .....	67
8.2.4.2	Tuberías de cobre .....	69
8.2.4.3	Estructura madera.....	71
8.2.4.4	Calefón .....	75
8.3.	Apéndice 11: Códigos consumo energético, económicos y emisiones 80	
8.4.	Apéndice 12: Encuesta y confiabilidad de datos. ....	82
8.5.	Apéndice 13: Archivos Adjuntos.....	84
8.6.	Apéndice 14: Manual de operaciones y mantenimiento .....	85
8.6.1.	Operaciones. ....	85
8.7.	Análisis Ingenieril.....	94
8.7.1.	Parte A. Coliseo Alexandros.....	95
8.7.2.	Parte B. Prototipo.....	95
8.7.3.	Simulación 1: Calefón .....	97
8.7.4.	Simulación 2: Análisis estructural .....	97
8.7.5.	Experimentos para el aire acondicionado original.....	97

8.7.6. Datos Aire Acondicionado prototipo.....	99
8.8. Apéndice 15: Cálculos Coliseo Alexandros .....	99
8.8.1. Análisis termodinámico .....	100
8.8.2. Diseño termodinámico 1 .....	104
8.8.3. Análisis de sostenibilidad .....	110
8.8.4. Análisis de demanda .....	111
8.9. Apéndice 16: Cálculos Prototipo .....	112
8.9.1. Análisis térmico 1 .....	113
8.9.2. Diseño termodinámico.....	115
8.9.4. Diseño hidráulico 1 .....	118
8.9.5. Análisis termodinámico 2 .....	122
8.9.6. Análisis termodinámico 3 .....	124
8.10. Apéndice 17: Diseño para manufactura .....	125
8.10.1. Lista de Partes.....	125
8.10.2. Diagrama de Proceso .....	125
8.10.3. Calendario de Fabricación .....	128
8.10.4. Plan de verificación, dimensionamiento y tolerancias.....	129
8.11. Apéndice 18: Simulaciones.....	130
8.11.1. Calefón.....	130
8.11.2. Estructura.....	134
8.12. Apéndice 19: Sistema de control.....	136

**Lista de figuras**

Figura 1 Ensamble general .....	19
Figura 2 Esquema del sistema interconectado .....	27
Figura 3 Ciclo ideal de AC coliseo Alexandros. ....	32
Figura 4 Consumo en el coliseo Alexandros por calentamiento de agua. ....	34
Figura 5 Puntos del ciclo de refrigeración ideal. Prototipo. ....	37
Figura 6 Puntos de diseño intercambiador de calor. Prototipo. ....	37
Figura 7 Resultados de velocidad en los tramos de tubería con bomba 1 HP. ....	39
Figura 8 Pérdida de calor en tanque con y sin aislamiento térmico. ....	39
Figura 9 Tiempo de calentamiento de agua según su temperatura. ....	40

**Lista de Tablas**

Tabla 1 .....	20
Tabla 2 .....	21
Tabla 3 .....	25
Tabla 4 .....	29
Tabla 5 .....	31
Tabla 6 .....	32
Tabla 7 .....	33
Tabla 8 .....	35
Tabla 9 .....	36
Tabla 10 .....	37
Tabla 11 .....	38
Tabla 12 .....	38
Tabla 13 .....	41

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Resumen ejecutivo

El confort, actualmente, conlleva un alto costo medioambiental. Desde el agua que llega a nuestras casas, hasta los sistemas de refrigeración, y calefacción (HVAC), más complejos. Todos requieren de energía para su funcionamiento, la cual, muchas veces, llega desde fuentes no renovables y contaminantes. Las bombonas de gas presentes en la mayoría de los hogares ecuatorianos son un excelente ejemplo. Utilizados para el calentamiento de agua, secadoras de ropa y cocción de alimentos, permitieron, hasta antes de la pandemia COVID-19, alcanzar estándares de vida nunca vistos en el Ecuador (Organización de las Naciones Unidas, 2022). Sin embargo, es imperativo la búsqueda de tecnología sostenible, que pueda adaptarse a mejorar el estilo de vida, sin tomar recursos de las futuras generaciones. Por ello, la USFQ, se propone reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y ser más amigable con el medioambiente, sin perder el confort que nos puede brindar las tecnologías actuales. Para alcanzar este objetivo, se propone un sistema para aprovechar el calor de deshecho del aire acondicionado, instalado en el coliseo Alexandros, para calentar agua para las duchas, del mismo lugar.

El proyecto consta de 4 subsistemas muy importantes, los cuales fueron diseñados por el grupo, son el sistema de modificación del aire acondicionado, posterior, el diseño de un modelo de intercambiador de calor (condensador) y reemplazar el de flujo cruzado aire refrigerante por uno de agua refrigerante (*Heat Pump Water Heaters / Department of Energy*, n.d.), la unidad auxiliar de calefón eléctrico y, por último, el sistema de control automático.

El intercambiador de calor es una parte sustancial del proyecto, siendo el subsistema en el cual se invirtió una mayor cantidad de tiempo y prioridad al momento de realizar la de investigación, de tal forma, se consideraron varias alternativas para la

selección de este con cálculos. Se puede implementar otros tipos de intercambiadores entre el agua y refrigerante que podrían resultar más eficientes, sin embargo, el presupuesto, era limitado; por lo tanto, no se podría adquirir sistemas mucho más costosos y avanzados.

El sistema de control automático cuenta con un monitoreo de temperatura compuesto por el microcontrolador Arduino Uno. Este controlador abre muchas posibilidades para su manejo, pudiéndose adaptar a otros sensores, ya sean estos de presión o de caudal (Taru & Karwankar, 2018). Se podría manejar datos, obtenidos por los sensores, para sacar conclusiones, sobre todo del aire acondicionado, y su conversión para el aprovechamiento del calor desechado.

Para trabajos futuros se podrían establecer otras formas para brindar energía al compresor del aire acondicionado. Estas formas reemplazarían a la fuente conectada a la red pública de energía eléctrica de la ciudad, ya sea por paneles solares, energía eólica, etc. Si bien el sistema de calefón utiliza energía eléctrica en su proceso de calentamiento y no genera, directamente, gases de efecto invernadero ni CO<sub>2</sub> a la atmósfera, se podrían utilizar otras alternativas de calentamiento de agua o precalentamiento, ya sean auxiliares o que pueden reemplazar a esta unidad de calefón diseñada. Algunas sugerencias pueden ser: el calentamiento por colectores solares, la utilización de un panel solar para generar energía eléctrica manteniendo el mismo sistema, o la implementación de un intercambiador de placas para mejorar la transferencia de calor.

## 1.2. Planteamiento del problema

La Universidad San Francisco de Quito se ha planteado la descarbonización de su campus, para lo cual es necesario la reducción paulatina en sus emisiones de CO<sub>2</sub>. En este caso se va a utilizar el coliseo Alexandros, donde, los días más soleados, existe concentración de calor en el interior del coliseo, por lo que se ha implementado unidades de aire acondicionado para mantener el confort en el área.

Lo que se propone es utilizar el calor que es expulsado al ambiente por medio del radiador (condensador) del aire acondicionado y utilizarlo para precalentar el agua que utilizan las duchas (*Heat Recovery Pool Heater | Compare To Solar Pool Heater | HotSpot Energy LLC, 2010*). Las duchas actualmente usan un calefón a gas para elevar la temperatura del agua, por lo que al precalentar el agua se podrá reducir el consumo de gas, por tanto, reducir las emisiones de efecto invernadero.

## 1.3. Requerimientos del cliente

- Modificar una unidad de aire acondicionado del Coliseo Alexandros (Opcional).
- Creación de un prototipo funcional independiente de la unidad HVAC del Coliseo (Obligatorio).
- Minimizar las pérdidas de refrigerante durante la fabricación y funcionamiento del equipo (Obligatorio).
- Implementar un sistema de control automático que mejore la eficiencia energética del equipo (Obligatorio).
- Implementar sistema de monitoreo de Consumo de combustible del sistema de Calentamiento de duchas (Opcional).
- Implementar sistema de monitoreo de consumo de energía AC en días soleados y nublados (Opcional).

#### 1.4. Especificaciones del Proyecto

- Garantizar el calentamiento para 6 duchas de manera simultánea bajo una normativa.
- Utilizar un tanque de 200[L], como mínimo, para precalentamiento de agua para abastecer el consumo de duchas (Obligatorio).
- Temperatura de confort de duchas 40 °C o bajo normativa (Obligatorio).

#### 1.5. Diseño de concepto y selección de alternativas

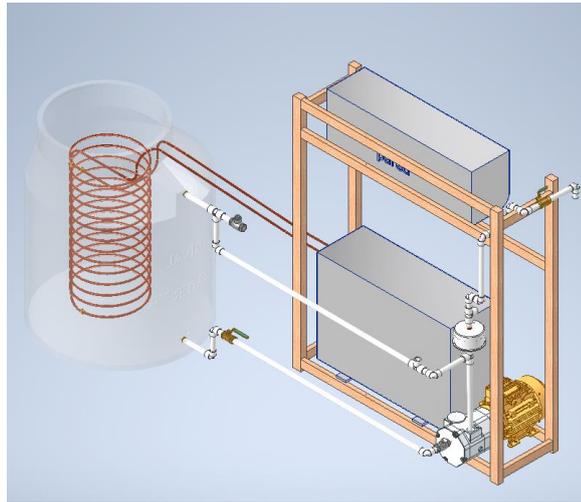
Criterios de importantes para la selección de opciones de forma descendente.

- Costo total del proyecto.
- Amigable con el ambiente.
- Espacio limitado.
- Costo de operación.
- Facilidad de Instalación.

Para garantizar que durante la selección se aplican estos criterios, hemos optado por matrices de decisión, en cada uno de los componentes que lo conforman.

El prototipo consiste en 3 subsistemas, hidráulico, estructural, y refrigeración. Cada uno de ellos consta de componentes críticos para el diseño final. El sistema hidráulico tiene como puntos de inflexión al tanque y calefón, debido al costo en ambos casos. Por otro lado, el sistema de refrigeración tiene como componentes críticos al intercambiador de calor, y aire acondicionado debido a su alto costo, y tiempos de entrega. Así también la estructura fue sometida en la matriz de decisión por costos del material y facilidad de manufactura.

Los sistemas escogidos dieron forma al ensamble general en la figura 1. Donde se encuentra la estructura de madera, las tuberías de cobre, y tuberías PVC, así como el serpentín dentro del tanque plástico.



*Figura 1 Ensamble general*

### **1.6. Gestión de proyectos**

Para el diseño a lo largo del proyecto se trató de realizar la gestión de proyectos siguiendo la metodología SCRUM, sin embargo, se adaptaron algunos preceptos como las reuniones diarias, 3 veces por semana (*¿What Is Sprint Planning?*, 2022). No se realiza Sprint, debido a que cada miembro está encargado de una subdivisión del proyecto. Se trabajó por metodología de metas simultáneamente; SMART (*SMART Goals: A How to Guide*, 2016).

En nuestro caso se asignó un presupuesto de USD\$800, tiempo después se negoció con el cliente y se alcanzó hasta USD\$1200. Los gastos se ajustaron a lo requerido y se encuentran detallados en los apéndices 7 y 8, así también está el plan de trabajo acuerdo con el diagrama de Gantt en el apéndice 6.

Para el manejo del riesgo, se tomó en cuenta los 12 mayores riesgos, que afectaban directa e indirectamente al futuro del proyecto. Estos se muestran a continuación.

Tabla 1

*Riesgos para culminación del proyecto*

<b>Código</b>	<b>Riesgos</b>	<b>Descripción breve</b>
R1	Político	Paros nacionales, que provocan desabastecimiento de materiales.
R2	Ambiental	Escape refrigerante R22 (perjudicial para la capa de ozono y efecto invernadero).
R3	Operacional	Protección precaria del sistema contra agentes ambientales.
R4	Financiero	Acceso a recursos económicos limitados y con retraso.
R5	Comercial	Retraso en envíos de equipos y materia prima.
R6	Técnico	Accidentes por falta de conocimientos de mantenimiento de Aire Acondicionado (AC).
R7	Operacional	Peligro de electrocución, cortocircuito y explosiones
R8	Seguridad	Accidentes por falta de implementos de protección personal.
R9	Operacional	Clima variable, inutilización del sistema de AC
R10	Técnico	Inadecuada conexión de tuberías de agua, fugas y roturas en el sistema actual.
R11	Operacional	Colapso estructural por peso del tanque y demás adecuaciones.
R12	Legal	Incumplimiento de regulaciones de suministro de agua caliente para gimnasios.

De estos se clasificó y analizó aquellos que podríamos dar un plan de manejo de riesgo, tomando en cuenta su incidencia y probabilidad. Se realizó una calificación cuantitativa, así como cualitativa para este análisis. A cada uno de estos riesgos se dio un plan para su manejo, y se detalla el procedimiento y plan de manejo en el

### **1.7. Estándares ingenieriles**

Para el análisis de los estándares e ingenierías que se van a cumplir se utilizó las bases teóricas, según Penoncello, en su libro *Diseño de sistemas energéticos* aplicables para intercambiadores de calor de placas, carcaza y tuberías, y de espiral. Para el resto se tomó en cuenta los siguientes manuales y estándares.

Tabla 2

*Estándares utilizados*

<b>Estándar Utilizado</b>	<b>Alcance</b>	<b>Justificación</b>
ASHRAE Handbook- HVAC Systems and Equipment	Es una guía para la selección de componentes y sistemas de equipos de aire acondicionado, ventilación y calefacción dependiendo su aplicación.	Utilizado para definir aislantes, para las tuberías de cobre, así como para conseguir el diagrama del refrigerante 410A.
NEC-SB-IE	Norma para instalaciones eléctricas en edificaciones ecuatorianas.	Para selección e instalación de cables de alimentación AC.
INEN 912:1992	Establece requisitos para calentadores eléctrico-domésticos con potencia de hasta 7kW	Utilizado para la fabricación del calefón eléctrico.
ASTM B828	Especifica el procedimiento para realizar soldadura en tubería de cobre.	Para una correcta soldadura en la tubería de la bomba de calor.
NFPA 70	Instalación y remoción de conductores y equipo eléctrico, así como para comunicación,	Instalación de sistemas eléctricos, así como de control eléctrico.
INEN 2187:2011	Norma para requerimientos e inspección de calentadores de agua a gas.	Utilizado para la verificación del desempeño de los calefones a gas en la universidad.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materiales y selección de componentes

Para seleccionar materiales y componentes se optó por una matriz de decisiones ponderadas. Los componentes y materiales están enfocados para el diseño a escala o el prototipo. El proyecto está subdividido en sistemas más pequeños con el fin de organizar el diseño de cada uno. Los subsistemas son los siguientes.

#### 2.1.1. Bomba de calor/Aire acondicionado

Este sistema tiene una matriz de decisión únicamente para el prototipo debido a que el proyecto general tiene 3 aires acondicionados de 55,000 BTU/h, que no se pueden modificar.

Para realizar el prototipo, se tiene dos principales opciones. La fabricación desde cero de una bomba de calor, o la modificación de una unidad de aire acondicionado. Dado que el proyecto tiene como objetivo la modificación de las unidades refrigeración del coliseo, optamos por la segunda opción.

Se tiene tres propuestas de aires acondicionados con diferentes capacidades de enfriamiento y características.

- Propuesta 1, un RCA de 12,000 BTU/h, totalmente nuevo, que utiliza R410a.
- Propuesta 2, un LG de 22,000 BTU/h, de 15 años de antigüedad, usa R22.
- Propuesta 3, una unidad de refrigeración nueva, similar a la que se utiliza actualmente en el coliseo, con capacidad de refrigeración de 54,000 BTU/h y refrigerante R410a.

El refrigerante R22 está prohibido, tanto su distribución y fabricación, en los Estados Unidos y la Unión Europea, debido a que degrada la capa de ozono (Danfoss, 2020).

Siguiendo el Apéndice 1

Método de selección AC. La propuesta número 1, es la ganadora, con un valor ponderado mayor respecto a las demás.

### **2.1.2. Intercambiador de calor**

El sistema requiere de un condensador de tipo agua-agua, con la finalidad de que transfiera el calor desde el refrigerante hasta el agua. Existen varias propuestas, para este caso nos decantamos por 3 principales sistemas.

- Propuesta 1, que sería un intercambiador de placas. Este requiere de una bomba de agua para recirculación del agua.
- Propuesta 2, consta del diseño y fabricación de un intercambiador de carcaza y tubos. Requiere de una bomba de agua.
- Propuesta 3, diseño y fabricación de un intercambiador tipo serpentín, dentro del tanque. Requiere de un agitador en el tanque o una bomba de recirculación, para mejorar la transferencia de calor.

Siguiendo el Apéndice 1 Método de selección HX, la propuesta número 3 es la ganadora debido a su bajo costo en conjunto con la confiabilidad imbatible y por su diseño simple.

### **2.1.3. Tanque de almacenamiento**

El termo tanque será el encargado de mantener cierto volumen de agua caliente, siempre que el aire acondicionado esté en funcionamiento. Este componente va de la mano con el serpentín que funcionará como condensador del ciclo de refrigeración, unido

al condensador del aire acondicionado que funcionará con una válvula de 3 vías para evitar sobrecalentamiento dentro del equipo.

El tanque debe ser de por lo menos 100l tomando en cuenta que se diseña para una ducha promedio de 5 minutos. Las soluciones propuestas se muestran a continuación.

- Propuesta 1, tanque plástico marca Rotoplas de 500l.
- Propuesta 2, Tanque plástico marca Plastigama de 250l.
- Propuesta 3, Tanque metálico de presión de 30gal.

Siguiendo el Apéndice 1 Método de selección Tanque. La propuesta ganadora es la número 2 teniendo en cuenta el bajo costo y durabilidad que nos brinda el material.

#### **2.1.4. Estructura**

La estructura será la que dé sostén a las partes del prototipo, exceptuando al tanque de almacenamiento. Es necesario que sea capaz de soportar al menos 30kg, que pesa el aire acondicionado. Las soluciones propuestas se muestran a continuación.

- Propuesta 1, Perfil en L de acero estructural de 40x4mm.
- Propuesta 2, Listones de madera de Seique de 2cmx4cm.

Se considera madera de Seique debido a su bajo costo y fácil disponibilidad en la mayoría de los aserraderos en Quito. Mientras que el perfil de acero es el más barato de los perfiles.

Siguiendo el Apéndice 1 Método de Selección estructura, la propuesta 2 es la ganadora, debido a su bajo costo y facilidad para la manufactura, el cual al ser de madera reduce los costos. Tanto de soldadura, como de implementos de seguridad para ensamblar.

### 2.1.5. Calefón

El calefón será el encargado de elevar la temperatura en caso de que el termo tanque no pueda abastecer la demanda de agua caliente. Tenemos 4 propuestas en este apartado.

- Propuesta 1, calefón a gas marca RCA de 6 litros.
- Propuesta 2, calefón eléctrico marca Rodwill de inducción de 12 kW de potencia.
- Propuesta 3, calefón eléctrico marca Radiance Nova de inducción de 12kW de potencia.
- Propuesta 4, calefón a gas de 5 litros marca Splendid.
- Propuesta 5, calefón artesanal con resistencia eléctrica de 7.7 kW.

Siguiendo el Apéndice 1 Método de selección Calefón, Se observa que la propuesta número 5 es el ideal debido a su bajo costo, especialmente dado que comparado con el resto de las opciones es prácticamente un tercio del precio comercial.

*Tabla 3*

*Resumen para propuestas seleccionadas*

<b>Subsistema</b>	<b>Propuesta seleccionada</b>
Calefón	Calefón artesanal con resistencia eléctrica de 6.6 kW.
Tanque de almacenamiento	Tanque plástico marca Plastigama de 250l.
Intercambiador de calor	Diseño y fabricación de un intercambiador tipo serpentín, dentro del tanque. Requiere de un agitador en el tanque o una bomba de recirculación, para mejorar la transferencia de calor.
Bomba de calor / Aire acondicionado	RCA de 12,000 BTU/h, totalmente nuevo, que utiliza refrigerante 410a.
Estructura	Listones de madera de Seique 2x4cm, y de 2.40 m de largo.

Con la Tabla 3 en mente se procede a comprar los componentes con las respectivas características.

## **2.2. Diseño para manufactura**

Al ser una modificación de un ciclo de refrigeración, es necesario la implementación de un diseño acorde al sistema. Por tanto, el prototipo se manufacturará, en su mayoría, de forma artesanal, mientras que aquellos componentes, que requieran destreza y herramientas específicas, serán enviados para su manufactura con terceros.

El prototipo será manufacturado en 4 etapas, la primera consintiendo en el sistema de aire acondicionado al cual debe adaptarse la serpentina del termo tanque. El segundo es el tanque con su respectivo agitador. Continuando con la manufactura de las tuberías de agua y calefón. Finalmente, se realizará el control de todo el prototipo.

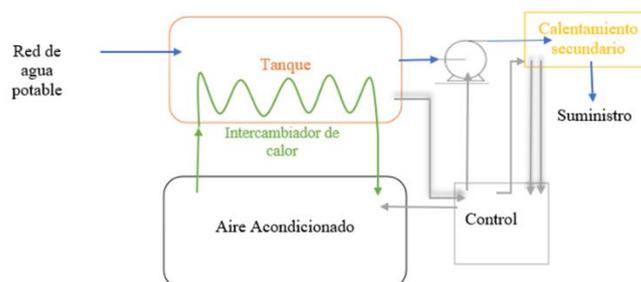
Se detalla el proceso de manufactura, calendario de fabricación, y plan de verificación en Apéndice 17: Diseño para manufactura

### 3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

#### 3.1. Reporte de diseño

El proyecto que se realizara en el coliseo Alexandros cuenta con tres dispositivos de aire acondicionados, cada uno con una capacidad de 54000 [Btu/h]. Además, se necesitará el uso simultáneo de hasta 6 duchas dentro del mismo. Con base en los datos experimentales que se obtuvieron, cada ducha consume un promedio de 100 a 150 litros por cada baño de 5 minutos, generando la necesidad de poseer mínimo 900 litros de agua disponibles para que todas estas duchas funcionen en simultáneo.

El sistema se conectó de la siguiente manera:



*Figura 2 Esquema del sistema interconectado*

##### 3.1.1. Aire acondicionado.

Para el diseño del adaptador hacia el intercambiador de calor con el condensador necesita realizar perforaciones y uniones por medio de una soldadura con 5 % de plata. Se destaca cierto problema al momento de unir las tuberías de cobre, debido a los cortes y el limitado tamaño del condensador del aire acondicionado. Las tuberías que se utilizan son de un diámetro nominal de 1/4 de pulgada. En conjunto con dos válvulas antirretorno del mismo diámetro y acoples rápidos a presión para un rápido ensamble. Revisar Apéndice 10: Planos.

### **3.1.2. Intercambiador de calor.**

Se necesitará utilizar un sistema de recirculación para maximizar el intercambio de energía entre el refrigerante y el agua. Se realizará un serpentín con la tubería de cobre de 1/4 de pulgada utilizada de igual forma en las conexiones con el equipo AC, y los acoples rápidos de presión. Sin embargo, para que el equipo funcione adecuadamente se realizaron cálculos de la energía transferida por el refrigerante hacia el agua como la longitud de tubería que se necesitara. Revisar sección de diseño del prototipo final.

### **3.1.3. Tanque de agua.**

Dentro del tanque de agua poseemos una fácil modificación para la instalación del intercambiador de calor y diferentes tuberías, además de una fácil manipulación exterior para el recubrimiento con un material aislante evitando las pérdidas de calor. Para la aplicación en el Coliseo Alexandros se necesitará como mínimo tener un tanque de 1100 L. En el tanque del prototipo se realizaron cálculos de la pérdida de calor del agua de forma experimental. Además de las múltiples conexiones, revisar apéndice 10 de planos.

### **3.1.4. Calentamiento secundario.**

En el caso real del proyecto, se utilizará un calefón eléctrico de 13 [kW] para alimentar las 6 duchas con ayuda del calentamiento de agua con el equipo AC. Para el caso del prototipo se implementará un sistema similar, sin embargo, existen problemas de conexión debido a las uniones que se han estado utilizando, cambiando el material y diseño de estos para optimizar el uso de la energía y a su vez el calor transferido hacia el agua antes de ser distribuida. Revisar Simulación 1: calefón y apéndice 10 planos.

### **3.1.5. Sistema de control**

Para la aplicación del proyecto se planea usar un PLC, mismo que nos facilitara la instalación y los cambios en la programación del control. Por otra parte, para el control del prototipo se utilizará un dispositivo Arduino complementado por múltiples relés,

mismos que ayudaran al Arduino a cumplir el mismo propósito que desarrollara el PLC.

Revisar Apéndice 2: Diseño de circuito para ducha Apéndice 3: Diseño de circuito de monitoreo de temperatura.

### 3.2. Plan de pruebas para prototipo

Tabla 4

Tabla de resumen sobre los requerimientos y sus respectivos resultados.

Requerimiento del Cliente	Prueba planteada	Resultados principales	Conclusión
Modificar una unidad de aire acondicionado del Coliseo Alexandros (Opcional).	Se definió modificarlo una vez se acabe el tiempo de garantía. Era un requisito opcional.	El tiempo establecido no se cumplió en el plazo	No se cumplió. Era un requisito opcional.
Creación de un prototipo funcional independiente de la unidad HVAC del Coliseo (Obligatorio).	Se realizó pruebas de funcionamiento con el sistema de temperatura. Además, se utilizó un termómetro digital.	Se obtuvo que para un tiempo de 2 horas de funcionamiento bajo condiciones establecidas, se obtuvo el valor objetivo de temperatura del agua.	Si se cumplió, se presentó en la feria
Minimizar las pérdidas de refrigerante durante la fabricación y funcionamiento del equipo (Obligatorio).	Se utilizaban pruebas de agua jabonosa para saber si habían fugas, además se verificaba si el amperaje del compresor para saber si se fugaba refrigerante.	Muchas veces existían fugas en las conexiones, sin embargo se solucionaron satisfactoriamente. El compresor manejaba amperaje invariante a lo largo de las pruebas.	Si se cumplió, se presentó en la feria
Implementar un sistema de control automático que mejore la eficiencia energética del equipo (Obligatorio).	Está implementado y se verificó con los relés y contactores según los criterios establecidos.	El sistema de control operaba de manera satisfactoria. Se implementó ON/OFF para el control, sin exceder el consumo de energía.	Si se cumplió, se presentó en la feria
Implementar sistema de monitoreo de Consumo de combustible del sistema de Calentamiento de duchas (Opcional).	Se planteó utilizar el monitoreo implementado por una tesis en semestres anteriores.	No se encontró o facilitó el equipo en funcionamiento.	No se cumplió. Era un requisito opcional.
Implementar sistema de monitoreo de consumo de energía AC en días soleados y nublados (Opcional).	Se conectó a EMPORIA (un equipo de monitoreo) a una red local de móvil con el celular debido a que no podía usarse la red de la Universidad	No se pudo establecer conexión por la distancia, se tomaron datos por unos minutos antes de que se interrumpa la conexión.	No se cumplió. Era un requisito opcional.

Para el aire acondicionado primero se realizarán pruebas de temperatura y presión que manejan para corroborar con los datos ofrecidos en las especificaciones del mismo producto. Además de los datos reales de consumo y tiempo de funcionamiento del compresor.

De igual forma, debido a la capacidad del aire acondicionado, el tanque de agua que se utilizará, mismo que disminuirá su tamaño a uno de 250 litros, capacidad que abarca hasta dos duchas en simultáneo y que el aire acondicionado es capaz de soportar. El intercambiador de calor se realizará en consecuencia de la tabla de selección y se probará en conjunto con el tanque para corroborar el correcto intercambio de calor entre

el refrigerante y el agua. Para el calefón, se realizará pruebas con diferentes resistencias eléctricas y múltiples diseños para obtener el más eficiente y funcional.

### **3.3. Seguridad a través del diseño**

La seguridad planteada se enfoca principalmente en los posibles daños ambientales que genere nuestro prototipo, y el sistema general considerando las fugas de refrigerante. Así también la seguridad ocupacional para quien lo manufacture.

#### **3.3.1. Tuberías de cobre**

Para el caso de las tuberías de cobre, se presentaron múltiples riesgos para su manipulación y uso, estos riesgos se enfocaron principalmente en la soldadura que se realizó para instalar los diferentes componentes. Por ello se utilizaron múltiples equipos de seguridad como lo son: mandil, botas de seguridad, guantes que resistan el calor, gafas de seguridad de soldadura. Adicionalmente, a esto siempre se realizó modificaciones de tuberías entre 2 o más miembros.

#### **3.3.2. Estructura de madera.**

Se presentaron ciertos riesgos como la manipulación de la cortadora de madera y el uso de la lijadora, como lo son enclavamientos de astillas, alergia al polvo, posibles cortes de extremidades. Donde se utilizaron gafas de seguridad, mascarilla, guantes (únicamente cuando se utilizó la lijadora) y se tomaron las debidas distancias al manipular los diferentes equipos.

#### **3.3.3. Calefón**

Este es el caso más complejo debido a su fabricación artesanal, el uso de herramientas y el riego eléctrico al operador. Por ello se tienen los siguientes riesgos.

Tabla 5

*Riesgo y solución para plan de manejo*

<b>Riesgo</b>	<b>Solución</b>
Uso de taladro	Uso de equipo de seguridad adecuado (No guantes)
Riesgo eléctrico	Se verifica las conexiones antes realizar pruebas, con ello la conexión a tierra, uso de guantes de goma y multímetro para su correcto funcionamiento.
Riego a la piel por pegamentos	Uso de guantes y herramientas que faciliten su aplicación.

### **3.3.4. Tuberías de PVC**

No se presenta un riesgo considerable más que cortes por la sierra metálica, la tarraja y el torno. Las precauciones tomadas fueron el uso de guantes (a excepción el torno) y gafas de seguridad.

### **3.3.5. Refrigerante**

En caso del refrigerante al ser R410A producida de manera sintética, si se ingiere de forma involuntaria una cantidad considerable existe un riesgo a la salud. Por ello se restringió a usarlo únicamente cuando el manómetro de servicio de aire acondicionado estaba conectado sin presentar obstrucciones, procediendo a ingresar correctamente al equipo y no esparcirse en el lugar de trabajo, generando un riesgo de consumo. Además, se utilizó mascarillas y siempre realizar el proceso con 2 o más miembros del grupo, para verificar las fugas.

### 3.4. Cálculos de factibilidad del modelo Coliseo Alexandros

#### 3.4.1. Resultados Análisis termodinámico modelo Coliseo Alexandros

A continuación, se presenta la Tabla 6 de resultados de los puntos del ciclo de refrigeración con las entalpías, entropías y temperaturas manejadas. En el condensador la temperatura de saturación es de 51 °C, a la cual el sistema de intercambio en el diseño tratará de converger por equilibrio térmico.

Tabla 6

Propiedades del ciclo ideal AC. Coliseo Alexandros.

	h[i], kJ/kg	s[i], kJ/kg-K	T[i], C
[1]	426.4	1.756	28.14
[2]	434.9	1.739	58.01
[3]	288.9	1.289	51.43
[4]	318.3	1.299	28.14

En la Figura 3, se grafica la unión por los puntos en un diagrama T-s del refrigerante R410A, es la misma relación con la tabla anterior de resultados. Además, se tiene los procesos llevados a cabo por el compresor, el evaporador, condensador y la válvula de expansión. Uno de los datos más importantes para el diseño del intercambiador es el flujo másico de refrigerante, para este caso es.  $\dot{m}_{R4} = 0.1568 \left[ \frac{kg}{s} \right]$

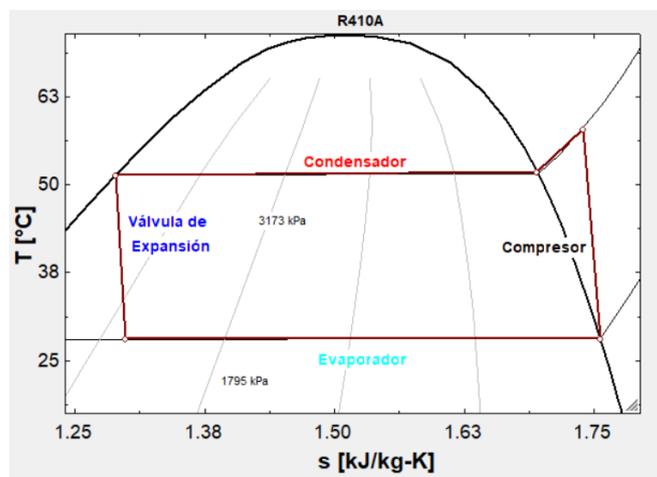


Figura 3 Ciclo ideal de AC coliseo Alexandros.

### 3.4.2. Resultados Diseño termodinámico modelo Coliseo Alexandros

En este caso los resultados arrojados son el de la longitud requerida para el intercambiador, debido a que esta tiene 3 casos: condensador con aire por defecto, convección libre con agua y convección forzada. En el caso de convección forzada se tiene una restricción de 1.5 m/s de velocidad del fluido.

$$L_{w2} = 15.96[m]$$

$$\overline{Nu}_{w2} = 108.2$$

$$h_{w2} = 6828 \left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Tabla 7

Resultados de flujo externos por convección forzada y natural de agua. Coliseo Alexandros.

	Tipo Convección	L [m]
Aire	Forzado	48.12
Agua	Natural	54.99
Agua	Forzado (V=1.5 [m/s])	15.96

### 3.4.3. Análisis de demanda

En base a la encuesta y análisis que se realizaron se determinó que en promedio los alumnos de la USFQ utilizan las duchas 30 veces al día por los 4 días normales de clases. Revisar Apéndice 15: Cálculos Coliseo Alexandros

### 3.4.4. Análisis de sostenibilidad

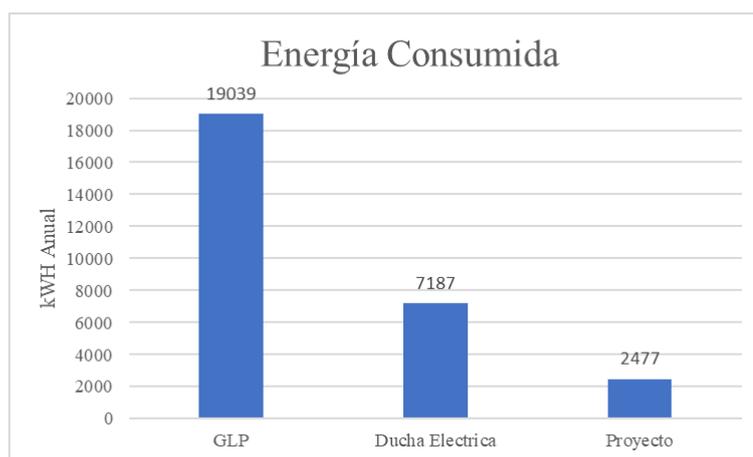
Consumo del equipo y reducción de emisiones de GEI. En especial se calculará el calor reemplazable tomando en cuenta solo un calefón a gas para la demanda que tienen las duchas del Coliseo Alexandros.

### Resultados:

$$Num_{bombonas} = 135.5$$

$$\begin{aligned} \text{Ahorro} &= 760.6[\$] \\ \text{CO2}_{KG} &= 4188 \left[ \frac{kg}{\text{Año}} \right] \end{aligned}$$

La cantidad de CO2 evitados al medioambiente fue de 4188  $\left[ \frac{kg}{\text{Año}} \right]$  debido a que el proyecto aplicable únicamente consume energía eléctrica y no genera gases de efecto invernadero. El factor de CO2 para combustión de GLP para el 2017 fue de 0.22  $\frac{kgCO2}{kWh}$  (Ministerio para transición ecológica, 2020).



*Figura 4 Consumo en el coliseo Alexandros por calentamiento de agua.*

En la Figura , podemos observar una disminución considerable en el consumo de energía de nuestro proyecto, es menor que el consumo mediante los calefones y el consumo si se usaran únicamente duchas eléctricas. Siendo 87% menor que el GLP y 65.53 % menor que el usado de duchas eléctricas.

### 3.4.5. Análisis económico

Se realizó un presupuesto donde se observa el costo inicial para la fabricación e instalación del kit de calentamiento.

Tabla 8

## Gastos de la fabricación del proyecto en el coliseo Alexandros

	Equipos	Costo unitario (\$)	unidad	costo total (\$)	
Agua	Tanque De Agua	150,00	1	150,00	
	Tuberías Agua Caliente X6 Metros	12,00	5	60,00	
	Uniones PVC	40	1	40,00	
	Válvulas check	12,00	3	36,00	
Tuberías de cobre	Válvulas 4 Vías	21,50	1	21,50	
	Bobina De Válvula	8,50	1	8,50	
	Tuberías Para El Refrigerante 15 Metros	38,00	2	76,00	
	Refrigerante 410a 800gr	13,00	4	52,00	
	Válvulas Check	10,00	3	30,00	
	Uniones cobre	35,00	1	35,00	
	Espuma elastomerica x metro	2	10	20,00	
	Soldadura	120,00	1	120,00	
	Calefón	Calefón Electrico Ecosmart	150,00	1	150,00
PLC		20,00	1	20,00	
Control	Sensor De Temperatura	10,00	2	20,00	
	Cables arduino	2,5	2	5,00	
	Cable calibre 10 x Metro	1,00	13	13,00	
	Cable calibre 18 x Metro	0,50	15	7,50	
	Borneras 10 A	1,5	1	1,50	
	Borneras 50 A	4,00	1	4,00	
	Breaker 220v	15,00	1	15,00	
	Breaker 110v	15,00	1	15,00	
	Boton encendido	6,00	1	6,00	
	Boton Emergencia	6,00	1	6,00	
	Panel LCD	10,00	1	10,00	
	Cajetin Metalico	10,00	1	10,00	
	<b>Subtotal</b>				<b>932,00</b>
		Colchon 10%	93,20	1	93,20
<b>Total</b>				<b>1025,20</b>	

Los gastos se consideraron con base a la oferta y la facilidad de conseguir los diferentes productos en nuestro país. Promediando un gasto de \$932 dólares, Adicionalmente, a este gasto se agrega un colchón del 10 % en caso de ser un necesario un gasto extra alcanzando los \$1025.20 dólares.

Los cálculos económicos para el caso real se realizaron basándose en costos y características económicas del país. La Universidad utiliza una tarifa comercial con demanda horaria. El costo del kWh en el estudio de 08:00 h a 18:00 h es de \$0.095 (EMPRESA ELÉCTRICA QUITO, 2022), el tanque de 15 kg de GLP de uso doméstico a \$5 (La hora, 2021) mientras el tanque de 15 kg de GLP sin subsidio alcanza los \$15.1, una tasa de interés del 10 %% correspondiente al Banco central de Ecuador.

Tabla 9

## Análisis económico

Análisis económico		
Costos del proyecto		unidad
Prototipo	1010,60	[\$]
Coliseo Alexandros	1025,2	[\$]
Cálculos económicos 3 años		
Ahorro Neto	128.6	[\$]
% de ahorro	12,6%	[%]
Cálculos económicos 3 años sin subsidio		
Ahorro Neto	3949	[\$]
% de ahorro	385%	[%]
Calculos reducion de emsiones de efecto invernadero cada año		
CO2 generado	4188	[kg]
Calculos Aire acondicionado		
Calor utilizable para calentar el agua	22,9	[kW]

Con base a las características económicas del país, el proyecto es factible luego de los primeros 3 años, consumiendo 135,5 bombonas, obteniendo un ahorro de \$128,6 y un porcentaje de ahorro del 12 % tomando en cuenta el costo a domicilio del GLP doméstico, la inversión inicial y costos de operación durante el tiempo en que se determinó la factibilidad. Por otra parte, para las mismas condiciones en el caso de que el GLP doméstico no cuente con subsidio se obtiene un ahorro de \$3949 y un porcentaje de ahorro de 385 %. Estos valores son sin tomar en cuenta el costo del equipo de aire acondicionado, así como su consumo energético.

### 3.5. Diseño del prototipo final

#### 3.5.1. Resultados Análisis termodinámico modelo prototipo final

Entre los resultados más destacados se encuentran los puntos del ciclo de refrigeración en el diagrama T-s del refrigerante R410A, en el modelo prototipo. Además, se tiene los puntos calculados resumidos en una tabla a continuación. La corriente que se obtuvo de 3.31 [A].

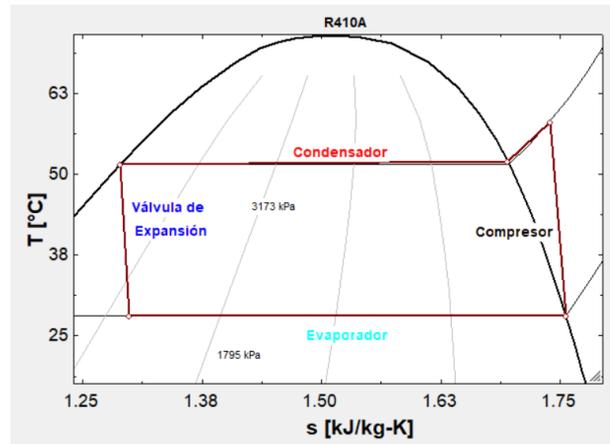


Figura 5 Puntos del ciclo de refrigeración ideal. Prototipo.

Dentro de los puntos calculados para el ciclo de refrigeración se tiene la tabla siguiente. El más importante de aquella tabla es la temperatura en el punto 3 de 45 °C, la cual marca el límite de calentamiento aproximado dentro del tanque, debido al equilibrio térmico no puede ser mayor la temperatura de agua en el tanque en esas condiciones.

Tabla 10

Resultados del ciclo de refrigeración. Prototipo.

	$h[i], \text{kJ/kg}$	$s[i], \text{kJ/kg-K}$	$T[i], \text{C}$
[1]	422.5	1.803	4
[2]	462.2	1.831	70
[3]	275.8	1.25	45
[4]	275.8	1.273	4

### 3.5.2. Resultados Diseño termodinámico modelo prototipo final

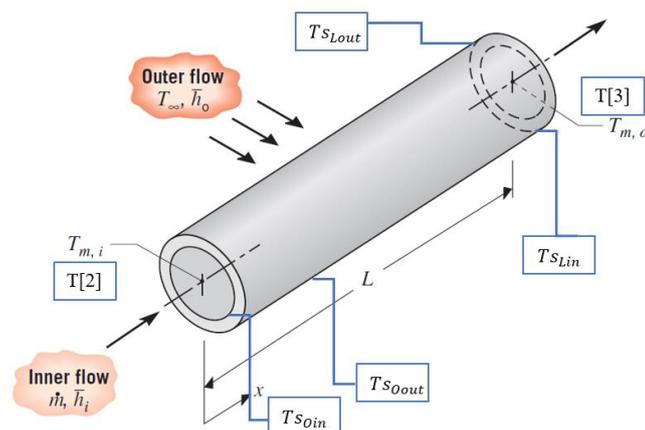


Figura 6 Puntos de diseño intercambiador de calor. Prototipo.

Tabla 11

Resultados diseño intercambiador de calor. Prototipo.

Ts_Oin, [C]	59.99
Ts_Oout, [C]	56.96
Ts_Lin, [C]	28.09
Ts_Lout, [C]	28.09
h_in2, [W/m <sup>2</sup> -K]	15557
R_cond, [K/W]	1.50E-07
R_in2, [K/W]	4.46E-05
R_tot2, [K/W]	4.61E-05

Tabla 12

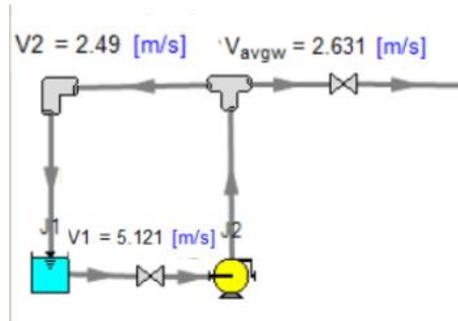
Resultados de flujo externos por convección forzada y natural de agua. Prototipo.

	Tipo Convección	L [m]
Aire	Forzado	17.48
Agua	Natural	19.58
Agua	Forzado (V=0.006 [m/s])	15

Similar al análisis planteado en el diseño del intercambiador del Coliseo, se tiene que, las longitudes de tubería necesaria para introducir en el tanque son dependientes del tipo de convección externa del agua. Para el diseño se seleccionará el modelo de 15 [m], porque la velocidad del tanque con la recirculación que tiene es similar, debido al diámetro de este. También se calculó la pérdida de presión por la circulación de refrigerante.

### 3.5.1. Resultados Análisis hidráulico modelo prototipo final

Para los cálculos hidráulicos, se tuvo en cuenta el sistema es 3 partes principales: el suministro a las duchas desde la te, la recirculación al tanque desde la te y la unión de los caudales de la entrada al tanque a la te, esta última incluye la bomba. Las velocidades se resumen en la Figura 7. En el análisis se consideró la bomba Pedrollo de 1 HP de potencia.



*Figura 7 Resultados de velocidad en los tramos de tubería con bomba 1 HP.*

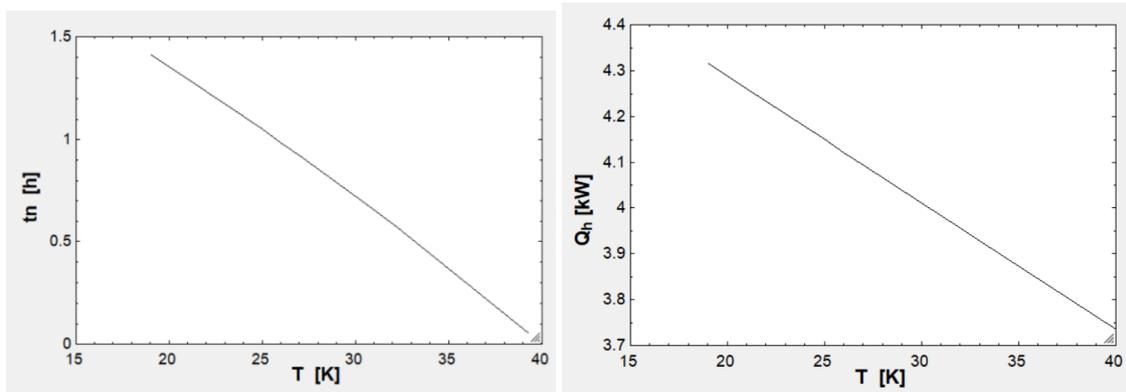
Para las pérdidas de calor en tuberías se tiene la siguiente Figura 8, en la cual se explica resumidamente el calor que se pierde si el tanque y tuberías llegan a los 40 °C. Hay un análisis similar considerando lana de roca como un aislante. Se consideró esa temperatura, debido a que aquí hay un gradiente de temperatura mayor con los alrededores de 18 °C.

### 3.5.2. Resultados Análisis termodinámico 2 y 3 modelo prototipo final



*Figura 8 Pérdida de calor en tanque con y sin aislamiento térmico.*

En esta parte se tienen los análisis con temperatura de las tuberías y tanque variable. Se nota que, hay una correlación inversa entre la temperatura y el tiempo teórico de calentamiento.



*Figura 9 Tiempo de calentamiento de agua según su temperatura.*

La Figura 9Figura 1 tiene como principal resultado la misma relación inversa entre la temperatura y el calor que puede ser aprovechado en verdad por el agua.

En los resultados del análisis termodinámico 3 aparece que la temperatura de calentamiento del agua es de 42.3 °C en la salida del calefón. Esto se compara con los resultados de la simulación en la que aparece que son 41 °C, por lo que el análisis es correcto.

#### **3.5.4. Análisis económico**

El análisis económico del prototipo se limitó al presupuesto con el fin de verificar la factibilidad del caso real. Este modelo es escalable al prototipo. Se muestra el presupuesto.

Tabla 13

## Costo del proyecto

	Equipos	Costo unitario [\$]	unidad	costo total [\$]
Agua	Tanque De Agua	54,43	1	54,43
	Tuberías Agua Caliente X6 Metros	12,00	1	12,00
	Uniones PVC	25	1	25,00
Tuberías de cobre	Válvulas check	12,00	2	24,00
	Válvulas 4 Vías	21,50	1	21,50
	Bobina De Válvula	8,50	1	8,50
	Tuberías Para El Refrigerante 15 Metros	28,00	2	56,00
	Refrigerante 410a 800gr	13,00	5	65,00
	Válvulas Check	10,00	2	20,00
	Uniones cobre	20,00	1	20,00
	Espuma elastomerica x metro	2	4	8,00
	Soldadura	70,00	1	70,00
Calefon	Tapa PVC	2,50	1	2,50
	Union PVC	2,5	1	2,50
	Resistencia 7700 W	9,00	1	9,00
	Tapones	0,65	2	1,30
	Pegatanque	6,00	2	12,00
	Tapon 2"	2	1	2,00
Control	Arduino uno	20,00	1	20,00
	Sensor De Temperatura	10,00	2	20,00
	Flujometro	6,00	1	6,00
	Rele arduino	8,00	1	8,00
	Rele estado solido 40 A	10,00	2	20,00
	Rele estado solido 60A	13,00	1	13,00
	Protoboard	5,00	1	5,00
	Cables arduino	2,5	2	5,00
	Cable calibre 10 x Metro	1,00	13	13,00
	Cable calibre 18 x Metro	0,50	15	7,50
	Borneras 10 A	1,5	1	1,50
	Borneras 50 A	4,00	1	4,00
	Breaker 220v	15,00	1	15,00
	Breaker 110v	15,00	1	15,00
	Boton encendido	6,00	1	6,00
	Boton Emergencia	6,00	1	6,00
	Panel LCD	10,00	1	10,00
Estructura	Cajetin Metalico	10,00	1	10,00
	Estructura	30,00	1	30,00
	Barniz	5,00	1	5,00
AC	AC RCA 12000 BTU	285,00	1	285,00
	<b>Subtotal</b>			<b>918,73</b>
	Colchon 10%	91,87	1	91,87
	<b>Total</b>			<b>1010,60</b>

Para el prototipo, como se aprecia en la tabla 15, se necesita una inversión mínima de \$918.73 más un colchón del 10 % (a pedido del cliente) en el caso de imprevisto.

### 3.5.5. Sistema de medición de temperatura

Para graficar el sistema de conexión dentro del tablero, se utiliza el software *Fritzing*. Este permite simular el diagrama de conexión del sistema de medición de temperatura para el agua del tanque y a la salida del calefón, con un flujómetro que activará la resistencia en caso de necesitarlo.

Se incluye en la sección de Apéndices el diagrama de control Apéndice 19: Sistema de control.

#### 4. DISCUSIÓN

A partir de los datos analizados, se tiene que los cálculos son los correctos para el desarrollo del prototipo. Fueron analizados los sistemas de aire acondicionado y el intercambiador de calor, de igual forma el tanque, la conexión auxiliar de calentamiento y el monitoreo con la electrónica conectada a los diferentes equipos. Para la parte de factibilidad se analizó ambos sistemas, comprobando que a partir de los 3 años se obtiene un ahorro, esto debido a que el uso de este sistema no es tan prolongado como se llega a pensar. El manejo de datos de demanda de uso de duchas y de acondicionamiento de aire son vitales para el cálculo de desempeño del equipo, esto porque el agua no se calienta sin el uso del aire acondicionado y no se utiliza si no hay estudiantes que utilicen las duchas. Existen horarios pico de uso en los días de práctica deportiva, siendo esto de lunes a viernes después de las 10:00 hasta las 14:30 el mismo que es para el uso de AC dentro de las oficinas.

El prototipo tiene como fin implementar un modelo a escala del real, de la forma más fiel posible. El intercambiador de calor en este caso es una unidad de condensación, por lo que es muy importante, analizar que la teoría nos indica que existe un cambio de fase que altera los datos del coeficiente de convección, por lo que es importante analizarlo de manera adecuada, tomando el coeficiente en estado de vapor sobrecalentado. De igual forma, se añadió un metro extra en el contacto con el serpentín para asegurar el intercambio de calor.

Las termocuplas muchas veces pueden arrojar valores erráticos, hay que esperar que se estabilicen. Se puede eliminar simplemente en el código del Arduino, sin embargo, no se lo realizó por qué se quería verificar el correcto funcionamiento, no ocurre con mucha frecuencia. El ahorro es considerable en un plazo mayor a tres años con subsidio, si no existiera este, sería aún mayor pudiéndose pagar el proyecto hasta en 1 año.

## 5. CONCLUSIÓN

El desarrollo del prototipo fue satisfactorio, se cumplió con todos los requisitos del cliente. Se recibió retroalimentación oportuna y se encuentra satisfecho con todas las características de funcionamiento.

La unidad de aire acondicionado que se utilizó tiene una capacidad de 12000 BTU/h, funcionando con R-410a. Se utilizó una válvula de cuatro vías en vez de la válvula de 3 por lo que se tuvo que adecuar dicha válvula para un correcto funcionamiento a medida de las necesidades del proyecto. El proyecto cumple con todas las funcionalidades para ser implementado en el coliseo Alexandros de la USFQ.

El sistema de control automático es completamente funcional y fue testado comparando todas las posibilidades, tomando las medidas de protección adecuadas para cada uno de los dispositivos de potencia como la bomba, la resistencia eléctrica, la bobina de la válvula de cuatro vías.

El sistema de modificación de equipos AC puede ser implementado debido el que tiene un porcentaje de ahorro favorable luego de 3 años del 12 % considerando el subsidio, sin considerarlo, es de 385, %. En caso de que el subsidio se elimine. El proyecto se lo podría implementar sin ningún inconveniente con una inversión inicial tanto de material y mano de obra de \$930.73.

El sistema de monitoreo es funcional, sin embargo, y como se menciona en el trabajo a futuro, se puede pulir de diversas áreas mejorando el monitoreo para que no sea de manera manual.

## 6. TRABAJO FUTURO

En una previsión a futuro muy importante poder monitorear de mejor manera los diferentes parámetros, por lo que se recomendaría instalar una mayor cantidad de sensores ya sea de caudal o medición de temperatura. El objetivo de esto sería para tener un sistema más avanzado para poder realizar un análisis con mucho más detenimiento y profundidad.

Es adecuado considerar un kit de funcionamiento mucho más amigable con la instalación, es decir, que solo requiera 2 cortes en las conexiones de la tubería. Además, se recomendaría buscar diferentes tipos de válvulas (3 vías) y evitar la modificación de una de cuatro vías, sin embargo, la justificación para el prototipo fue el bajo costo que representa y la fácil manipulación que tenía la válvula de cuatro vías para su implementación, aunque un correcto sistema de válvulas podría mejorar el proyecto. Se recomendaría utilizar un microcontrolador con más entradas o salidas digitales para la implementación de más sensores.

También se buscaría implementar un control PID y para la salida de temperatura esto se trató de implementar con un carácter opcional, por lo que no se le dio prioridad, sin embargo, esto mejoraría muchísimo el consumo de energía eléctrica y el confort porque el control ON/OFF lo que hace es que una vez se llega a la temperatura establecida se apaga y mientras la termocupla marque un valor debajo de los 40 se vuelve a encender. Como sugerencia existen librerías creadas en Arduino para el control PID y con entrada y salida ya implementadas en código, no obstante, hay que establecer valores de las constantes proporcionales, derivativos, e integrativos para la correcta implementación de este.

Uno de los trabajos a futuro es buscar alternativas hacia el sistema de respaldo implementando ya sea una forma de generación de energía eléctrica propia para la resistencia eléctrica o usar alguna alternativa como por ejemplo un colector solar. Se

busca es optimizar lo máximo posible el ensamble y desensamble del producto, facilitando el mantenimiento de los diferentes componentes del sistema.

Por último, se pensaba la implementación de un sistema de monitoreo Bluetooth o wifi en el Arduino para evitar conectarlo directamente con el cable de información hacia una computadora o un dispositivo el inteligente que pueda leer el Serial.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Caeiro, D. (4 de Julio de 2017). *Adiós calderas, bienvenidas bombas de calor*. Obtenido de <https://contigoenergia.com/adios-calderas-bienvenidas-bombas-calor/>

Cengel, Y., & Boles, M. (2015). *Termodinámica*. México: Mc Graw Hill.

Comercio, E. (2013). *En el Ecuador, la economía se sostiene en seis sectores*. Obtenido de <https://www.revistalideres.ec/lideres/ecuador-economia-sostiene-seis-sectores.html>

Danfoss. (1 de Enero de 2020). *Reducción gradual del R22*. Obtenido de Danfoss Engineering tomorrow: <https://www.danfoss.com/es-es/about-danfoss/our-businesses/cooling/refrigerants-and-energy-efficiency/hcfc-and-cfc-phase-out/r22-phase-down/#:~:text=El%20Protocolo%20de%20Montreal%20abarca,dejar%20C3%A1%20de%20utilizarse%20en%202020>.

Ecuador Forestal. (2012). *Seique*. Ecuador Forestal.

Ekos. (06 de febrero de 2018). *Industria manufacturera: el sector de mayor aporte al PIB*. Obtenido de <https://www.ekosnegocios.com/articulo/industria-manufacturera-el-sector-de-mayor-aporte-al-pib>

EMPRESA ELÉCTRICA QUITO. (19 de Julio de 2022). *TARIFAS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO, ENTRE LAS MÁS BAJAS DE LA REGIÓN*. Obtenido de EMPRESA ELÉCTRICA QUITO: [http://www.eeq.com.ec:8080/zh\\_TW/nosotros/comunicamos/noticias/-/asset\\_publisher/PDd0RO7lSu5d/content/tarifas-de-la-empresa-electrica-quito-entre-las-mas-bajas-de-la-](http://www.eeq.com.ec:8080/zh_TW/nosotros/comunicamos/noticias/-/asset_publisher/PDd0RO7lSu5d/content/tarifas-de-la-empresa-electrica-quito-entre-las-mas-bajas-de-la-)

region/pop\_up;jsessionid=DB1D933032CC4ADB8CD0C6D87EB68431?controlPanelCategory=portlet\_10

La hora. (04 de agosto de 2021). *El subsidio por tanque de gas supera los \$13*. Obtenido de La hora: <https://www.lahora.com.ec/pais/el-subsidio-por-tanque-de-gas-supera-los-13/>

López, M. T. (19 de Marzo de 2007). *Uso de las bombas de calor de alta temperatura como alternativa para el uso racional de energía en la industria*. Obtenido de [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/225/1/pl\\_v1n2\\_28-45\\_bombasCalor.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/225/1/pl_v1n2_28-45_bombasCalor.pdf)

Metal, E. (s.f.). *Bombas de calor*. Obtenido de <https://www.ee-metal.com/es/techniques/heat-pumps/>

Organización de las Naciones Unidas. (Enero de 2022). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Nueva York: UN. Obtenido de [https://hdr.undp.org/system/files/documents/global-report-document/hdr2021-22pdf\\_1.pdf](https://hdr.undp.org/system/files/documents/global-report-document/hdr2021-22pdf_1.pdf)

Vera, M. N. (Septiembre de 2018). *Análisis del sector textil y su incidencia en el Producto Interno Bruto del Ecuador, período 2012-2017*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/34387/1/ONOFRE%20VERA.pdf>

Bralla, J. G. (Ed.). (1999). *Design for Manufacturability Handbook* (2nd ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780070071391>

Crane Co. Engineering Department. (2001). *Flow of fluids through valves, fittings, and pipe*. Crane Valves.

*HEAT EXCHANGERS Selection, Rating, and Thermal Design Third Edition.* (n.d.).

*Heat Pump Water Heaters | Department of Energy.* (n.d.). 2022. Retrieved December 19, 2022, from <https://www.energy.gov/energysaver/heat-pump-water-heaters>

*Heat Recovery Pool Heater | Compare To Solar Pool Heater | HotSpot Energy LLC.* (2010). Heat Recovery. <https://www.hotspotenergy.com/pool-heater/>

Penoncello, S. G. (2018). *Thermal Energy Systems.* CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22141>

*SMART Goals: A How to Guide.* (2016).

Taru, Y. K., & Karwankar, A. (2018). Water monitoring system using arduino with labview. *Proceedings of the International Conference on Computing Methodologies and Communication, ICCMC 2017, 2018-January*, 416–419. <https://doi.org/10.1109/ICCMC.2017.8282722>

*What is Sprint Planning?* (2022). <https://www.scrum.org/resources/what-is-sprint-planning>

## 8. APÉNDICES

### 8.1. Planos ingenieriles y detalle de cálculos análisis ingenieril

#### 8.1.1. Apéndice 1: Matriz de decisión

Opciones AC					
Cooling Cap.	12k	22k	54k	$\Sigma+1$	PONDERADO
12k		0	0	1	0.167
22k	1		0	2	0.333
54k	1	1		3	0.500
SUMA				6	1.000

PRECIO	12k	22k	54k	$\Sigma+1$	PONDERADO
12k		0	1	2	0.333
22k	1		1	3	0.500
54k	0	0		1	0.167
SUMA				6	1.000

Confiabilidad	12k	22k	54k	$\Sigma+1$	PONDERADO
12k		1	0.5	2.5	0.417
22k	0		0	1	0.167
54k	0.5	1		2.5	0.417
SUMA				6	1.000

Eco-friendly	12k	22k	54k	$\Sigma+1$	PONDERADO
12k		1	0.5	2.5	0.417
22k	0		0	1	0.167
54k	0.5	1		2.5	0.417
SUMA				6	1.000

#### 8.1.4.1 Método de selección AC

Los criterios de selección son:

- La capacidad de enfriamiento, puesto brindará mayor temperatura al agua, una vez en funcionamiento, sin embargo, puede ser adaptado para el tamaño del proyecto.
- El precio, ya que tenemos un presupuesto ajustado, y este es el componente que mayor costo tiene.

- La confiabilidad, para garantizar la ausencia de problemas técnicos durante la modificación.
- Amigable con el medioambiente (Eco-Friendly), debido a que uno de los objetivos principales del proyecto es ser respetuoso con el medioambiente.

Utilizando el método de decisión ponderado se encuentra lo siguiente.

*Resultados Selección aire acondicionado.*

<b>Resultados</b>						
Precio > Eco-Friendly > Confiabilidad > Capacidad						
<b>Conclusión</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Confiabilidad</b>	<b>Eco-Friendly</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderado</b>
<b>Propuesta 1</b>	0.0238	0.190	0.119	0.179	1.512	0.341
<b>Propuesta 2</b>	0.0476	0.286	0.048	0.071	1.452	0.328
<b>Propuesta 3</b>	0.0714	0.095	0.119	0.179	1.464	0.331
				<b>Suma</b>	4.429	1.000

<b>Opciones HX</b>					
HEAT RATE	Placas	Shell&Tube	Serpentín	$\Sigma+1$	PONDERADO
Placas		1	1	3	0.500
Shell&Tube	0		1	2	0.333
Serpentín	0	0		1	0.167
			<b>SUMA</b>	6	12

PRECIO	Placas	Shell&Tube	Serpentín	$\Sigma+1$	PONDERADO
Placas		0	0	1	0.167
Shell&Tube	1		0	2	0.333
Serpentín	1	1		3	0.500
			<b>SUMA</b>	6	12

Confiabilidad	Placas	Shell&Tube	Serpentín	$\Sigma+1$	PONDERADO
Placas		0	0	1	0.167
Shell&Tube	1		0	2	0.333
Serpentín	1	1		3	0.500
			<b>SUMA</b>	6	12

Manufactura	Placas	Shell&Tube	Serpentín	$\Sigma+1$	PONDERADO
Placas		0	0	1	0.167
Shell&Tube	1		0	2	0.333
Serpentín	1	1		3	0.500
			<b>SUMA</b>	6	12

#### 8.1.4.2 Método de selección HX

Los criterios de selección son los siguientes.

- Transferencia de calor. Para transferir, en lo posible, la mayor cantidad de energía hacia el agua y poder aumentar su temperatura.
- Precio. Ajustado al presupuesto.
- Confiabilidad. Para evitar contratiempos y problemas derivados, como fugas por falta de calidad en la manufactura.
- Dificultad de manufactura. Para reducir tiempos de fabricación y evitar fallas.

Utilizando el método de decisión ponderado se encuentra lo siguiente.

*Resultados de selección intercambiador de calor.*

<b>Resultados</b>						
Precio > Confiabilidad > Manufactura > Capacidad						
<b>Conclusión</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Confiabilidad</b>	<b>Manufactura</b>	<b><math>\sum+1</math></b>	<b>Ponderado</b>
<b>Propuesta 1</b>	0.0500	0.067	0.050	0.033	1.200	0.300
<b>Propuesta 2</b>	0.0333	0.133	0.100	0.067	1.333	0.333
<b>Propuesta 3</b>	0.0167	0.200	0.150	0.100	1.467	0.367
				<b>Suma</b>	4.000	1.000

Opciones Control					
Arduino>PLC1>PLC2					
PRECIO	PLC 1	PLC 2	Arduino	$\Sigma+1$	PONDERADO
PLC 1		1	0	2	0.333
PLC 2	0		0	1	0.167
Arduino	1	1		3	0.500
SUMA				6	12

PLC 1= PLC 2> Arduino					
ESTABILIDAD	PLC 1	PLC 2	Arduino	$\Sigma+1$	PONDERADO
PLC 1		0.5	1	2.5	0.417
PLC 2	0.5		1	2.5	0.417
Arduino	0	0		1	0.167
SUMA				6	12

PLC 1=PLC2 =Arduino					
DURABILIDA	PLC 1	PLC 2	Arduino	$\Sigma+1$	PONDERADO
PLC 1		0.5	0.5	2	0.333
PLC 2	0.5		0.5	2	0.333
Arduino	0.5	0.5		2	0.333
SUMA				6	12

PLC 1=PLC 2>Arduino					
INSTALACION	PLC 1	PLC 2	Arduino	$\Sigma+1$	PONDERADO
PLC 1		0.5	1	2.5	0.417
PLC 2	0.5		1	2.5	0.417
Arduino	0	0		1	0.167
SUMA				6	12

### Matriz decisión tanque

Bajo costo	500	250	Metalico	$\Sigma+1$	Ponderado
500		0	1	2,000	0,333
250	1		1	3,000	0,500
Metalico	0	0		1,000	0,167
				6,000	1,000

Durabilidad	500	250	Metalico	$\Sigma+1$	Ponderado
500		0,5	1	2,500	0,417
250	0,5		1	2,500	0,417
Metálico	0	0		1,000	0,167
				6,000	1,000

Facilidad de modificación	500	250	Metálico	$\Sigma+1$	Ponderado
500		0,5	1	2,500	0,417
250	0,5		1	2,500	0,417
Metálico	0	0		1,000	0,167
				6,000	1,000

Resistencia calor	500	250	Metálico	$\Sigma+1$	Ponderado
500		0,5	0,5	2,000	0,333
250	0,5		0,5	2,000	0,333
Metálico	0,5	0,5		2,000	0,333
				6,000	1,000

#### 8.1.4.3 Método de selección Tanque

Los criterios de selección son los siguientes.

- Bajo costo. Para mantener el proyecto dentro de los límites del presupuesto.
- Durabilidad al ambiente. Debido a que el termo tanque por regla general se mantiene a la intemperie en el exterior.
- Facilidad de modificación. Debido a que será necesario colocar acoples, tanto por las tuberías de agua, como las tuberías del intercambiador de calor.
- Resistencia al calor. Para que mantenga sus propiedades físicas y químicas una vez lleno de agua caliente.

Los resultados son los siguientes.

*Resultados de selección tanque de almacenamiento.*

<b>Resultados</b>
-------------------

Facilidad de modificación > Durabilidad ambiente = Costo > Resistencia Calor						
Conclusión	Bajo Costo	Durabilidad al ambiente	Facilidad modificación	Resistencia calor	$\Sigma+1$	Ponderado
Propuesta 1	0,0833	0,104	0,167	0,0333	1,388	0,347
Propuesta 2	0,125	0,104	0,167	0,0333	1,429	0,357
Propuesta 3	0,0417	0,0417	0,0667	0,0333	1,183	0,296
<b>Suma</b>					4,000	1,000

### Matriz decisión Calefón

RCA>Rodwill>splendid>Nova							
Costo bajo	RCA	Rodwill	Radiance Nova	Splendid	Artesanal	$\Sigma+1$	Ponderado
RCA		1	1	1	0	4	0,267
Rodwill	0		1	1	0	3	0,200
Radiance Nova	0	0		0	0	1	0,067
Splendid	0	0	1		0	2	0,133
Artesanal	1	1	1	1		5	0,333
<b>Total</b>						15	1,000

### Rodwill=Nova>Splendid=RCA

Eficiencia	RCA	Rodwill	Radiance Nova	Splendid	Artesanal	$\Sigma+1$	Ponderado
RCA		0	0	0,5	1	2,5	0,167
Rodwill	1		0,5	1	1	4,5	0,300
Radiance Nova	1	0,5		1	1	4,5	0,300
Splendid	0,5	0	0		1	2,5	0,167
Artesanal	0	0	0	0		1	0,067
<b>Total</b>						15	1,000

### Nova>Rodwill>Splendid>RCA

Espacio menor	RCA	Rodwill	Radiance Nova	Splendid	Artesanal	$\Sigma+1$	Ponderado
RCA		0	0	0	0	1	0,067
Rodwill	1		0	1	0	3	0,200
Radiance Nova	1	1		1	0	4	0,267
Splendid	1	0	0		0	2	0,133
Artesanal	1	1	1	1		5	0,333
<b>Total</b>						15	1

### Rodwill=Nova>RCA=Splendid

Amigable con ambiente	RCA	Rodwill	Radiance Nova	Splendid	Artesanal	$\Sigma+1$	Ponderado
RCA		0	0	0,5	0	1,5	0,100
Rodwill	1		0,5	1	0,5	4	0,267
Radiance Nova	1	0,5		1	0,5	4	0,267
Splendid	0,5	0	0		0	1,5	0,100
Artesanal	1	0,5	0,5	1		4	0,267
Total						15	1

#### 8.1.4.4 Método de selección Calefón

Para ello, con ayuda de los siguientes criterios se busca el calefón que se ajuste a nuestras necesidades.

- Costo, para mantenerse dentro del límite del presupuesto.
- Mayor eficiencia, para cumplir con el objetivo general del proyecto, de ser más amigable con el medioambiente, mediante el mejor manejo del consumo de la energía.
- Amigable con el ambiente, para reducir el consumo de energía poco limpia.
- Menor espacio, para que pueda caber en el soporte realizado para el sistema general.

Se muestra los resultados obtenidos.

*Resultados de selección intercambiador de calor.*

<b>Resultados</b>						
Bajo costo > Eficiencia > Amigable con medioambiente > Menor espacio						
<b>Conclusión</b>	<b>Costo</b>	<b>Eficiencia</b>	<b>Espacio</b>	<b>Ambiente</b>	<b>Total</b>	<b>Ponderado</b>
<b>Propuesta 1</b>	0,1067	0,0500	0,0067	0,0200	1,183	0,186
<b>Propuesta 2</b>	0,0800	0,1200	0,0800	0,0533	1,333	0,210
<b>Propuesta 3</b>	0,0267	0,1200	0,1067	0,0533	1,307	0,205
<b>Propuesta 4</b>	0,0533	0,0667	0,0533	0,0200	1,193	0,188
<b>Propuesta 5</b>	0,1333	0,0267	0,1333	0,0533	1,347	0,212
<b>SUMA</b>					6,3633	1

### Matriz decisión estructura

Opciones Material				
PRECIO	Acero	Seique	$\Sigma+1$	PONDERADO
Acero		0	1	0.333
Seique	1		2	0.667
		SUMA	3	1.000
Arduino>PLC1>PLC2				
RESISTENCIA	Acero	Seique	$\Sigma+1$	PONDERADO
Acero		1	2	0.667
Seique	0		1	0.333
		SUMA	3	1.000
Arduino>PLC1>PLC2				
DURABILIDAD	Acero	Seique	$\Sigma+1$	PONDERADO
Acero		1	2	0.667
Seique	0		1	0.333
		SUMA	3	1.000
Arduino>PLC1>PLC2				
INSTALACION	Acero	Seique	$\Sigma+1$	PONDERADO
Acero		0	1	0.333
Seique	1		2	0.667
		SUMA	3	1.000

#### 8.1.4.5 Método de Selección estructura

Los resultados son los siguientes.

*Resultados de selección estructura.*

Resultado						
Precio>Resistencia>Facilidad Manufactura>Durabilidad ambiente						
Conclusión	Bajo Costo	Resistencia	Durabilidad	Instalación	$\Sigma+1$	Ponderado
<b>Propuesta 1</b>	0.133	0.200	0.067	0.067	1.467	0.489
<b>Propuesta 2</b>	0.267	0.100	0.033	0.133	1.533	0.511
				<b>SUMA</b>	3.000	1

### 8.1.2. Apéndice 2: Diseño de circuito para ducha

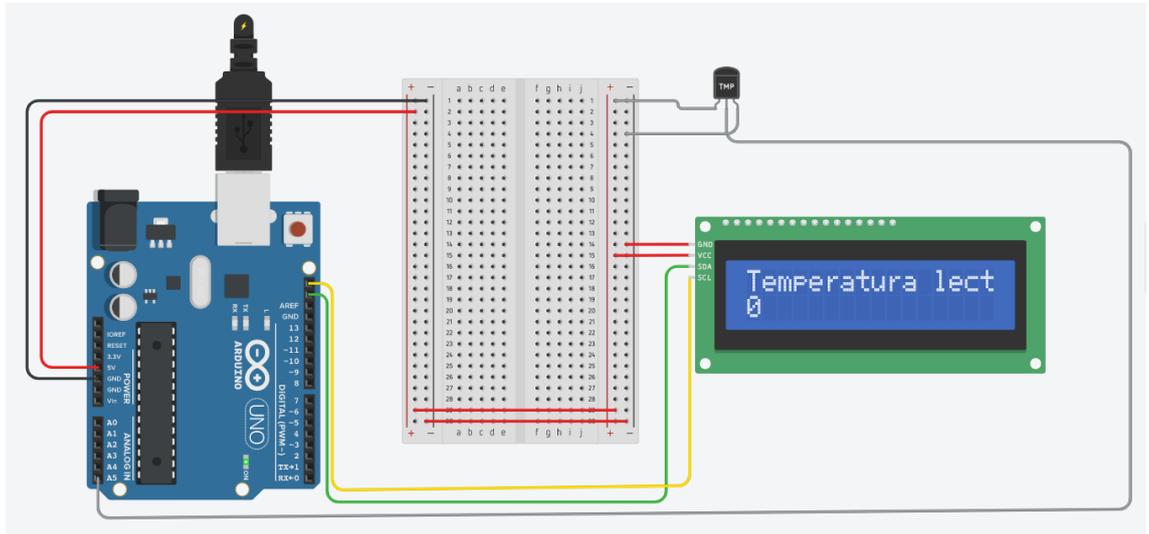
Para este circuito solo fue necesario instalar como indica el siguiente esquema de conexión. Solo que este debe funcionar cuando la temperatura sea insuficiente y no automáticamente como lo hacen las duchas normales.

Para ello se reemplaza la ducha por una resistencia en un prototipo hecho de PVC, en donde se acumule el agua para su calentamiento.



### 8.1.3. Apéndice 3: Diseño de circuito de monitoreo de temperatura

Para este sistema se debe tener en cuenta la conexión de la termocupla, que para fines el software TinkerCad no existe, sino un análogo. Se conecta de la siguiente manera.



El modelo funciona, y la siguiente fotografía es la prueba sobre la temperatura ambiente en el sitio de pruebas.



Además, se adjuntará el código en Arduino por el cual fue posible controlar el circuito y el código en Python para el escrito en el puerto serial.

#### 8.1.4. Apéndice 4: Código Arduino sistema de monitoreo

A continuación, el código del sistema de temperatura:

```
#include "max6675.h" // max6675.h file is part of the library that you should
download from Robojax.com
```

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);

int soPin = 11;// SO=Serial Out

int csPin = 12;// CS = chip select CS pin

int sckPin = 13;// SCK = Serial Clock pin

MAX6675 Module(sckPin, csPin, soPin);// create instance object of MAX6675

void setup() {

    // put your setup code here, to run once:

    Serial.begin(9600);// initialize serial monitor with 9600 baud

    Serial.println("MAX6675");

    lcd.init();          // initialize the lcd

    lcd.init();

    // Print a message to the LCD.

    lcd.backlight();

    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print("Temp Calefon");

}

void loop() {

    // put your main code here, to run repeatedly:
```

```
Serial.print("C = ");  
  
Serial.println(Module.readCelsius());  
  
delay(1000);  
  
lcd.setCursor(0,1);  
  
lcd.print("C =");  
  
lcd.setCursor(5,1);  
  
lcd.print(Module.readCelsius());  
  
}
```

```

Control_Prototipo.ino
1 #include "max6675.h" // max6675.h file is part of the library that you should download from Robojax.com
2 #include <SoftwareSerial.h> ///////////////IDK
3 #include <Wire.h> // this is for the liquid crystal support
4 #include <LiquidCrystal_I2C.h> //I2C is the accesory which conenects directly the LCD
5 //Init de objetos
6 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4); //LCD Size for wrtiting, was thw one that was working
7 //SENSORES
8 //*****Termocuplas*****
9 int soPin_calefon = 8; //11 // SO=Serial Out
10 int csPin_calefon = 9; //13 // CS = chip select CS pin
11 int sckPin_calefon = 10; //12 // SCK = Serial Clock pin
12 MAX6675 Termoc_calefon(sckPin_calefon, csPin_calefon, soPin_calefon); // create instance object of MAX6675
13 float temp_calefon;
14 int soPin = 11; //9 // SO=Serial Out
15 int csPin = 12; //10 // CS = chip select CS pin
16 int sckPin = 13; //8 // SCK = Serial Clock pin
17 MAX6675 Termoc_tank(sckPin, csPin, soPin); // create instance object of MAX6675
18 float temp_tank;
19 //*****Flujometro*****
20 //Int sensorPin = 3; // Sensor Input
21 volatile long pulse; // Measures flow sensor pulses
22 unsigned int caudal; // Calculated litres/minute
23 //*****
24 #define TIME_CICLE 1000 //1 second
25 #define RELE_VALVE 4
26 #define RELE_PUMP 6
27 #define RELE_PUMP2 7
28 #define RELE_CALEFON 5 //rele de estado solido Calefon
29 #define SENSOR_PIN 2
30 //*****

31 unsigned long currentTime;
32 unsigned long cloopTime;
33 unsigned long difference;
34 unsigned long five_Time;
35
36 void setup() {
37 // PinMode Definition
38 pinMode(RELE_VALVE, OUTPUT);
39 pinMode(RELE_PUMP, OUTPUT);
40 pinMode(RELE_PUMP2, OUTPUT);
41 pinMode(RELE_CALEFON, OUTPUT);
42 //*****
43 pinMode(SENSOR_PIN, INPUT);
44 attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SENSOR_PIN), increase, RISING); //RISING to trigger when the pin goes from low to high
45 //
46 Serial.begin(9600); // initialize serial monitor with 9600 baud
47 lcd.init(); // initialize the lcd
48 lcd.init();
49 lcd.backlight();
50 // Print a message to the LCD.
51 lcd.setCursor(0, 0);
52 lcd.print("Tcal Ttank Q");
53
54 //
55 currentTime = millis(); // first setting of time -- este seteo
56 cloopTime = currentTime;
57 }
58
59 void loop() {
60 currentTime = millis();
61 if(currentTime >= (clloopTime))

```

```

61 if(currentTime >= (cloopTime))
62 {
63   cloopTime = currentTime; // Updates cloopTime
64   // Pulse frequency (Hz) = 7.5Q, Q is flow rate in L/min.
65   caudal = (pulse/7.5);
66   pulse = 0; // Reset Counter
67 }
68 difference=currentTime-cloopTime;
69 five_Times=difference;
70
71 temp_calefon = Termoc_calefon.readCelsius();
72 temp_tank = Termoc_tank.readCelsius();
73 //Serial.println(currentTime);
74 //*****Control VOIDS*****
75 control_valvula_4_vias();
76 control_motor_Temp();
77 //, una vez prendido el motor, no se deberia apagar
78 // if (RELE_PUMP2==LOW || RELE_PUMP==LOW && condicion de tiempo){ no ejecute el void
79 control_calefon();
80 control_motor_Caudal();
81 //cloopTime = currentTime; // Updates cloopTime
82 // firsr, read then
83 delay(1000);
84 Serial.print("temp Calefon = ");
85 Serial.println(temp_calefon);
86 | Serial.print("temp Tanque = ");
87 Serial.println(temp_tank);
88 | Serial.print("Caudal = ");
89 Serial.println(caudal);
90
91 lcd.setCursor(0, 1);

92   lcd.print(temp_calefon);
93   lcd.setCursor(6, 1);
94   lcd.print(temp_tank);
95   lcd.setCursor(13, 1);
96   lcd.print(caudal);
97   // lcd.print(digitalRead(RELE_PUMP));
98   // lcd.print(digitalRead(RELE_CALEFON));
99 }
100 void control_valvula_4_vias() {
101   //TemperaturaTank<=26.00 ----- Tambien se deberia considerar que el HVAC este encendido-
102   if(currentTime-cloopTime) <= (TIME_CICLE*300)
103   if (( temp_tank <= 30.00 ) ) { //para que no se prenda y apague se hace cada 5 min.
104     digitalWrite(RELE_VALVE, LOW); //encendido
105   } else {
106     digitalWrite(RELE_VALVE, HIGH); //apagado
107   }
108 }
109 void control_calefon() {
110   //Flujo >= 1--detecte-- && Temperatura a la salida calefon <=42 && tiempo cada seg
111
112   if (( temp_calefon <= 30.00 ) && ( caudal >= 1.00 ) ) {
113     digitalWrite(RELE_CALEFON, LOW); //encendido
114   } else {
115     digitalWrite(RELE_CALEFON, HIGH); //apagado
116   }
117 }
118 void control_motor_Temp() {
119   //TemperaturaF>=1
120   if (( temp_tank <= 30.00 ) ) {
121     digitalWrite(RELE_PUMP, LOW); //encendido
122   } else {
123     digitalWrite(RELE_PUMP, HIGH); //apagado
124   }
125 }
126 void control_motor_Caudal() {
127   //TemperaturaF>=1
128   if (( caudal >= 1.00 ) ) {
129     digitalWrite(RELE_PUMP2, LOW); //encendido
130   } else {
131     digitalWrite(RELE_PUMP2, HIGH); //apagado
132   }
133 }
134 void increase() { // Interrupt function
135   pulse++;
136 }

```

A continuación, se muestra un enlace hipervínculo donde se encuentra el código:

[https://github.com/st-giordy/Control\\_proto](https://github.com/st-giordy/Control_proto)

### 8.1.5. Apéndice 5: Código Python para adquisición de datos

```

import time
import serial

```



### 8.2.2. Apéndice 7: Presupuesto prototipo inicial

Equipos	Costo unitario [€]	unidad	costo total [€]
Tanque De Agua	54,43	1	54,43
Tuberías Para El Refrigerante X Metro	2,71	10	27,10
Tuberías Agua Caliente X6 Metros	6,96	6	41,76
Aislante Térmico Agua	64,60	1	72,35
Bomba De Agua 1/2 Hp	44,00	1	44,00
Válvulas 4 Vías	18,70	1	20,94
Intercambiador De Calor	72,00	1	72,00
Bobina De Válvula	8,50	1	9,52
Refrigerante 410a 800gr	13,00	1	13,00
Plc	41,00	1	50,00
Sensor De Temperatura	4,70	2	9,40
Pegamento Aislante	19,00	1	19,00
Conexiones Eléctricas Y De Tuberías	50,00	1	50,00
<b>Subtotal</b>			<b>483,51</b>
Colchon 10%	48,35	1	48,35
<b>Total</b>			<b>531,86</b>

### 8.2.3. Apéndice 8: Gastos

Listado de compras efectuadas durante el Proyecto de Capstone 202210					
N°	FECHA DEL DOCUMENTO (FACTURA)	NOMBRE DEL PROVEEDOR	No.FACTURA	VALOR DE LA FACTURA (USD)	OBSERVACIONES
1	13/10/2022	Arevalo repuestos y suministros de linea blanca	001-005-000013718	41	Refrigerante R22 11 dolares + Juego de manometro PEN 30 dolares
2	17/10/2022	Comercial KYWI S.A.	015-913-000357224	35,02	Resistencias duchas electricas x2, cabeza de ducha, T roscable, Valvulas esfera x2, enchufe 220v
3	17/10/2022	MEGATRONICA ROBOTICA Y ELECTRONICA	004-001-000004393	25,7	termocuplas tipo k x2, Lcd
4	19/10/2022	Comercial KYWI S.A.	015-904-000490753	75,1	Tanque 250L, tuberia para agua caliente 1/2
5	19/10/2022	Ferreteria "GC"	001-001-000005255	11,35	Metro de tubo 2", tapones hembra 2", 4 metros cable #10, silicona roja termo resistente
6	11/7/2022	Arevalo repuestos y suministros de linea blanca	001-005-000015298	10	Refrigerante R410a
7	11/9/2022	Comercial KYWI S.A.	007-902-000527099	32,37	Elementos calefon y extension 220v
8	21/11/2022	Servimadera Herrajes	001-002-000004168	8,05	Componentes y elementos de union estructura de madera
9	23/11/2022	Megafrio	001-001-000271396	76,76	valvula 4 vias. bobina, valvulas check
10	23/11/2022	Clima power	001-002-000015902	26,42	tuberia 1/4, uniones de cobre
11	7/11/2022	Distribuidora Chilly	001-001-00-0005804	285	
12	28/11/2022	Comercial KYWI S.A.	015-904-000497410	63,21	valvulas check, Abrazadera metalica, componentes de tuberias
13	1/12/2022	Megafrio	001-001-00-000271664	15,42	Refrigerante
14	1/12/2022	Megatronica ROBOTICA Y ELECTRONICA	004-001-000004291	12	Cables, protoboard
15	1/12/2022	Megatronica ROBOTICA Y ELECTRONICA	004-001-000004279	16	Modulo 4 canales, flujometro
16	1/12/2022	VHMG	001-010-000001413	29	Reles de estado soldo
17	1/12/2022	Ferreteria "GC"	001-001-000006331	51,15	Herramientas y componentes multiples
18	16/12/2022	Toyosam	002-010-000000402	112	Soldadura tuberia de cobre, refrigerante adicional para pruebas
Total [USD]				925,55	

## Apéndice 9: Manejo de Riesgo

Cualitativa				
Impacto	Severo	R9	R1, R4, R2, R8, R11	R7
	Mediano	R6, R10		R5
	Bajo		R3, R12	
	Nulo			
		Bajo	Media	Alta
Probabilidad				

Cuantitativa						
Impacto	5		R9	R1, R4, R11	R7	
	4	R6	R10	R2	R8	R5
	3		R3			
	2		R12			
	1					
	1	2	3	4	5	
Probabilidad						

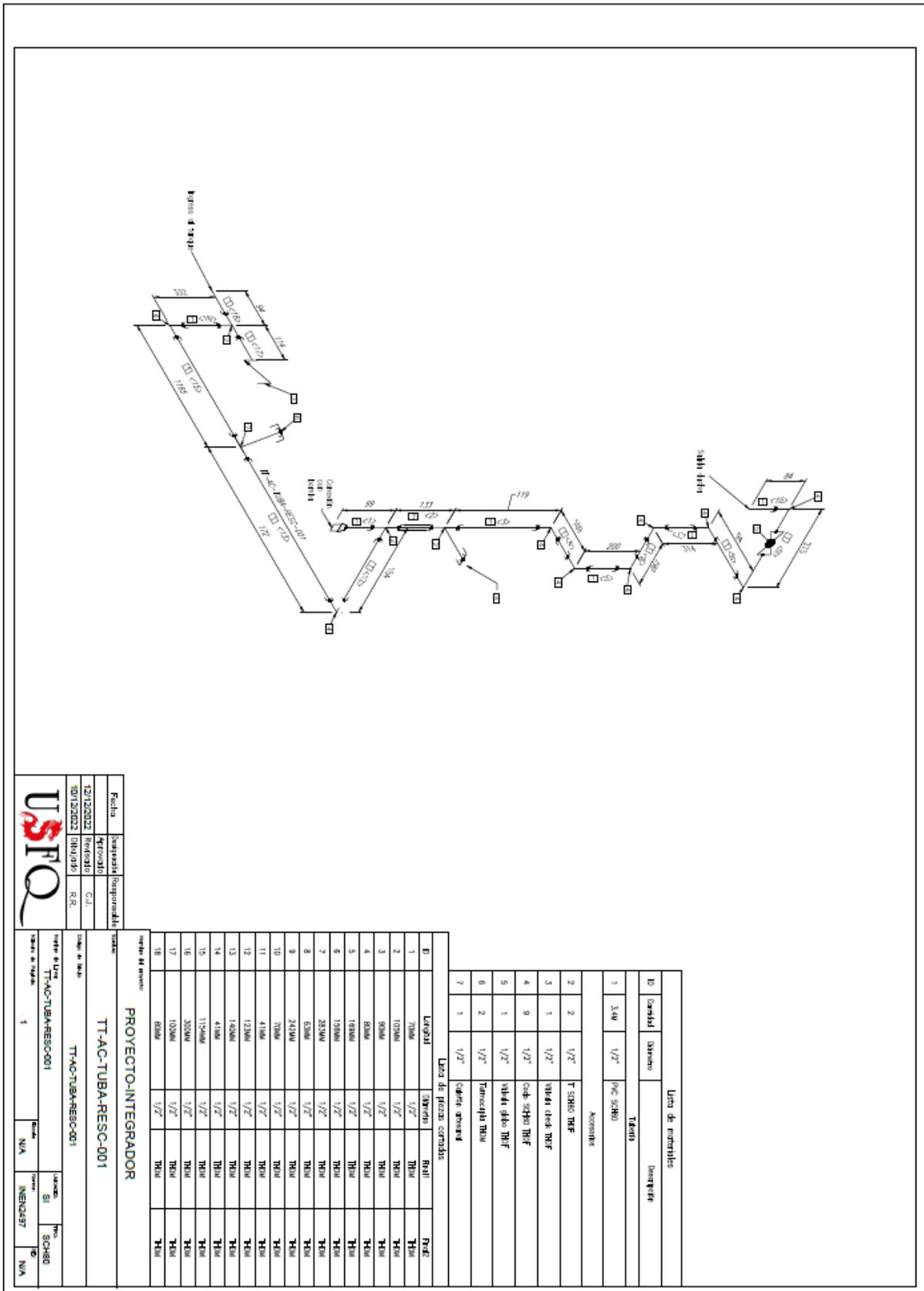
Riesgo	Impacto	Probabilidad	Calificación	Prioridad
R1	5	3	15	3
R2	4	3	12	4
R3	3	2	6	7
R4	5	3	15	3
R5	4	5	20	1
R6	4	1	4	8
R7	5	4	20	1
R8	4	4	16	2
R9	5	2	10	5
R10	4	2	8	6
R11	5	3	15	3
R12	2	2	4	9

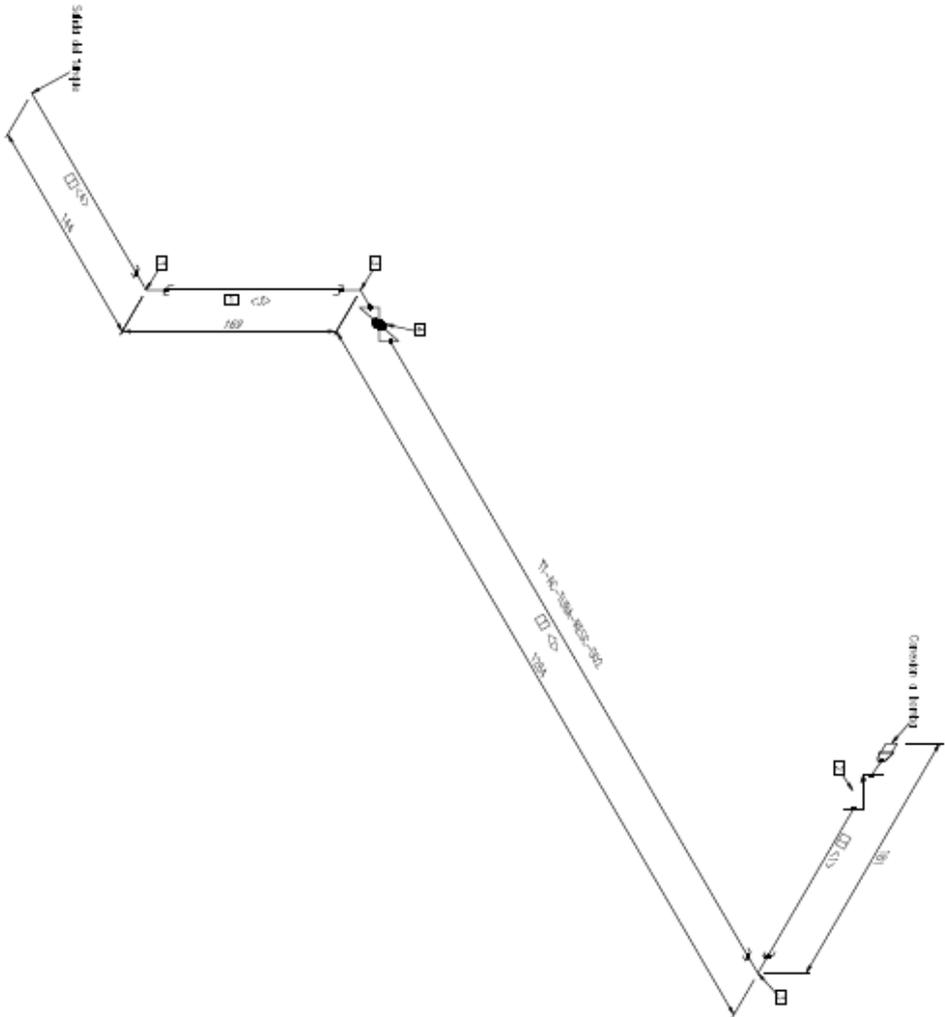
Riesgo	Descripción detallada	Prioridad
R5	Retraso en envíos de equipos y materia prima	1
R7	Peligro de electrocución, cortocircuito y explosiones	1
R8	Accidentes por falta de implementos de protección personal	2
R1	Paros nacionales, que provocan desabastecimiento de materiales	3
R4	Acceso a recursos económicos limitados y con retraso	3
R11	Colapso estructural por peso del tanque y demás adecuaciones	3
R2	Escape refrigerante R22 (perjudicial para la capa de ozono y efecto invernadero)	4
R9	Clima variable, No utilización del sistema de AC	5

Riesgo	Descripción breve	Prioridad	Responsable	Acción tomada	Estatus	Observaciones
R5	Retraso en envíos de equipos y materia prima	1	Roque	Postergar: Mover la fecha en la que utilizaremos el equipo solicitado	Vigente	Ajustar el calendario en caso de posibles retrasos
R7	Peligro de electrocución, cortocircuito y explosiones	1	Kevin Saúl Gutiérrez	Evitar: anular la probabilidad de ocurrencia de los casos mediante la verificación de cumplimiento de las conexiones eléctricas y GLP según correspondan.	Vigente	Mantener alejados lo más posible ambas partes dentro del esquema del sistema. (NORMADO)
R8	Accidentes por falta de implementos de protección personal	2	Luis	Prepararse: Capacitar en el uso correcto de equipo de seguridad personal. Evitar: Exigir el uso de todos los equipos de seguridad	Vigente	Exigir el uso principalmente de guantes, zapatos de seguridad.
R1	Paros nacionales, que provocan desabastecimiento de materiales	3	Carlos Jarrin	Prepararse: Obtener los materiales con antelación con proveedores que ofrezcan confiabilidad y veracidad.	Vigente	Hablar con proveedores nacionales que se encuentren en la ciudad y lo mas proximos para poder acceder a productos. Y preveer los diseños del producto.
R4	Acceso a recursos económicos limitados y con retraso	3	Kevin Saúl Gutiérrez	Prepararse: adelantar la adquisición de los bienes necesarios para el proyecto, mediante la agilización de presupuestos con base a los cálculos estimados para el armado del prototipo.	Vigente	Agilizar la entrega del presupuesto final de prototipo a Juan Sebastián Proaño.
R11	Colapso estructural por peso del tanque y demás adecuaciones	3	Luis	Evitar: Considerar un factor de seguridad elevado con el fin de evitar colapso estructural	Vigente	Corroborar el peso máximo permitido en el techo, esto pertenece a los cálculos realizados durante la adecuación.
R2	Escape refrigerante R22 (perjudicial para la capa de ozono y efecto invernadero)	4	Carlos Jarrin	Prepararse: Capacitarse en el mantenimiento de aire acondicionado para evitar fugas del refrigerante	Vigente	Visualizar videos de profesionales instalando los profesionales, pedir ayuda a personas para capacitaciones. Tomar las medidas de seguridad.
R9	Clima variable. No utilización del sistema de AC	5	Kevin Saúl Gutiérrez	Prepararse: evaluar los posibles escenarios de consumo de aire acondicionado y preparar el sistema con las características necesarias. Hacer uso del calentador de agua a gas cuando no se utilice el sistema de aire acondicionado o el calor sea insuficiente para cubrir la demanda.	Vigente	Obtener datos del sistema de monitoreo de consumo y temperatura en el cuarto acondicionado
R10	Inadecuada conexión de tuberías de agua, fugas y roturas del sistema actual	6	Carlos Jarrin	Evitar: verificar cada conexión y uniones que se utilizaran al momento de su instalación	Vigente	Delegar a una persona que verifique minuciosamente las uniones o juntas en la tubería y verifique fugas de un examen visual y auditivo
R3	Protección precaria del sistema contra agentes ambientales	7	Kevin Saúl Gutiérrez	Reducir: el impacto de las condiciones climáticas en la utilización del prototipo, construyendo en base a sitios donde la exposición al sol, viento y lluvia sea de baja a nula intensidad (exteriores con cubierta).	Vigente	Considerar la construcción dentro de una carpa para la presentación final. Tomar en cuenta que el calefón corre peligro de apagar su llama con vientos fuertes.
R6	Accidentes por falta de conocimientos de mantenimiento de Aire Acondicionado (AC)	8	Luis	Prepararse: Capacitarse en el mantenimiento de aire acondicionado para evitar accidentes	Vigente	Capacitarnos en materia de refrigeración con ayuda de JuanSe Proaño. Para sacar correctamente el refrigerante del aire acondicionado
R12	Incumplimiento de regulaciones de suministro de agua caliente para gimnasios	9	Roque	Prepararse: Investigar todas las normas y regulaciones utilizadas en el país para el suministro de agua caliente en Ecuador	Vigente	Utilizar las normas Ecuatorianas relacionadas con el calentamiento de agua, calefones, calderas, etc. Al igual que normas utilizadas en otros países con el fin de no tener ningún problema por incumplimiento de regulaciones

## 8.2.4. Apéndice 10: Planos

### 8.2.4.1 Tuberías de agua





Lista de materiales	
ID	Descripción
1	TUBA
2	VALVULA CHECK TRIF
3	VALVULA GLOBO TRIF
4	VALVULA GLOBO TRIF

Lista de piezas cortadas				
ID	Longitud	Diámetro	Material	Presión
1	1490MM	1/2"	TRIPOL	TRIPOL
2	1235MM	1/2"	TRIPOL	TRIPOL
3	1420MM	1/2"	TRIPOL	TRIPOL
4	1300MM	1/2"	TRIPOL	TRIPOL

**PROYECTO-INTEGRADOR**

TT-AC-TUBA-RESC-002

Fecha	Desarrollado	Responsable
12/12/2022	Aprobado	C.L.
10/12/2022	Revisado	S.A.



Código de obra		TT-AC-TUBA-RESC-002	
Nombre de obra		TT-AC-TUBA-RESC-002	
Estado de obra		N/A	N/A
Número de obra		1	1
Tipo de obra		SI	SI
Código de obra		INENCSA7	INENCSA7
Tipo de obra		N/A	N/A

8.2.4.2 Tuberías de cobre

1. Toda la unidad se instalará en frío. A excepción de lo señalado en los componentes.

2. Todas las conexiones se realizarán con un soldador certificado en soldadura de cobre de con 5S de plomo.

**NOTAS**

**PROYECTO-INTEGRADOR**

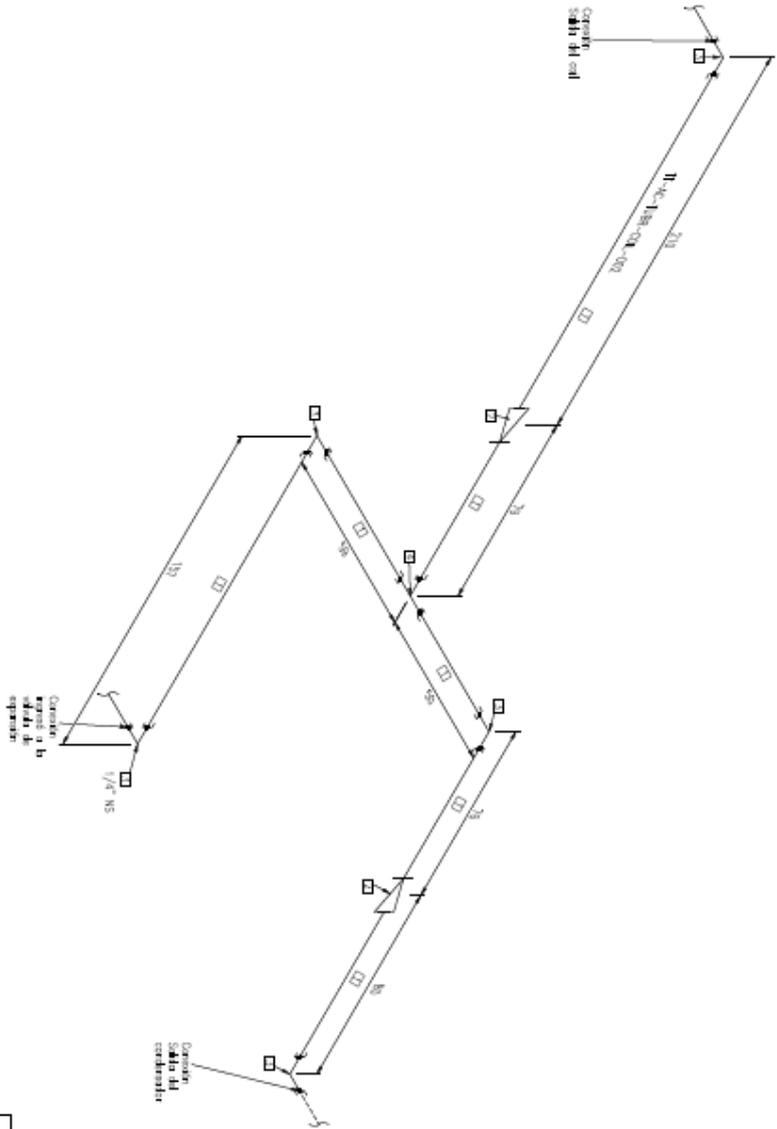
TT-AC-TUBR-COIL-001

Fecha	Impartido/Responsable
12/12/2022	Revisado
10/12/2022	Dibujado
	R.R.

Lista de materiales			
ID	Cantidad	Dimensión	Descripción
1	0200	1/2"	Tubaria 1/2" PZ 1450L ANU 0200
2	1	N/A	Waste 3 mm
3	3	1/2"	Cock ANU 0200

**USFO**

Tratamiento de Líquido	TT-AC-TUBR-COIL-001	Estado	N/A
Tratamiento de Resque	1	Estado	N/A



Lista de materiales		
Id	Cantidad	Dimension
1	6.000	Tubos 1/4" BO 1420L ASTM B280
2	1	VM40 disk
3	5	1/4" Coils ASTM B280
4	1	1/4" T ASTM B280

**PROYECTO INTEGRADOR**

TT-AAC-TUBR-COIL-002

Fecha	Impresión	Responsable
12/12/2022	Revisada	C.U.
10/12/2022	Dibujada	R.R.

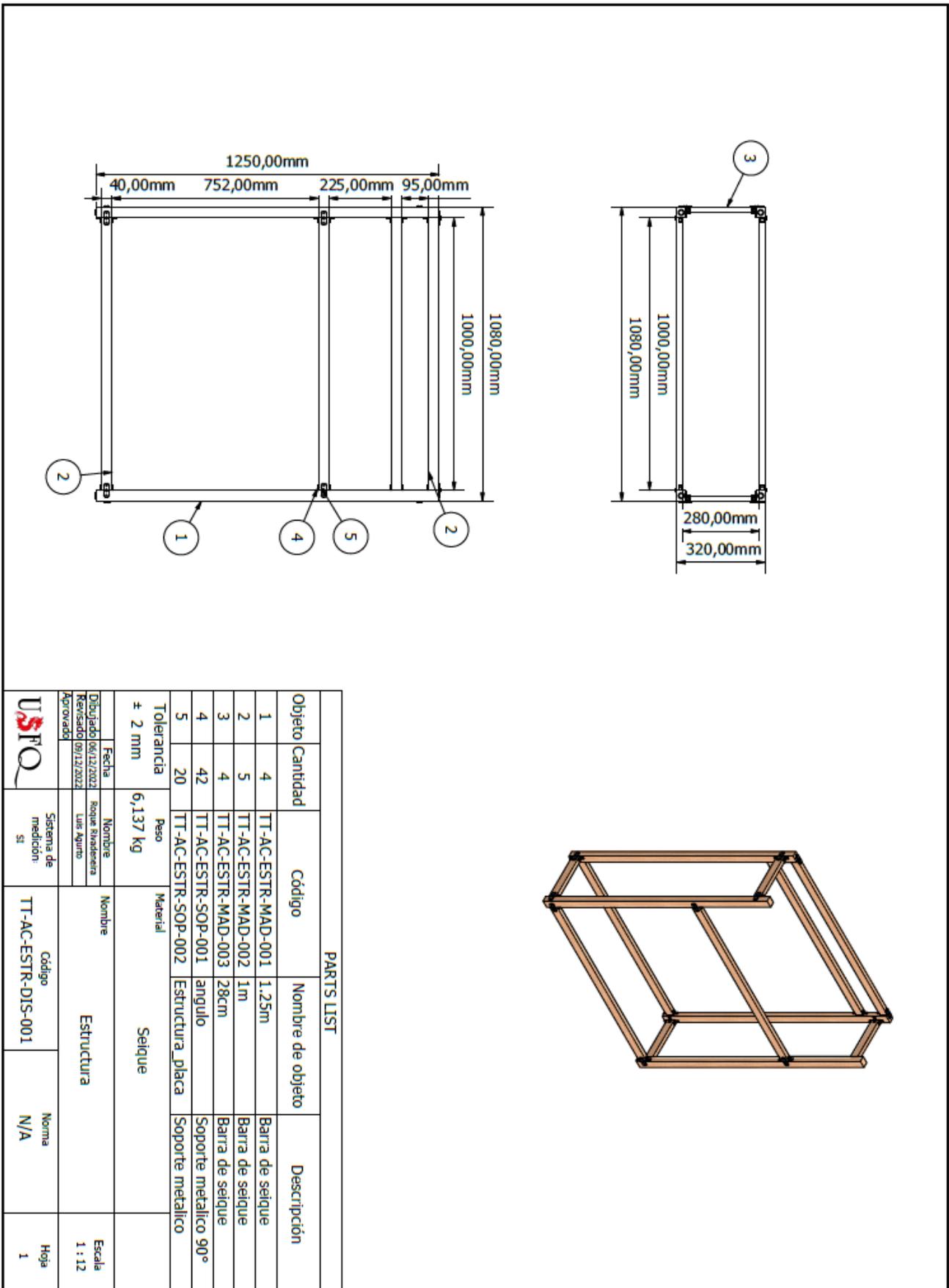


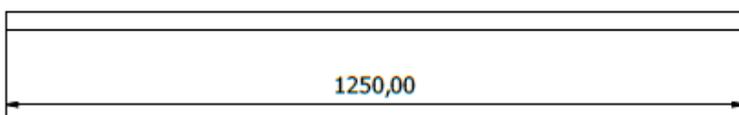
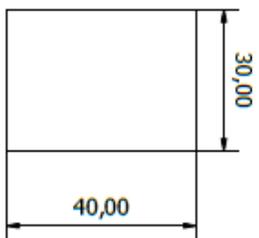
Número de Orden		TT-AAC-TUBR-COIL-002	
Número de Proyecto		1	
Estado	Fecha	Estado	Fecha
SI	N/A	ASTM-B280	N/A

**NOTAS**

1. Todos los estándares se encuentran en mm. A excepción de lo señalado en los componentes.
2. Todos los estándares se midieron con un calibre calibrado durante febrero de con 58 de pira

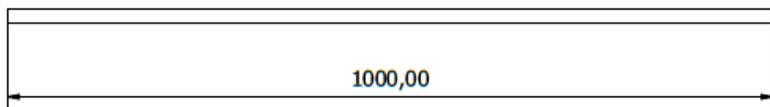
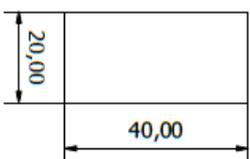
## 8.2.4.3 Estructura madera



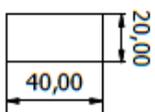
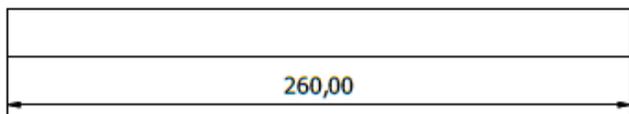


Tolerancia		Peso	Material	Seique	
± 2 mm		0,750 kg			
Fecha	Nombre	Nombre			Escala
06/12/2022	Roque Rivadeneira	Estructura madera 1.25 m			1 : 8
Revisado	Luis Aguino	Código	Norma		
09/12/2022		TT-AC-ESTR-MAD-001	N/A		
Aprobado		Sistema de medición			Hoja
		SI			1



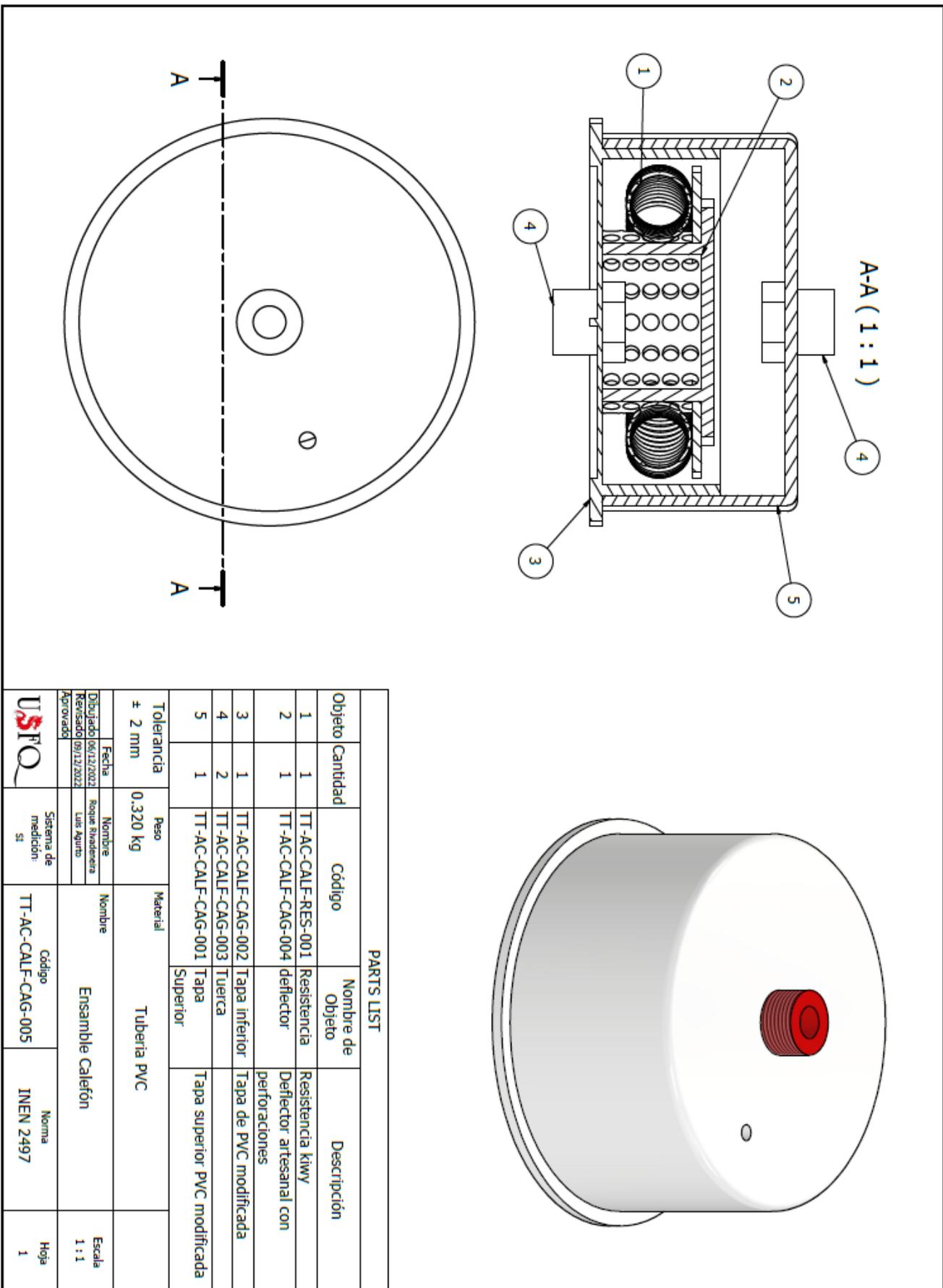


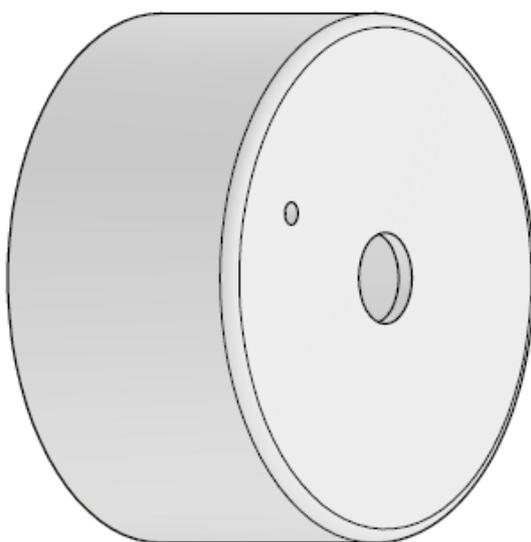
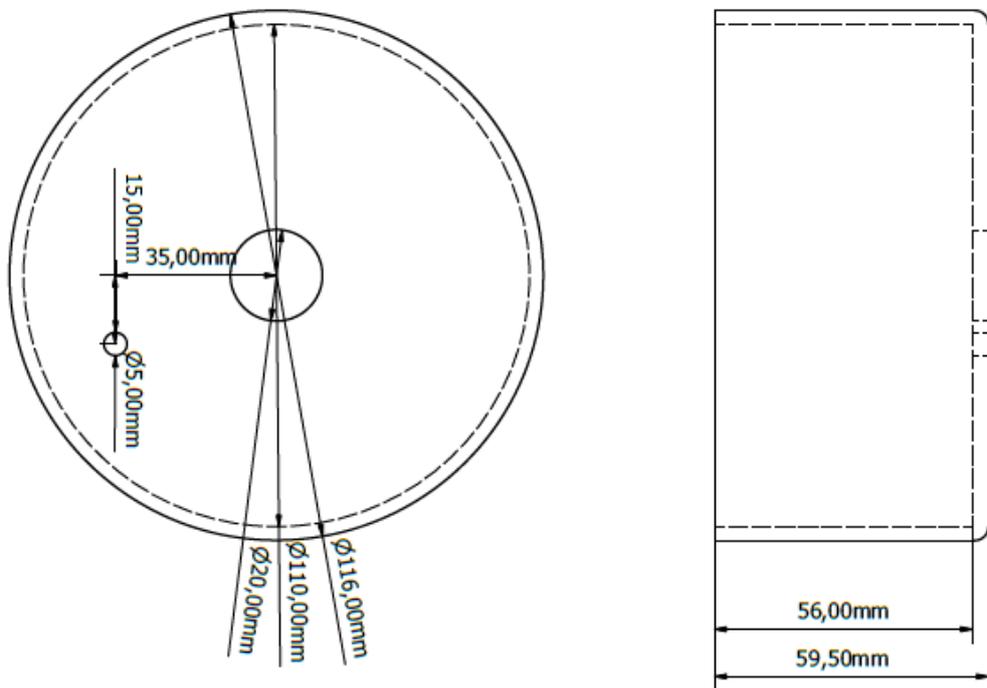
Tolerancia	± 2 mm	Peso	0,400 kg	Material	Seique	
Fecha	08/12/2022	Nombre	Roque Rivadeneira	Nombre	Estructura madera 1 m	Escala
Dibujado	08/12/2022		Luis Aguino			1 : 6
Revisado	09/12/2022					
Aprobado						
USFO		Sistema de medición	SI	Código	TT-AC-ESTR-MAD-002	Norma
						N/A
						Hoja
						1



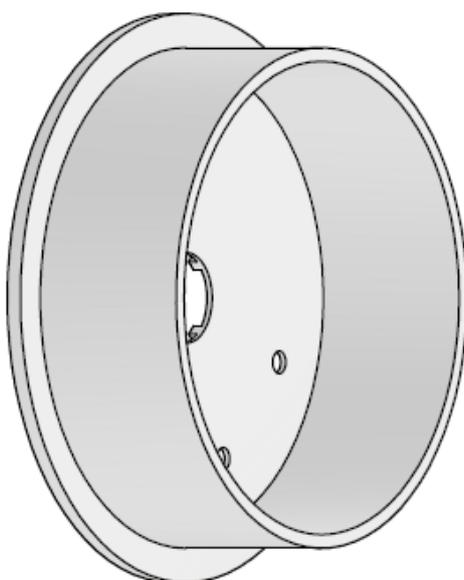
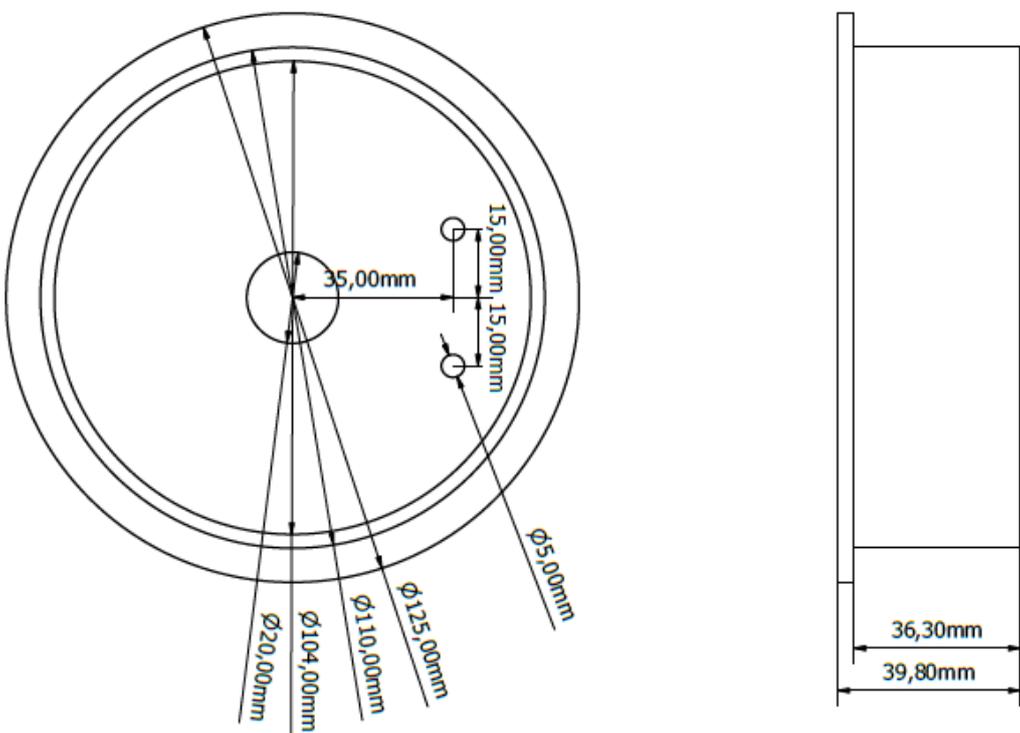
Tolerancia ± 2 mm		Peso 0,104 kg		Material Seique		
Dibujado 06/12/2022		Nombre Roque Rivasena		Nombre Estructura madera 28 cm		Escala 1 : 2
Revisado 09/12/2022		Luis Aguirre		Código TT-AC-ESTR-MAD-003		Hoja 1
Aprobado		Sistema de medición SI		Norma N/A		

8.2.4.4 Calefón

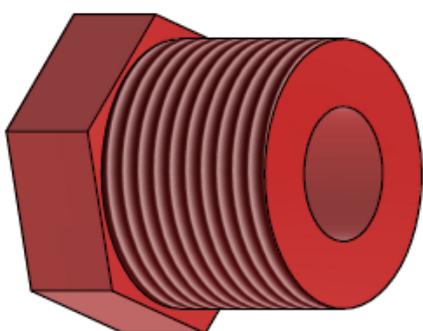
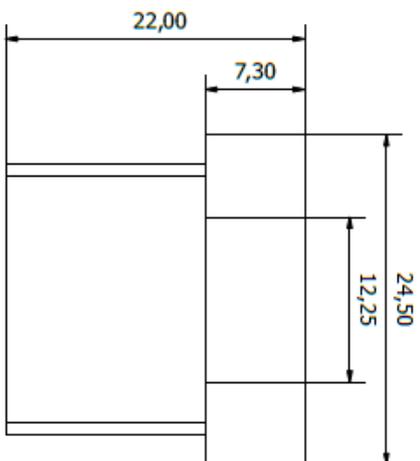
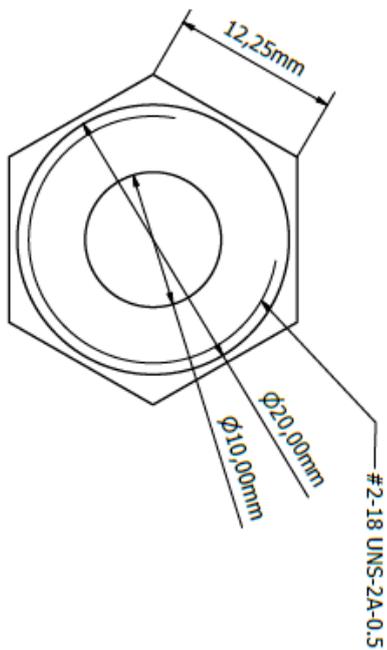




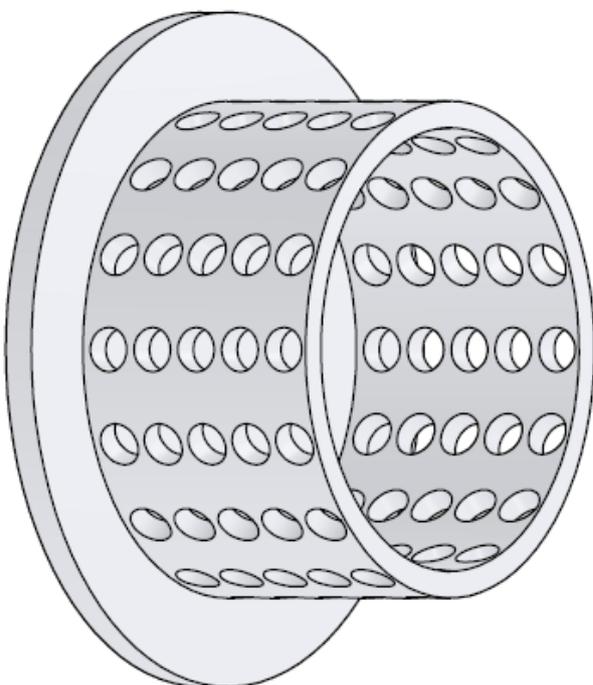
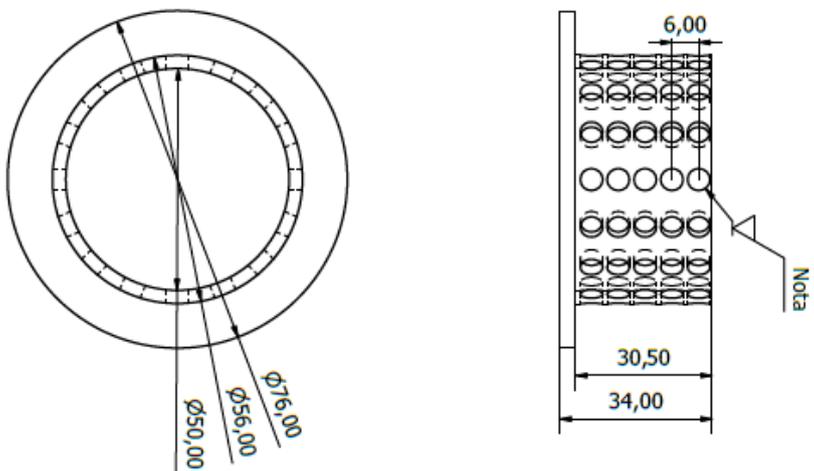
Tolerancia ± 2 mm		Peso 0,125 kg	Material Tubería PVC		Escala 1 : 1
Fecha 06/12/2022	Nombre Roque Rivadeneira	Nombre Tapa superior Calefón			
Revisado 09/12/2022	Luis Aquino	Código TT-AC-CALF-CAG-001	Norma INEN 2497		Hoja 1
Aprobado		Sistema de medición SI			
					



Tolerancia ± 2 mm		Peso 0,083 kg	Material Tubería PVC			
Fecha 06/12/2022	Nombre Roque Rivadeneira	Nombre Tapa inferior Calefón		Código TT-AC-CALF-CAG-002	Norma INEN 2497	
Revisado 09/12/2022	Nombre Luis Ayudo					Escaleta 1 : 1
Aprobado						Hoja 1
		Sistema de medición SI				



Tolerancia ± 2 mm	Peso 0,008 kg	Material Tubería PVC	
Dibujado 06/12/2021 Revisado 09/12/2021 Aprobado	Nombre Roque Rivariera Luis Aquino	Nombre Tuerca Calefón	Escala 3 : 1
Sistema de medición: SI		Código TT-AC-CALF-CAG-003	Norma INEN 2497
			Hoja 1



Nota. 16 perforaciones de 5 [cm] de diametro con columnas igualmente separadas

Tolerancia ± 2 mm	Peso 0,035 kg	Material Tuberia PVC	
Fecha	Nombre Roque Rinazereira Luis Ayudo	Nombre Deflector	Escala 1 : 1
Dibujado 06/12/2022 Revisado 09/12/2022 Aprobado		Código TT-AC-CALF-CAG-004	Norma INEN 2497
		Sistema de medición SI	Hoja 1

### 8.3. Apéndice 11: Códigos consumo energético, económicos y emisiones CO2

Qdot\_h=22,9 [kW]  
Wdot\_in=5,94[kW]

"Economico"

Num\_AC=1 "uso 3 aires acondicionados"

Costo\_elec=0,092[\$/kWh]

Funcionamiento\_año\_AC=Costo\_elec\*(Wdot\_in+0,37[kW])\*160\*12[h] "Uso compresor y 0.37kW de la bomba de agua"

"Calefon"

Num\_calefones=1 "Uso 3 calefones"

Q\_calefon=23,18\*Num\_calefones\*0,88[kW]

Caudal\_calefon=Num\_calefones\*26,3[l/min]

Num\_duchas=Caudal\_calefon/15[l/min] "Asumo 15 L/min"

Q\_reemplazable=Qdot\_h\*Num\_AC/Q\_calefon

Poder\_GLP=10983\*convert(kcal/kg;kJ/kg) "poder calorífico inferior"

"Duchas"

"Duracion 5min"

t=1000\*56[min] "tiempo al año"

E\_GLP=Q\_calefon\*(t\*convert(min;s))

Peso\_GLP=E\_GLP/Poder\_GLP

Num\_bombonas=Peso\_GLP/11[kg]

Costo\_gas=Num\_bombonas\*5[\$]

Costo\_gas\_sin\_subsidio=Num\_bombonas\*15,1[\$]

Ahorro=Q\_reemplazable\*Costo\_gas

Ahorro\_ss=Q\_reemplazable\*Costo\_gas\_sin\_subsidio

"Emisiones"

CO2\_KG=0,22\*(E\_GLP/3600)

"NPV"

i=0,1 "Tasa interés conservador anual"

i\_2=0,2 "Tasa interés mantenimiento cada 2 años"

n=3"años"

n\_i=1 "# Mantenimientos"

Mant= -Costo\_i\*0,2[\$] "Costo por mantenimiento"

P\_ahorro=Ahorro\*((1+i)^n-1)/(i\*(1+i)^n)

P\_ahorro\_ss=Ahorro\_ss\*((1+i)^n-1)/(i\*(1+i)^n)

P\_mant=-Mant\*((1+i\_2)^n-1)/(i\_2\*(1+i\_2)^n) "Mantenimiento"

P\_f=Costo\_elec\*((1 [hp])\*convert(hp;kW))\*8\*4\*4\*12[h]+

(13\*60\*100\*56+(22/1000)\*3600\*24\*4\*56)/3600) "fijos anuales con 8 horas al día bomba de agua"

P\_fijos=-P\_f\*((1+i)^n-1)/(i\*(1+i)^n)

C=1 [hp]\*convert(hp;kW)

C2=13\*60\*100\*56

c3=(22/1000)\*3600\*24\*4\*56

costo=Costo\_i+P\_mant+P\_fijos

NPV=Costo\_i+P\_ahorro+P\_mant+P\_fijos

NPV\_ss=Costo\_i+P\_ahorro\_ss+P\_mant+P\_fijos

Costo\_i=-1025,25[\$]

TR=(-NPV)/Costo\_i

TR\_ss=(-NPV\_ss)/Costo\_i

$$E\_GLPS = E\_GLP / (3600)$$

$$E\_ducha = (7,7 * 60 * 1000 * 56) / 3600$$

$$E\_proyecto = (1 \text{ [hp]} * \text{convert}(\text{hp}; \text{kW})) * 8 * 4 * 4 * 12 \text{ [h]} + ((13 * 60 * 100 * 56 + (22 / 1000) * 3600 * 24 * 4 * 56) / 3600)$$

Ex Solution

Main

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

Ahorro = 760,6 [\$]	Ahorro <sub>ss</sub> = 2297 [\$]	C = 0,7457 [kW]
C2 = 4,368E+06	c3 = 425779	Caudal <sub>calefon</sub> = 26,3 [L/min]
CO2 <sub>KG</sub> = 4188 [kg] {4,617 [ton]}	costo = -1763 [\$]	Costo <sub>elec</sub> = 0,092 [\$/kWh]
Costo <sub>gas</sub> = 677,5 [\$]	Costo <sub>gas,sin,subsidio</sub> = 2046 [\$]	Costo <sub>1</sub> = -1025 [\$]
E <sub>ducha</sub> = 7187 [kWh]	E <sub>GLP</sub> = 6,854E+07 [kJ] {19039 [kWh]}	E <sub>GLPS</sub> = 19039 [kWh] {68,54 [GJ]}
E <sub>proyecto</sub> = 2477 [kWh] {8,917 [GJ]}	Funcionamiento <sub>año,AC</sub> = 1115 [\$]	i = 0,1
i <sub>2</sub> = 0,2	Mant = 205,1 [\$]	n = 3
NPV = 128,6 [\$]	NPV <sub>ss</sub> = 3949 [\$]	Num <sub>AC</sub> = 1
Num <sub>bombonas</sub> = 135,5	Num <sub>calefones</sub> = 1	Num <sub>duchas</sub> = 1,753
n <sub>i</sub> = 1	Peso <sub>GLP</sub> = 1491 [kg]	Poder <sub>GLP</sub> = 45984 [kJ/kg]
P <sub>ahorro</sub> = 1891 [\$]	P <sub>ahorro,ss</sub> = 5712 [\$]	P <sub>f</sub> = 227,9 [\$]
P <sub>fijos</sub> = -566,7 [\$]	P <sub>mant</sub> = -170,9 [\$]	Q <sub>dot<sub>n</sub></sub> = 22,9 [kW]
Q <sub>calefon</sub> = 20,4 [kW]	Q <sub>reemplazable</sub> = 1,123	t = 56000 [min]
TR = 0,1255	TR <sub>ss</sub> = 3,852	W <sub>dot<sub>in</sub></sub> = 5,94 [kW]

5 potential unit problems were detected.

EES suggested units (shown in purple) for Ahorro<sub>ss</sub> costo Costo<sub>gas,sin,subsidio</sub> NPV<sub>ss</sub> P<sub>ahorro,ss</sub> .

Calculation time = .0 sec.

## 8.4. Apéndice 12: Encuesta y confiabilidad de datos.

10/8/2022 12:44:34	Administrativo	Selecciona el deporte que practicas o el curso en el que estás inscrito	Femenino	Selecciona los días de práctica	13:00 - 14:20	¿Haces uso o usas las duchas ubicadas en el Coliseo?	5 a 10 minutos	Escoge la frecuencia de uso en la semana [1 vez]	Escoge la frecuencia de uso en la semana [2 veces]	Escoge la frecuencia de uso en la semana [3 veces o más]
10/8/2022 12:48:36	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Lunes, Martes, Miércoles, Jueves, Viernes	13:00 - 14:20	SI	5 a 10 minutos			Lunes, Martes, Miércoles, Jueves
10/10/2022 11:56:48	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Lunes, Miércoles	10:00 - 11:20	SI	5 a 10 minutos	Lunes, Miércoles		
10/10/2022 11:56:52	Atletismo	Atletismo	Masculino	Martes, Jueves	8:30 - 9:50	SI	3 a 5 minutos	Martes, Jueves		
10/10/2022 13:02:46	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Martes, Jueves	10:00 - 11:20	SI	3 a 5 minutos	Martes, Jueves		
10/10/2022 13:04:38	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Lunes, Miércoles	13:00 - 14:20	SI	5 a 10 minutos	Lunes		
10/10/2022 12:09:46	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Martes, Jueves	8:30 - 9:50	SI	10 o más	Martes, Jueves		
10/10/2022 12:12:46	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Martes, Jueves	11:30 - 12:50	SI	5 a 10 minutos	Martes, Jueves		
10/10/2022 12:43:43	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Martes, Jueves	10:00 - 11:20	NO				
10/10/2022 13:36:46	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Lunes, Miércoles	13:00 - 14:20	NO				
10/10/2022 14:00:59	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Masculino	Martes, Jueves	7:00 - 8:20	NO				
10/10/2022 14:02:08	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Lunes, Miércoles	10:00 - 11:20	SI	5 a 10 minutos	Lunes, Miércoles		
10/10/2022 15:30:05	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Masculino	Martes, Jueves	7:00 - 8:20	NO				
10/10/2022 15:38:55	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Masculino	Martes, Jueves	8:30 - 9:50	NO				
10/10/2022 17:41:25	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Martes, Jueves	8:30 - 9:50	NO				
10/10/2022 17:52:34	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Masculino	Martes, Jueves	8:30 - 9:50	NO				
10/10/2022 18:01:19	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Masculino	Lunes, Miércoles	10:00 - 11:20	NO				
10/10/2022 18:22:54	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Martes, Jueves	8:30 - 9:50	NO	5 a 10 minutos	Martes		
10/10/2022 18:56:10	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Martes, Jueves	11:30 - 12:50	SI	3 a 5 minutos	Lunes, Miércoles		
10/10/2022 19:20:33	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Lunes, Miércoles	10:00 - 11:20	SI	5 a 10 minutos	Miércoles		
10/10/2022 20:13:13	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Masculino	Lunes, Miércoles	13:00 - 14:20	SI	5 a 10 minutos	Lunes, Miércoles		
10/10/2022 20:27:48	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Masculino	Lunes, Miércoles	7:00 - 8:20	SI	3 a 5 minutos	Lunes, Miércoles		
10/11/2022 8:18:24	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Martes, Jueves	10:00 - 11:20	NO				
10/11/2022 9:58:30	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Martes, Jueves	11:30 - 12:50	SI	5 a 10 minutos	Lunes, Miércoles		
10/11/2022 12:23:22	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Martes, Jueves	11:30 - 12:50	NO				
10/11/2022 13:58:59	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Martes, Jueves	11:30 - 12:50	NO				
10/11/2022 15:08:44	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Masculino	Martes, Jueves	11:30 - 12:50	NO				
10/11/2022 16:36:27	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Martes, Jueves	11:30 - 12:50	SI	5 a 10 minutos	Martes		
10/11/2022 18:28:27	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Lunes, Miércoles	10:00 - 11:20	SI	10 o más	Lunes, Miércoles		
10/11/2022 19:55:11	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Lunes, Miércoles	11:30 - 12:50	SI	3 a 5 minutos	Lunes, Miércoles		
10/11/2022 21:59:03	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Lunes, Miércoles	11:30 - 12:50	SI	3 a 5 minutos	Miércoles		
10/13/2022 13:50:41	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Masculino	Lunes, Miércoles	11:30 - 12:50	NO				
10/17/2022 10:42:13	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Femenino	Martes, Jueves	10:00 - 11:20	SI	5 a 10 minutos	Martes, Jueves		
10/20/2022 11:05:26	Gimnasia y Trampolín	Gimnasia y Trampolín	Masculino	Lunes, Miércoles	13:00 - 14:20	SI	5 a 10 minutos	Lunes, Miércoles		
10/20/2022 22:12:48	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Femenino	Lunes, Miércoles	11:30 - 12:50	NO				
10/20/2022 22:15:21	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Masculino	Lunes, Martes, Miércoles	10:00 - 11:20	SI	3 a 5 minutos		Martes, Jueves	
10/20/2022 22:18:47	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Masculino	Lunes, Miércoles	11:30 - 12:50	SI	3 a 5 minutos	Lunes, Miércoles		
10/20/2022 22:19:35	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Masculino	Lunes, Miércoles	11:30 - 12:50	NO				
10/20/2022 22:39:23	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Masculino	Martes, Jueves	10:00 - 11:20	NO				
10/21/2022 03:45	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Masculino	Martes, Jueves	10:00 - 11:20	SI	3 a 5 minutos	Martes, Jueves		
10/21/2022 1:41:31	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Femenino	Lunes, Miércoles	10:00 - 11:20	SI	10 o más	Lunes, Miércoles		
10/21/2022 9:07:06	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Masculino	Martes, Jueves	11:30 - 12:50	SI	5 a 10 minutos	Martes, Jueves		
10/21/2022 12:04:24	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Femenino	Lunes, Miércoles	8:30 - 9:50	NO				
10/21/2022 13:34:55	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Masculino	Lunes, Miércoles	11:30 - 12:50	NO				
10/21/2022 17:04:19	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Masculino	Lunes, Miércoles	8:30 - 9:50	NO				
10/23/2022 7:39:14	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Femenino	Martes, Jueves	11:30 - 12:50	NO				
10/23/2022 9:34:50	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Femenino	Lunes, Miércoles	10:00 - 11:20	SI	1 a 5 minutos	Lunes, Miércoles		
10/23/2022 13:30:27	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Masculino	Lunes, Miércoles	11:30 - 12:50	SI	3 a 5 minutos	Lunes, Miércoles		
10/24/2022 0:11:03	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Masculino	Martes, Jueves	11:30 - 12:50	SI	5 a 10 minutos	Martes, Jueves		
10/24/2022 7:58:36	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Masculino	Lunes, Miércoles	10:00 - 11:20	NO				
11/21/2022 10:38:51	Levantamiento de pesas	Levantamiento de pesas	Masculino	Lunes, Miércoles	11:30 - 12:50	NO				

## Cálculo de la muestra para el coliseo

$$z = 1.96$$

$$p = 0.5$$

$$e = 0.05$$

$$N = 300$$

$$M = \frac{\frac{z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{e^2}}{1 + \frac{z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{e^2 \cdot N}}$$

## 8.5. Apéndice 13: Archivos Adjuntos

A continuación, una tabla resumen de las minutas realizadas:

Fechas	Participantes	Tema Principal	Breve descripción	Principales decisiones tomadas	
24/08/2022	Luis Giordano Agurto Montoya	<input checked="" type="checkbox"/>	Preguntas para entrevista de requerimientos	Los primeros acercamientos que tuvo el grupo con el proyecto y las primeras reuniones con el cliente.	Vamos a realizar la propuesta de proyecto (26/08/2022)
	Carlos Mateo Jarrín Suango	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Kevin Saúl Gutiérrez Pérez	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Roque Emilio Rivadeneira Mendoza	<input checked="" type="checkbox"/>			
26/08/2022	Luis Giordano Agurto Montoya	<input checked="" type="checkbox"/>	Propuesta proyecto. Definir requerimientos	Primer esquema de solución al problema planteado, se consideran varios factores, se tomo en cuenta por primera vez el sistema de backup-auxiliar.	Conversar con Juanse: Requerimiento espacio, peso, mantenimiento, costos de operación
	Carlos Mateo Jarrín Suango	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Kevin Saúl Gutiérrez Pérez	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Roque Emilio Rivadeneira Mendoza	<input checked="" type="checkbox"/>			
29/08/2022	Luis Giordano Agurto Montoya	<input checked="" type="checkbox"/>	Se traza el título de proyecto. Se define bases de sustento	Se definen por primera vez los criterios ingenieriles. Se estima los alcances del proyecto y se piensa en cómo realizar un análisis económico.	Se toma en cuenta el factor ambiental para reducir emisiones CO2.
	Carlos Mateo Jarrín Suango	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Kevin Saúl Gutiérrez Pérez	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Roque Emilio Rivadeneira Mendoza	<input checked="" type="checkbox"/>			
09/09/2022	Luis Giordano Agurto Montoya	<input checked="" type="checkbox"/>	Se discute con el cliente temas sobre la factibilidad	Se intercambia información sobre el posible control automático. Se definen tipos de esquemas pueden funcionar.	Se planea continuar con los cálculos de factibilidad.
	Carlos Mateo Jarrín Suango	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Kevin Saúl Gutiérrez Pérez	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Roque Emilio Rivadeneira Mendoza	<input checked="" type="checkbox"/>			
19/09/2022	Luis Giordano Agurto Montoya	<input checked="" type="checkbox"/>	Riesgos.	Se detalló un poco alternativas para la recirculación del agua por medio del tanque por medio de una bomba descartando un agitador. Se hablaron de todos los posibles riesgos.	Se retira del modelo de prototipo la opción de utilizar un agitador.
	Carlos Mateo Jarrín Suango	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Kevin Saúl Gutiérrez Pérez	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Roque Emilio Rivadeneira Mendoza	<input checked="" type="checkbox"/>			
21/09/2022	Luis Giordano Agurto Montoya	<input checked="" type="checkbox"/>	Revisión de Normas. Riesgos	Revisión de los datos de factibilidad, se hizo una revisión general de las normas para el calefón y el confort para las duchas. Analisis de los posibles Riesgos.	Designación para una persona que se encargue de solventar cada uno de los riesgos.
	Carlos Mateo Jarrín Suango	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Kevin Saúl Gutiérrez Pérez	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Roque Emilio Rivadeneira Mendoza	<input checked="" type="checkbox"/>			
22/09/2022	Luis Giordano Agurto Montoya	<input checked="" type="checkbox"/>	Designación de actividades	En esta reunión se establece que actividades falta por revisar y que se debe completar a lo largo del proyecto	Se designa actividades.
	Carlos Mateo Jarrín Suango	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Kevin Saúl Gutiérrez Pérez	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Roque Emilio Rivadeneira Mendoza	<input checked="" type="checkbox"/>			
25/09/2022	Luis Giordano Agurto Montoya	<input checked="" type="checkbox"/>	Pre-Proforma	Se realiza una investigación sobre que materiales y que componentes se deben utilizar, se hace una tentativa de proforma.	Designación de actividades.
	Carlos Mateo Jarrín Suango	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Kevin Saúl Gutiérrez Pérez	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Roque Emilio Rivadeneira Mendoza	<input checked="" type="checkbox"/>			
28/09/2022	Luis Giordano Agurto Montoya	<input checked="" type="checkbox"/>	Análisis intercambiador de calor	Se define un análisis para el intercambiador de calor y de cuanto puede perder calor en el tanque.	Se prevé realizar los calculos para la longitud del serpiente.
	Carlos Mateo Jarrín Suango	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Kevin Saúl Gutiérrez Pérez	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Roque Emilio Rivadeneira Mendoza	<input checked="" type="checkbox"/>			
28/10/2022	Luis Giordano Agurto Montoya	<input checked="" type="checkbox"/>	Intercambiador de calor	Se realizó una reunión importante con David Escudero, PhD. El motivo fue revisión de los cálculos del serpiente a utilizar para el intercambio agua-refrigerante, se discutió si era necesario el condensador original.	Se determinó la trazabilidad para el intercambiador de calor.
	Carlos Mateo Jarrín Suango	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Kevin Saúl Gutiérrez Pérez	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Roque Emilio Rivadeneira Mendoza	<input checked="" type="checkbox"/>			

Las minutas, se encuentran dentro del siguiente enlace de SharePoint del proyecto.

### Minutas

## **8.6. Apéndice 14: Manual de operaciones y mantenimiento**

Para el manual de mantenimiento se divide acorde a los subsistemas ya planteados. El aire acondicionado e intercambiador de calor, necesita un mantenimiento, preventivo por lo menos cada año. Para verificar fugas de refrigerante, y revisar el estado del compresor, este último es el componente más caro y, por tanto, al que mayor atención hay que brindar. Los compresores de refrigerante están hechos para durar entre 15 y 20 años, siempre y cuando se dé el correspondiente mantenimiento, y es fácil de obtener y reemplazar. Por otro lado, nuestro sistema usa un ciclo de refrigeración común, al cual se acopla a un intercambiador de calor, en conjunto con una válvula de 4 vías. Estos componentes no tienen mayor problema para ser reemplazados. En cuanto al sistema eléctrico y de automatización se plantea el uso de un sistema simple como el Arduino para el control del calefón, y para regular el nivel del tanque de agua se utiliza un sistema mecánico, propio del sistema doméstico. Adicionalmente, el mantenimiento para el tanque de agua debido a que posee facilidad en el ensamble se dará cada año con el fin de una limpieza interna y corroborar que no posea ninguna fuga de agua. Esto en conjunto a una revisión anual de todo el sistema de control y asegurar que este funcione con normalidad.

### **8.6.1. Operaciones.**

Se verificará el correcto ensamble de tuberías para la unión aire acondicionado—intercambiador de calor como las uniones de agua que conecten los diferentes puntos del sistema. Luego de ello se procederá a conectar el sistema de control y establecer la temperatura que se desee elevar el agua. Procediendo a arrancar el sistema con normalidad. Se detalla mejor y a profundidad el manual en Apéndice 14: Manual de operaciones y mantenimiento.



*Figura 1 Portada manual de operación y mantenimiento*

## Contenido

OPERACIÓN .....	3
Lista de piezas .....	3
Plano de montaje con etiquetas .....	4
Información de seguridad .....	4
Descripción general del producto y características .....	5
Encendido, Operación y Apagado .....	6
Almacenamiento .....	7
Controles y rangos de variables de operación .....	8
MANTENIMIENTO .....	9
Programa de mantenimiento .....	9
Recomendaciones de mantenimiento .....	9
Capacidad de llenado de fluidos .....	9

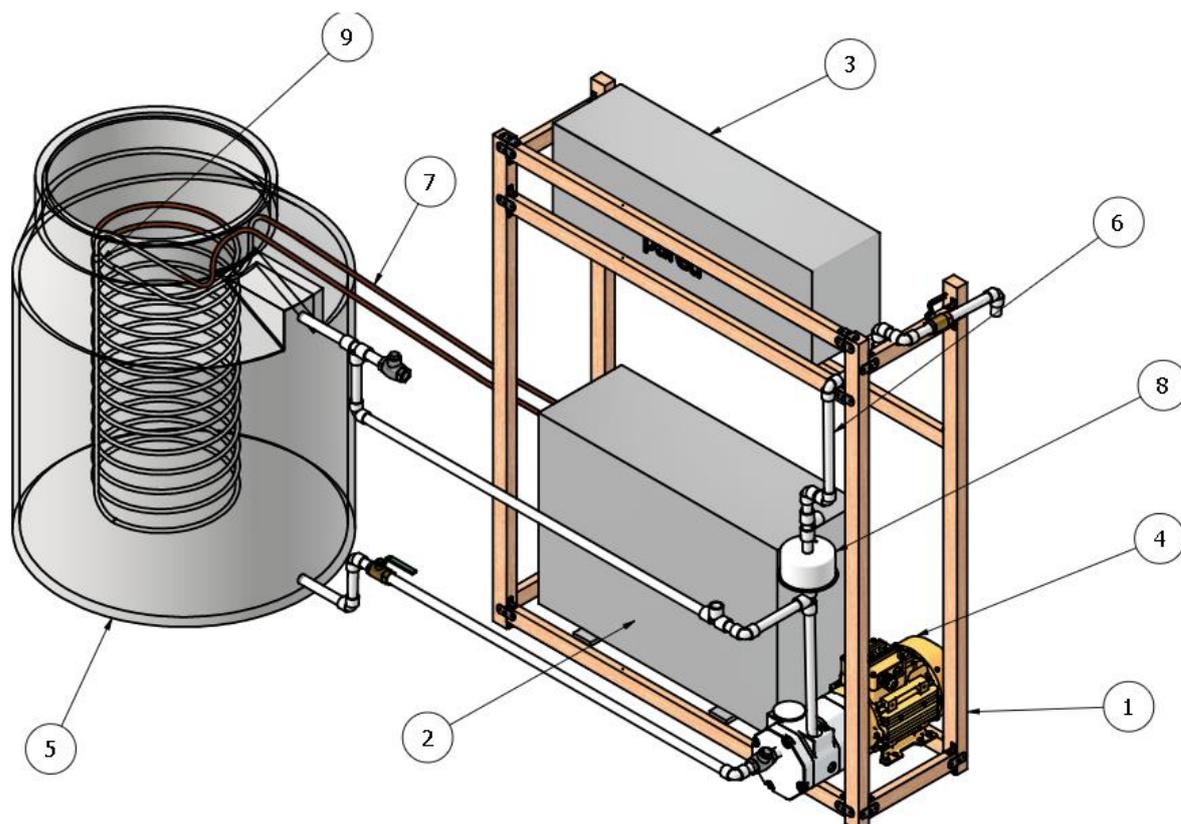
## OPERACIÓN

### Lista de piezas

*Lista de piezas manual de operación*

Item	Parte	Descripción
1	Estructura de apoyo	-
2	Condensador	Genérico
3	Evaporador	Genérico
4	Bomba centrífuga	Pedrollo 1hp
5	Tanque de PVC	Rival 250 lt
6	Tuberías de PE	1/2" Cédula 80
7	Tuberías de cobre	1/4" Tipo L
8	Calefón eléctrico	-
9	Serpentín de cobre	-

## Plano de montaje con etiquetas



## Información de seguridad

El artefacto adquirido contiene varias partes que operan a temperaturas y presiones elevadas que inclusive pueden alcanzar temperaturas de hasta 60° C por lo que es importante que, bajo la sospecha de una fuga o alguna sensación de mal funcionamiento, es de carácter imperativo llamar a un profesional o técnico con conocimientos en el área de aire acondicionado, bomba de calor o soldadura en cobre para poder solucionar cualquier avería o darle un mantenimiento para todo el equipo.

El sistema eléctrico tiene 2 fuentes de poder que activan el aire acondicionado (ya se ha visto que funcione a 110 o 220 voltios) el sistema de solenoide para la válvula de cuatro vías y el sistema de calefón o respaldo que de igual forma necesita un voltaje de 220 voltios. Las altas tensiones pueden llegar a ser perjudiciales para la salud, sin embargo, el nivel de amperaje es el que determina la potencia del equipo y está sí puede

ser muy dañina para el cuerpo humano, por lo que es de suma importancia manipular el equipo con las conexiones eléctricas apagadas para cualquier accionar de mantenimiento.

El aire acondicionado maneja refrigerante como fluido de trabajo, por lo que es muy importante evitar las fugas porque pueden afectar directamente a la capa de ozono por su composición química de HCFH.

### **Descripción general del producto y características**

El sistema de conversión de un aire acondicionado a bomba de calor es una gran ventaja para las personas que deseen aprovechar la energía adecuada de su sistema de HVAC y no tener que implementar o suministrar mayor energía para el calentamiento de agua ya sea este para duchas, piscinas o para aseo personal.

La conversión tiene muchas ventajas en temas de energéticos, ya que se aprovecharía el calor que puede ser rechazado a la atmósfera, por lo que no solamente se está disminuyendo el consumo energético, sino que además representa un ahorro sustancial para las industrias empresas y hogares que decidan implementar.

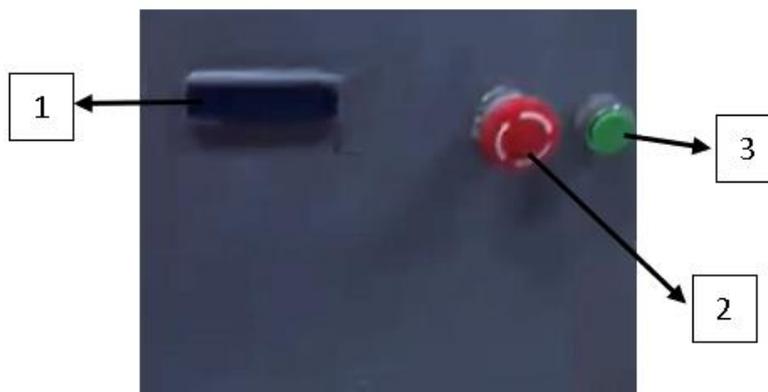
El sistema cuenta con un kit de instalación que debe ser instalado por un técnico o profesional en el área de aire acondicionado o soldadura de tubería de cobre, por lo que es indispensable que un profesional sea el encargado de colocar el kit.

El control del producto es automático, con un solo botón se puede poner en marcha el producto siempre y cuando este correctamente instalado y conectado a las fuentes de poder, ya sea 220 V y 110 V para el manejo del kit y del respaldo equipos.

El sistema de respaldo o auxiliar es para que en caso de que el aire acondicionado no se ha aprendido en un tiempo considerable de varios días, además, que la mayoría del calor se haya disipado hacia la atmósfera del tanque de reserva, por lo que sería muy importante un sistema auxiliar para suplir estas pérdidas, aunque el diseño sea eficiente

consume una gran cantidad de potencia eléctrica por lo que idealmente se trabajaría mejor utilizando el kit de transformación únicamente.

### Encendido, Operación y Apagado



*Lista de partes Panel de control manual de operaciones*

ítem	Parte	Descripción
1	Panel LCD	Indica variables temperatura y caudal
2	Botón tipo hongo	paro de emergencia
3	Botón encendido y apagado	enclavamiento

El encendido del equipo tiene lugar al presionar el botón 3 (verde) con el que se da marcha a todo el sistema de transformación aire acondicionado-bomba de calor y auxiliar que de manera automática puede realizar el cambio de AC a bomba de calor y viceversa.

El sistema de forma automática enciende la recirculación de agua para forzar la convección en el intercambiador de calor. El paro de la bomba está automatizado por el mismo control implementado una vez se alcance el objetivo de calentamiento.

En caso de que no se llegue a la temperatura adecuada, el sistema detecta por medio de una termocupla el encendido automático del sistema auxiliar para su óptimo funcionamiento.

En caso de realizarse un mantenimiento o detener forzosamente el sistema existe un botón de apagado de emergencia que desconecta todo el circuito. El botón mencionado de encendido tiene un enclavamiento para que, una vez encendido el sistema, el mismo botón pueda apagarlo, para lo cual no es necesario utilizar el botón de emergencia siempre para realizar esta acción.

En la pantalla led se puede visualizar los 3 parámetros más importantes que corresponde a los 3 sensores instalados para el control, se pueden verificar los valores de temperatura correspondientes al tanque y backup, por último, el sensor de flujo.

### **Almacenamiento**

El kit debe mantenerse en un ambiente fresco (10-25 °C) en condiciones normales. Sí, el kit se lo almacena en un lugar en donde exista humedad o se lo golpeé, este se puede malograr porque lo más probable es que las soldaduras, válvulas y tuberías de cobre puedan doblarse o romperse. Esto conlleva a la consecuencia de un mantenimiento correctivo para evitar problemas de fugas. En el sistema de control se debe llevar las debidas protecciones eléctricas como fusibles o disyuntores, ya que la conexión debe ser la adecuada. En la circunstancia de que se malogre el panel de control, podría existir el problema de dañar algún componente sensible como relé, microcontroladores, pantalla LCD, etc.

## Controles y rangos variables de operación

De continuación se presenta en los rangos de operación para las variables más importantes del sistema de respaldo y kit de transformación.

### *Rangos de operación manual de operaciones*

	Kit de transformación	Respaldo
Temperatura	40-60 °C	18-40 °C
Presión	150-360 psi	30 psi
Potencia eléctrica	1.1-1.43 kW	7500 W

## MANTENIMIENTO

### **Programa de mantenimiento**

El mantenimiento del equipo es recomendable para un período de una sola revisión en un tiempo de un año de calendario. El aire acondicionado es un sistema de refrigeración que está diseñado para soportar las condiciones climáticas de exteriores, por lo que es importante que dichas piezas sean revisadas por un profesional para verificar si es que existen algunas fugas.

### **Recomendaciones de mantenimiento**

Se recomienda revisar el manual del aire acondicionado para el modelo al cual se hizo la implementación del kit de transformación, es importante revisar el amperaje nominal y compararlo con el que se encuentra funcionando en el compresor por medio de un multímetro. En caso de que existan discrepancias, puede ser que existan fugas en el sistema, para lo cual, es necesario identificarlas y solucionarlas de manera inmediata. Posterior, cargar el refrigerante una vez se haya terminado de realizar la inspección y aprobarla.

### **Capacidad de llenado de fluidos**

El refrigerante 410a es el único fluido que debe contar con el llenado de fluido. Caso contrario, si se utiliza algún otro refrigerante, este puede causar danos permanentes en el equipo.

### **8.7. Análisis Ingenieril**

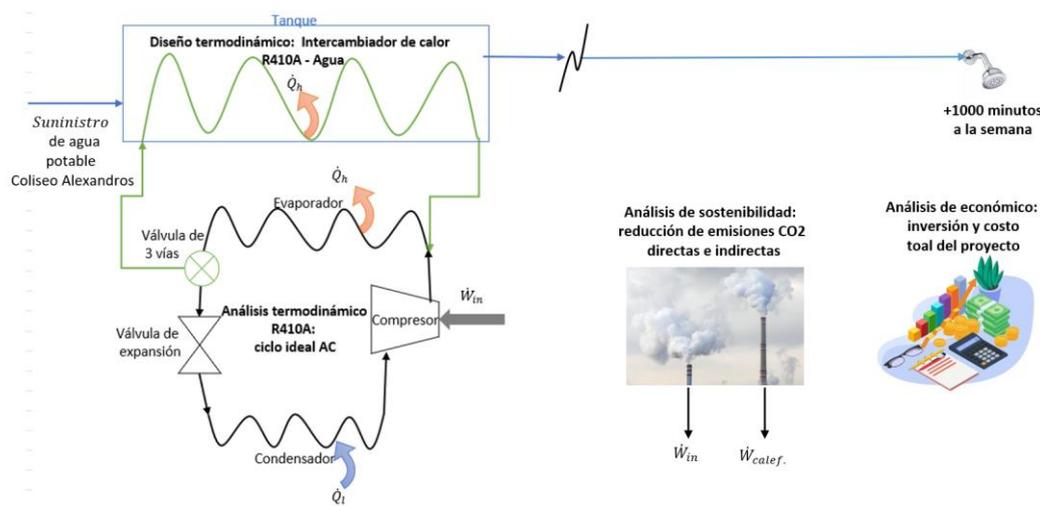
Los cálculos presentados en este apartado consisten en: cálculos de factibilidad estudiando el escenario del Coliseo Alexandros, considerado.

### 8.7.1. Parte A. Coliseo Alexandros

Para el cálculo de factibilidad del escalado Coliseo Alexandros se tiene la unidad de 54000 Btu/h y posiblemente la implementación a 6 duchas. Los siguientes análisis son lo que se tomaron en cuenta en esta sección. Se muestra un resumen de los cálculos que se harán para este modelo.

está dentro de la tubería.

- Análisis termodinámico: aire acondicionado en ciclo ideal.
- Diseño termodinámico: intercambiador de calor R410A a agua.
- Análisis de demanda: demanda de duchas en el Coliseo.
- Análisis de sostenibilidad: consumo del equipo y reducción de emisiones de GEI.
- Análisis económico: ahorro generado, costo del proyecto y tasa de retorno de la inversión.



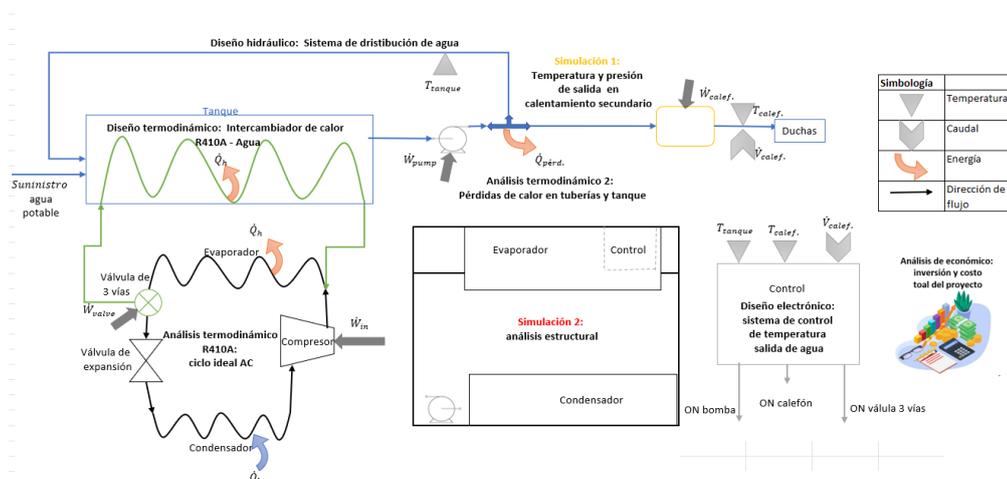
*Resumen de cálculos para el modelo Coliseo Alexandros.*

### 8.7.2. Parte B. Prototipo

El diseño del prototipo considera los requerimientos de diseño del cliente y parámetros de demanda del modelo Coliseo Alexandros, pero con escalamiento a una

unidad de aire acondicionado de 12000 Btu/h y solo una ducha como demanda. Debido a ello se consideran los análisis a continuación. En figura a continuación se muestra un resumen de los cálculos y simulaciones que se harán en el prototipo.

- Análisis termodinámico: aire acondicionado en ciclo ideal.
- Diseño termodinámico: intercambiador de calor R410A a agua, pérdidas de presión en el condensador y el intercambiador de calor.
- Diseño de Hidráulico: selección del sistema de recirculación y suministro de agua.
- Análisis termodinámico 2: Pérdidas de calor en tanque y tuberías en estado estable.
- Simulación 1: análisis y simulación del sistema de calentamiento secundario. Temperatura y velocidades de agua para el suministro a 18 °C.
- Simulación 2: análisis de esfuerzos en estructura de apoyo para el equipo.
- Análisis económico: costo total del prototipo.
- Diseño electrónico: sistema de control de temperatura de salida de agua.



### **8.7.3. Simulación 1: Calefón**

Para el diseño del calefón se tomó en cuenta una resistencia de ducha eléctrica. En un inicio el sistema contaba únicamente con espacio para albergar la resistencia, esto generaba que el flujo de agua deba ser muy bajo para que el calefón caliente lo suficiente. Luego, se modificó a un sistema con un deflector para que el agua fluya directamente hacia la resistencia y transfiera más eficientemente el calor. A continuación, se realizó una simulación en el programa Autodesk CFD, donde se consideraron múltiples condiciones simulando el entorno real en que funcionara. Revisar Apéndice 18: Simulaciones.

### **8.7.4. Simulación 2: Análisis estructural**

Para conseguir el diseño ideal de la estructura se diseñó en el programa Autodesk inventor los diferentes componentes revisar apéndice 9. Esta estructura con el fin de ser capaz de resistir todos los equipos que se utilizaran. El material que se utilizó fue la madera de Seique, debido a su precio y facilidad de compra.

Revisar Apéndice 18: Simulaciones

### **8.7.5. Experimentos para el aire acondicionado original**

Para este modelo se debe adquirir datos de temperatura del cuarto acondicionado y del ambiente, presión de trabajo en el evaporador y condensador. Además del consumo de potencia de la unidad durante el tiempo que se encuentra operando. Estos datos reflejan el funcionamiento de la unidad de aire acondicionado en el tiempo, para calcular el calor de desecho que se puede aprovechar en el proyecto.

Para lograr adquirir estos datos se recurre a la ficha técnica del AC siendo la marca Carrier, modelo 50ZPC060-30TP de refrigerante R-410A, para más información se incluye los datos del producto en los apéndices y la etiqueta del equipo.

Los datos para el análisis en el tiempo de operación requerirán periodos clave en los que se enciende las unidades de aire acondicionado con los datos mostrados en la ficha técnica. La potencia consumida a través del tiempo se lo adquiere mediante un sistema de monitoreo instalado en el panel eléctrico del Coliseo Alexandros, campus USFQ. Debido a mal funcionamiento del equipo se lo realiza idealmente con los datos del equipo a una condición estándar de  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$  en la oficina y  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$  en el exterior. Se obtuvo  $5.94\text{ kW}$  consumidos. Se utilizó una termocupla en los días y horas de uso dentro del cuarto que se desea refrigerar y para la temperatura del agua usada en un promedio de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Por último, para este sistema original se realizó una encuesta en la cual se detalló la demanda que existe en torno al uso de las duchas en el Coliseo. Se incluye los días de uso, frecuencia y duración para los estudiantes que hacen uso de este servicio. Las respuestas a las preguntas se presentan a continuación en los resultados. En la tienen los valores resaltados que se tomaron en cuenta de la hoja de datos del aire acondicionado.

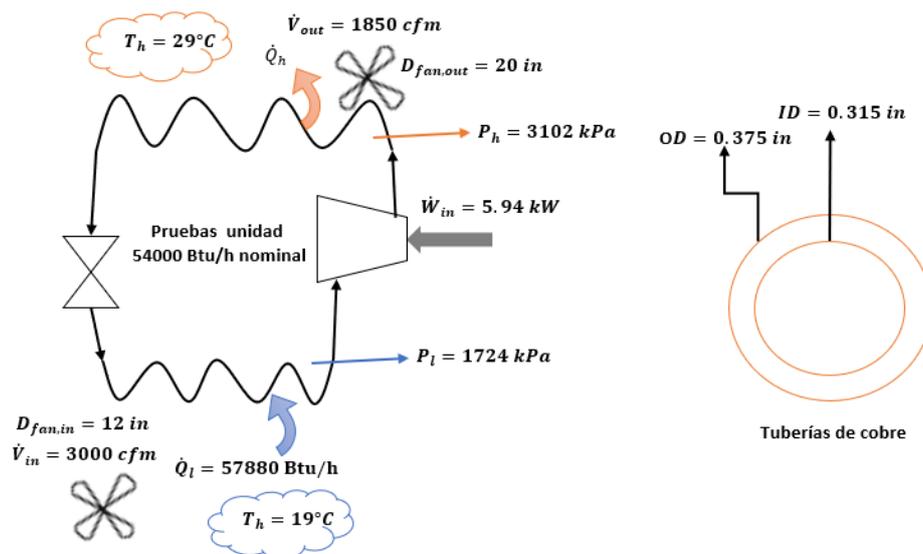


Diagrama caso específico unidad  $54000\text{ Btu/h}$ .

### 8.7.6. Datos Aire Acondicionado prototipo

En este apartado se detallan experimentos similares de la parte térmica del AC original, para comenzar con el diseño de los componentes a utilizar en el prototipo. Entre los datos se encuentran los de medición de temperatura de expulsión del condensador, temperatura de expulsión del evaporador, corriente usada, temperatura de mantenimiento del cuarto, presiones de trabajo altas y bajas, dimensiones del modelo de tuberías y del equipo total. Todos estos datos incluidos los que aparecerán en la ficha técnica del equipo servirán para el diseño del prototipo, a este se lo debe modificar el condensador de forma que quepa en un tanque de agua para el calentamiento de duchas.

Además, se debe instalar una unidad auxiliar que será un calefón artesanal en caso de que el aire acondicionado no esté operando. El calefón se realizó mediante una serie de experimentos con prototipos de conexión en el cual no se comprometa las instalaciones eléctricas ni la seguridad de los usuarios. Consistió en el calentamiento continuo de agua almacenada en un cilindro

## 8.8. Apéndice 15: Cálculos Coliseo Alexandros

Los datos conseguidos a continuación provienen de las especificaciones del modelo del aire acondicionado marca Carrier, modelo 50ZPC060-30TP.

Datos:

- $T_{cond} = 29 [^{\circ}C]$ , temperatura del ambiente en el condensador.
- $T_{in} = 19 [^{\circ}C]$ , acondicionamiento del cuarto a  $19^{\circ}C$ .
- $Ph = 3102 [kPa]$ , presión de trabajo en el condensador.
- $Pl = 1724 [kPa]$ , presión de trabajo en el evaporador.
- $\dot{V}_{in,air} = 3000 [cfm]$ , volumen de aire expulsado en el condensador.

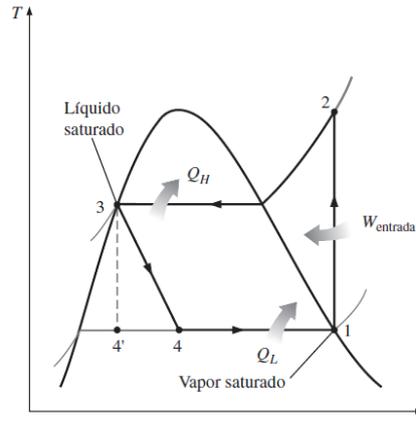
- $\dot{V}_{out,air} = 1850 [cfm]$ , volumen de aire expulsado en el evaporador.
- $A_{eva} = 6.1 [ft^2]$ , área de transferencia de calor del evaporador.
- $A_{cond} = 15.5 [ft^2]$ , área de transferencia de calor del condensador.
- $D_{eva} = 12[in]$ , diámetro ventilador del evaporador.
- $D_{cond} = 20[in]$ , diámetro ventilador del condensador.
- $\dot{Q}_l = 57880 \left[ \frac{Btu}{h} \right]$ , capacidad de enfriamiento a los parámetros de temperatura dados.
- $m_{R4} = 3.4[kg]$ , masa de refrigerante R410A.
- $\dot{W}_{in} = 5.94[kW]$ , potencia utilizada a los parámetros de temperatura.

Para la adquisición de datos extra fue necesario medir directamente lo siguiente:

- $OD_{coil} = 0.375[in]$ , diámetro externo de la tubería de cobre
- $ID_{coil} = 0.315[in]$ , diámetro interno de la tubería de cobre.

### 8.8.1. Análisis termodinámico

Este análisis toma en cuenta las presiones absolutas dentro del refrigerante. Con ello calcular los sitios exactos del ciclo ideal de refrigeración dentro del diagrama temperatura-entalpía (T-s) para el fluido R410A. En la gráfica se tiene el ciclo ideal que se intenta conseguir.



*Ciclo de refrigeración en Diagrama T-s.*

- $P_h = 3102[kPa] + P$
- $P_l = 1724 [kPa] + P$
- $P = 0.7 atm$

Donde P es la presión atmosférica que existe en la región donde opera el aire acondicionado.

Con los datos anteriormente descritos, se calculará el calor desechado por la unidad y la potencia de entrada con las siguientes fórmulas. Se toma en cuenta el flujo de aire calentado en el condensador y enfriado en el evaporador para obtener las temperaturas de entrada con ayuda de los ventiladores. Se especifica que se realiza un ciclo ideal de refrigeración. El formato de las propiedades proviene del software Engineering Equation Solver (EES), se lo usará por su facilidad de visualización y funcionalidad respecto al uso de datos para obtener propiedades, física y térmicas, además del cambio de unidades.

#### **Propiedades del aire enfriado y calentado por el AC:**

- $cp_{al} = Cp(Air_{ha}, T = T_{in}, P = P)$
- $rho_{al} = Density(Air_{ha}, T = T_{in}, P = P)$

- $cp_{ah} = Cp(Air_{ha}, T = T_{in}, P = P)$
- $\rho_{ah} = Density(Air_{ha}, T = T_{in}, P = P)$

Las propiedades son: el calor específico a presión constante (cp.) y la densidad (rho)

### Cambio de unidades:

- $\dot{Q}_l = 57880 * convert\left(\frac{Btu}{h}, kW\right)$

### Fórmulas:

$$EER = 3.1412 * COP_R$$

$$COP_R = \frac{\dot{Q}_l}{\dot{W}_{in}}$$

$$\dot{Q}_l = cp_{al} * \rho_{al} * \dot{V}_{airin} * (T_{eva} - T_{in})$$

$$COP_{BC} = COP_R + 1$$

$$COP_{BC} = \frac{\dot{Q}_h}{\dot{W}_{in}}$$

$$\dot{Q}_h = cp_{ah} * \rho_{ah} * \dot{V}_{airout} * (T_{out} - T_{cond})$$

### Resultados:

➤ $cp_{al} =$ $1.006 \left[ \frac{kJ}{kg-K} \right]$	➤ $\rho_{ah} =$ $0.8458 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$	➤ $\dot{Q}_l =$ $16.96[kW]$
➤ $\rho_{al} =$ $0.8458 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$	➤ $EER = 8.97$	➤ $COP_{BC} =$ $3.856$
➤ $cp_{ah} =$ $1.006 \left[ \frac{kJ}{kg-K} \right]$	➤ $COP_R =$ $2.856$	➤ $\dot{Q}_h =$ $22.9[kW]$
	➤ $\dot{W}_{in} =$ $5.94[kW]$	

El siguiente cálculo es sobre la temperatura del refrigerante dentro de las tuberías, para ello se requiere la recomendación de (Cengel & Boles, 2015): “La temperatura más alta del refrigerante, debe ser entre 5 y 10 grados más caliente con respecto a la temperatura

del cuarto acondicionado. Esto genera el cálculo automático del flujo másico de refrigerante en las tuberías que será de utilidad en el diseño del intercambiador de calor.

### Suposiciones:

Ciclo ideal refrigeración, no existen pérdidas de presión por fricción en las tuberías.

### Propiedades de los puntos del ciclo ideal AC:

$$T[1] = \text{Temperature}(R410A, s = s[1], h = h[1])$$

$$T[3] = \text{Temperature}(R410A, P = P_h, h = h[3])$$

$$h[1] = \text{Enthalpy}(R410A, P = P_l, x = 1)$$

$$h[2] = \text{Enthalpy}(R410A, T = T[2], P = P_h)$$

$$h[3] = \text{Enthalpy}(R410A, P = P_h, x = 0)$$

$$s[1] = \text{Entropy}(R410A, P = P_l, x = 1)$$

$$s[2] = \text{Entropy}(R410A, P = P_h, T = T[2])$$

$$s[4] = \text{Entropy}(R410A, P = P_l, h = h[3])$$

$$s[3] = \text{Entropy}(R410A, P = P_h, h = h[3])$$

Las propiedades calculadas en este apartado son la temperatura (T), la entalpía (h) y la entropía (s). El corchete con el número indica el punto de evaluación según el ciclo ideal.

### Fórmulas:

$$T_{room} = T_{in}$$

$$T_{ext} = T_{out}$$

"Cengels Recommendation for the refrigerant"

$$T[4] = T_{room} - 5[C]$$

$$T[2] = T_{ext} + 5[C]$$

$$Qdot_h = m\dot{m}_{R4} * (h[2] - h[3])$$

$$Qdot_l = m\dot{m}_{R4} * (h[1] - h[4])$$

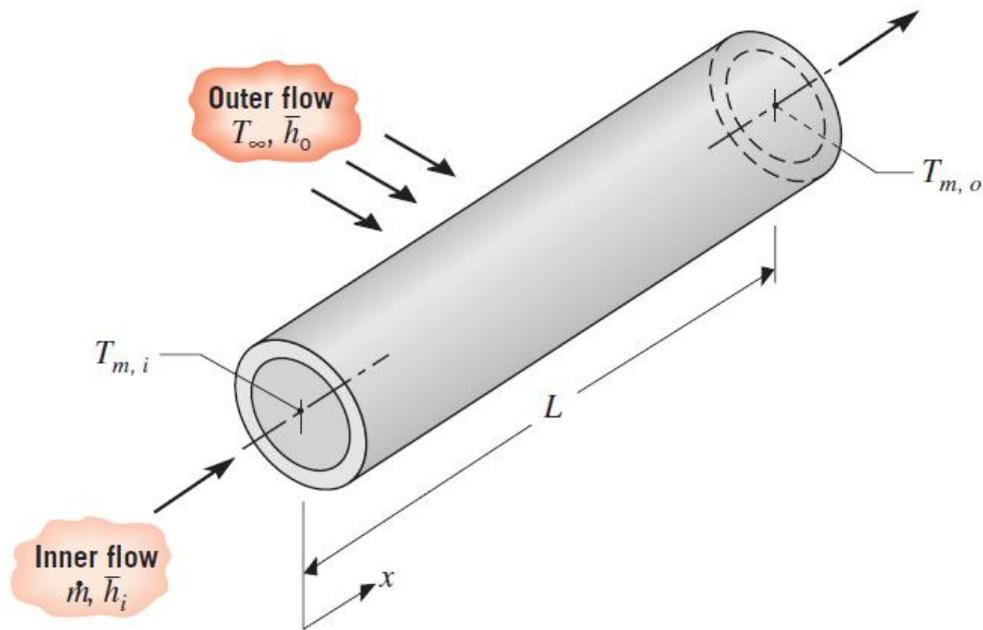
### 8.8.2. Diseño termodinámico 1

Ahora se diseñará el intercambiador de calor que será utilizado para calentar agua. Se tendrá en cuenta la convección interna del refrigerante R410A y conducción del cobre, luego se comparará la cantidad de tubería necesaria con convección natural y forzada del agua dentro del tanque, este análisis solo se hará con el condensador. Se diseñará una tubería de cobre enrollada dentro del tanque en forma de serpentín (*HEAT EXCHANGERS Selection, Rating, and Thermal Design Third Edition, n.d.*).



*Modelo de intercambiador de calor en espiral dentro del tanque.*

El diseño para el cálculo será el de la siguiente imagen en el cual se asume que la velocidad del agua será perpendicular al que está dentro de la tubería.



### Propiedades flujo interno en el condensador:

$$\mu_{in2} = \text{Viscosity}(R410A, x = 0, P = P_h)$$

$$Pr_{in2} = \text{Prandtl}(R410A, x = 0, P = P_h)$$

$$k_{in2} = \text{Conductivity}(R410A, x = 0, P = P_h)$$

### Fórmulas:

$$Re_{in2} = 4 * \frac{\dot{m} D_{R4}}{D_{coil} * \mu_{in2}}$$

$$A_{cond} = \pi * D_{coil} * L$$

$$LD2 = \frac{L^2}{D_{coil}}$$

$$n2 = 0.4$$

$$\overline{Nu}_{in2} = 0.023 * \left( Re_{in2}^{\frac{4}{5}} \right) * Pr_{in2}^{n2}$$

$$\overline{Nu}_{in2} = h_{in2} * \frac{D_{coil}}{k_{in2}}$$

$$R_{cond} = \frac{LN \left( \frac{D_{coil}}{D_{coilin}} \right)}{2 * \pi * L2 * k_{copper}}$$

$$R_{in2} = \frac{1}{h_{in2} * A_{cond}}$$

$$R_{tot2} = R_{cond} + R_{in2}$$

$$Qdot_h = \left( \frac{T3 - T_{S_{Lin}}}{R_{in2}} \right) * convert(W, kW)$$

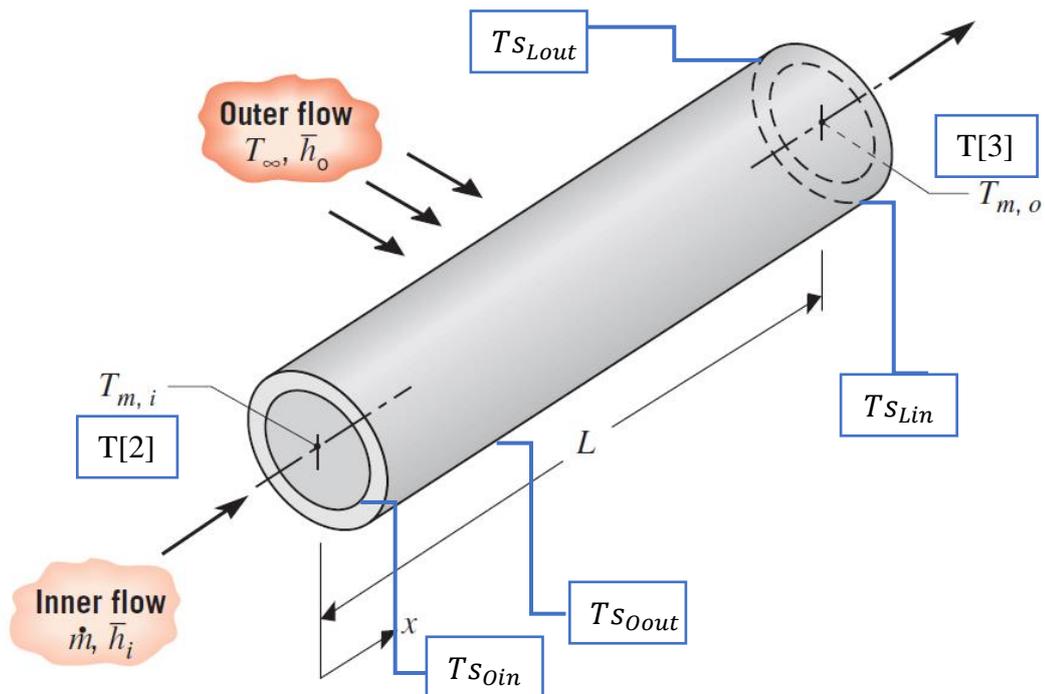
$$Qdot_h = \left( \frac{T3 - T_{S_{Lout}}}{R_{tot2}} \right) * convert(W, kW)$$

$$Qdot_h = \left( \frac{T2 - T_{S_{Oin}}}{R_{in2}} \right) * convert(W, kW)$$

$$Qdot_h = \left( \frac{T2 - T_{S_{Oout}}}{R_{tot2}} \right) * convert(W, kW)$$

### Resultados:

En este caso en la siguiente figura se colocan los puntos que serán resumidos en los datos. Entre estos datos se encuentran los de la superficie interna y externa de la tubería en ambos extremos del intercambiador. Estos dependen del coeficiente de convección del fluido, la resistencia térmica del exterior y el calor de intercambio, en la imagen siguiente se tienen estos datos.



*Datos de diseño de intercambiador de calor. Coliseo Alexandros*

Ts_Oin, [C]	59.99
Ts_Oout, [C]	56.96
Ts_Lin, [C]	28.09
Ts_Lout, [C]	28.09
h_in2, [W/m^2-K]	15557
R_cond, [K/W]	1.50E-07
R_in2, [K/W]	4.46E-05
R_tot2, [K/W]	4.61E-05

Se continúa con cálculo de longitud de flujo externo por convección forzada, por defecto, es la que utiliza la unidad de aire acondicionado. Se deben usar los datos

anteriores para un cálculo de flujo externo según el esquema estudiado con aire y agua a temperatura de 18 °C.

**Propiedades de flujo externo, convección forzada de aire:**

$$nu_{cond} = KinematicViscosity(Air_{ha}, T = T_{cond}, P = P)$$

$$Pr_{cond} = Prandtl(Air_{ha}, T = T_{cond}, P = P)$$

$$Pr_{conds} = Prandtl(Air_{ha}, T = T_{S_{Lout}}, P = P)$$

$$k_{cond} = Conductivity(Air_{ha}, T = T_{cond}, P = P)$$

**Fórmulas:**

$$Vdot_{air,out} = vel_{air,out} * pi * \frac{D_{cond}^2}{4}$$

$$Re_{cond} = vel_{air,out} * \frac{D_{coil}}{nu_{cond}}$$

$$C2 = 0.26$$

$$\overline{Nu}_{cond} = C2 * (Re_{cond}^{0.6}) (Pr_{cond}^{0.37}) \left( \left( \frac{Pr_{cond}}{Pr_{conds}} \right)^{0.25} \right)$$

$$h_{cond} = \overline{Nu}_{cond} * \frac{k_{cond}}{D_{coil}}$$

**Resultados:**

$$L2 = 48.12[m]$$

$$\overline{Nu}_{cond} = 27.64$$

$$h_{cond} = 76.51 \left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$$

**Propiedades de flujo externo, convección libre, agua.**

$$Pr_w = Prandtl(Water, T = T_f, P = P)$$

$$k_w = \text{Conductivity}(\text{Water}, T = T_f, P = P)$$

$$\nu_w = \text{KinematicViscosity}(\text{Water}, T = T_f, P = P)$$

$$g = 9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right], \text{ gravedad}$$

### Fórmulas:

$$T_f = \frac{T_{cond} + T_{Soout}}{2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$Gr_L = \frac{g * \beta * (T_{Soout} - T_{cond}) * D_{coil}^3}{\nu_w^2}$$

$$Ra_L = Gr_L * Pr_w$$

$$\overline{Nu}_D = \left( 0.6 + \left( \frac{0.387 * Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left( 1 + \left( \frac{0.559}{Pr_w} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right) \right)$$

$$A_{cond2} = \pi * D_{coil} * Lw$$

$$\bar{h}_D * \frac{D_{coil}}{k_w} = \overline{Nu}_D$$

$$R_w = \frac{1}{\bar{h}_D * A_{cond2}}$$

$$\dot{Q}_h = \left( \frac{T_{Soout} - T_{cond}}{R_w} \right) * \text{convert}(W, kW)$$

### Resultados:

$$Lw = 54.99[m]$$

$$\overline{Nu}_D = 2.626$$

$$\bar{h}_D = 497.81 \left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Continuando con el diseño se tiene el flujo externo por convección forzada de agua.

### Propiedades de flujo externo forzado con agua:

$$nu_{condw} = KinematicViscosity(Water, T = T_{cond}, P = P)$$

$$vel_w = 1.5 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$Pr_{condw} = Prandtl(Water, T = T_{cond}, P = P)$$

$$Pr_{condsw} = Prandtl(Water, T = Ts_{Oout}, P = P)$$

$$k_{condw} = Conductivity(Water, T = T_{cond}, P = P)$$

Fórmulas:

$$Re_{condw} = vel_w * \frac{D_{coil}}{nu_{cond}}$$

$$C3 = 0.26$$

$$\overline{Nu}_{w2} = C3 * (Re_{condw}^{0.6}) (Pr_{condw}^{0.37}) \left( \left( \frac{Pr_{condw}}{Pr_{condsw}} \right)^{0.25} \right)$$

$$h_{w2} = \overline{Nu}_{w2} * \frac{k_{condw}}{D_{coil}}$$

$$A_{cond3} = pi * D_{coil} * Lw2$$

$$R_{w2} = \frac{1}{h_{w2} * A_{cond3}}$$

### 8.8.3. Análisis de sostenibilidad

"Calefon"

$$Num\_calefones = 1$$

$$Q\_calefon = 23.18 * Num\_calefones * 0.88 [kW]$$

$$Caudal\_calefon = Num\_calefones * 26.3 [l/min]$$

$$Num\_duchas = \frac{Caudal\_calefon}{12 \left[ \frac{l}{min} \right]}$$

$$Q_{reemplazable} = Q_{dot_h} * \frac{Num_{AC}}{Q_{calefon}}$$

$$Poder_{GLP} = 10983 * convert\left(\frac{kcal}{kg}, \frac{kJ}{kg}\right)$$

"Duchas"

$$t = 1000 * 56 [min]$$

$$tiempo_{uso} = 8 \left[ \frac{h}{dia} \right] * 4 \left[ \frac{dias}{semana} \right] * 4 \left[ \frac{semanas}{mes} \right] * 12 [meses]$$

$$tiempo_{control} = 24 \left[ \frac{h}{dia} \right] * 4 \left[ \frac{dias}{semana} \right] * 56 [semanas]$$

$$tiempo_{usod} = 100 * 56 [min]$$

$$E_{GLP} = Q_{calefon} * tiempo$$

$$E_{ducha\ electrica} = Q_{duchas} * tiempo$$

$$E_{proyecto} = Q_{bomba\ de\ agua} * tiempo_{uso} + Q_{control} * tiempo_{control} + Q_{ducha} * tiempo_{usod}$$

$$Peso_{GLP} = \frac{E_{GLP}}{Poder_{GLP}}$$

$$Num_{bombonas} = \frac{Peso_{GLP}}{11 [kg]}$$

$$Costo_{gas} = Num_{bombonas} * 5 [\$]$$

$$Ahorro = Q_{reemplazable} * Costo_{gas}$$

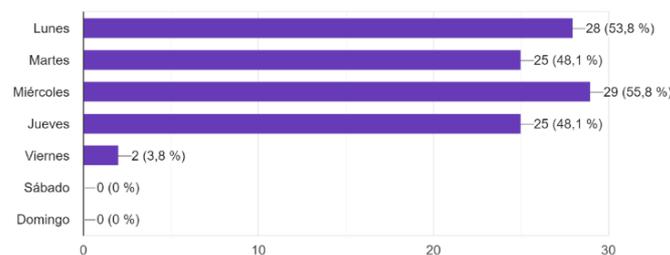
"Emisiones"

$$CO2_{KG} = FactorCO2 * \frac{E_{GLP}}{3600}$$

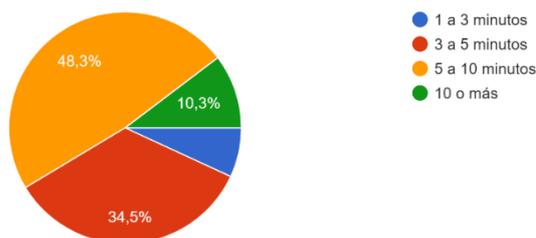
#### 8.8.4. Análisis de demanda

Demanda de duchas y consumo de Aire Acondicionado en el Coliseo. En estas se consiguieron 52 respuestas enviadas a diferentes clases, de las cuales 58.8 % respondió afirmativamente sobre el uso de los equipos. Los resultados se muestran a continuación. Se muestran los resultados por día, horario y tiempo de uso de las duchas. Revisar Apéndice 12: Encuesta y confiabilidad de datos.

Selecciona los días de práctica  
52 respuestas



Escoge el rango de duración promedio de uso de la ducha  
29 respuestas



Debido a que no hay clases obligatorias los viernes, no hay mucha frecuencia en el uso de calefón para calentar agua, según el gráfico de pastel. Con base a la imagen anterior, donde se observa la cantidad de veces en las que se ocupa la ducha cada día, durante toda la semana. Se adiciona la frecuencia y se obtiene que, en promedio, las duchas se ocupan 30 veces cada día. Gracias a la gráfica podemos obtener que, en promedio día, se utilizan durante 250 minutos generando un uso semanal del calefón de 1000 minutos.

Con base en la encuesta realizada en el coliseo Alexandros, con el fin de determinar la demanda de agua caliente se determinaron 30 duchas diarias, valor que es significativo. Sin embargo, con una muestra de las clases de deportes de alto impacto de la USFQ que son 300 alumnos, basándonos en un nivel de confianza de 95 % y un margen de error del 5 %. Se necesitará mínimo 169 alumnos para garantizar el tamaño de muestra y la fiabilidad de los datos. Apéndice 12.

### 8.9. Apéndice 16: Cálculos Prototipo

Similar al análisis de la unidad de 54000 Btu/h, se emplea un análisis ideal del ciclo para el modelo de 12000 Btu/h. La diferencia que resalta es la utilización de datos experimentales de la unidad de aire acondicionado, contrario al uso de la hoja de

especificaciones del equipo. El equipo consiste en una unidad Split de marca RCA, modelo RAC-12CSA, del cual no existe una hoja de datos detallada.

Datos:

- $P_l = 121 * \text{convert}(\text{psi}, \text{kPa})$  "Manometro"
- $P_h = 380 * \text{convert}(\text{psi}, \text{kPa})$  "Presión alta estándar"
- $P = 0.7 * \text{convert}(\text{atm}, \text{kPa})$  "Presion Atmosferica Quito"
- $x[1] = 1$  "Vapor saturado"
- $x[3] = 0$  "Líquido saturado"
- $T[1] = 4[C]$
- $T[2] = 70 [C]$
- $T[3] = 30 [C]$
- $V = 220[V]$
- $P[3] = P[2]$
- $Vfan_c = 4.8 \left[ \frac{m}{s} \right]$
- $ODf_c = 0.405[m]$
- $Q_l = 12000 * \text{convert} \left( \frac{Btu}{h}, kW \right)$

### 8.9.1. Análisis térmico 1

En este análisis se recrea de manera diferente el ciclo ideal de una unidad de aire acondicionado de diferente marca, que usa el mismo refrigerante R410A. Los puntos del ciclo se basan en la misma nomenclatura del modelo de 54000 Btu/h con el software EES. Esto en un ciclo ideal de refrigeración.

#### Propiedades del ciclo de aire acondicionado ideal, 12000 Btu/h:

$$g = 9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$h[1] = \text{Enthalpy}(R410A, P = P[1], x = x[1])$$

$$h[2] = \text{Enthalpy}(R410A, P = P[2], T = T[2])$$

$$h[3] = \text{Enthalpy}(R410A, P = P[3], T = T[3] - 0[C])$$

$$s[1] = \text{Entropy}(R410A, P = P[1], h = h[1])$$

$$s[2] = \text{Entropy}(R410A, P = P[2], h = h[2])$$

$$s[3] = \text{Entropy}(R410A, P = P[3], h = h[3])$$

$$s[4] = \text{Entropy}(R410A, P = P[1], h = h[4])$$

**Fórmulas:**

#### Ciclo de refrigeración

$$T[4] = T[1]$$

$$h[3] = h[4]$$

$$P_h + P = P[2]$$

$$P[1] = P_l + P$$

$$Q_l = \dot{m}_R * (h[1] - h[4])$$

$$Q_h = \dot{m}_R * (h[2] - h[3])$$

$$Q_h = Q_l + W_{in}$$

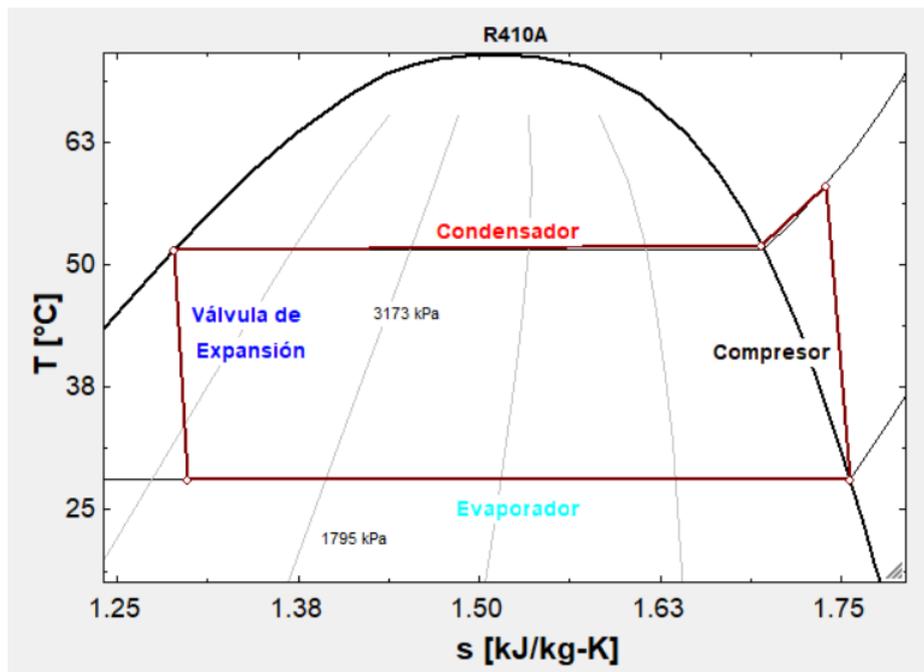
$$COP_R = \frac{Q_l}{W_{in}}$$

$$COP_{BC} = \frac{Q_h}{W_{in}}$$

### Corriente consumida

$$Am * V = W_{in} * \text{convert}(kW, V * A)$$

Entre los resultados más destacados se encuentran los puntos del ciclo de refrigeración en el diagrama T-s del refrigerante R410A, en el modelo prototipo. Además, se tiene los puntos calculados resumidos en una tabla a continuación. La corriente que se obtuvo de 3.31 [A].



### *Puntos del ciclo de refrigeración ideal. Prototipo.*

Dentro de los puntos calculados para el ciclo de refrigeración se tiene la tabla siguiente. El más importante de aquella tabla es la temperatura en el punto 3 de 45 °C, la

cual marca el límite de calentamiento aproximado dentro del tanque, debido al equilibrio térmico no puede ser mayor la temperatura de agua en el tanque en esas condiciones.

### 8.9.2. Diseño termodinámico

Este diseño consiste en el dimensionamiento del intercambiador de calor R410A-agua y cálculo de pérdidas de presión en los dos condensadores. Solo para la unidad de 12000 Btu/h, se consideró un diseño de radiador en espiral con la salida y entrada a la misma altura del nivel total que ocupará el tanque. Las consideraciones para este caso tienen que ver con el estudio de flujo interno de tuberías de cobre y convección externa forzada o natural, asumiendo flujo perpendicular, similar al diseño en el Coliseo Alexandros.

### Propiedades flujo interno de refrigerante R140A y datos de unidad 12000

**Btu/h:**

$$\begin{aligned} \mu_{in3} &= \text{Viscosity}(R410A, P = P[2], h = h[2]) \\ Pr_{in3} &= \text{Prandtl}(R410A, P = P[3], h = h[2]) \\ k_{in3} &= \text{Conductivity}(R410A, P = P[2], h = h[2]) \\ L3 &= 15[m] \end{aligned}$$

**Fórmulas:**

$$\begin{aligned} Re_{in3} &= 4 * \frac{m \dot{R}}{ID * \mu_{in3}} \\ Ac3 &= \pi * ID * L3 \\ LD3 &= \frac{L3}{ID} \\ Nu_{in3} &= 0.023 * \left( Re_{in3}^{\frac{4}{5}} \right) * Pr_{in3}^{\frac{1}{4}} \\ Nu_{in3} &= h_{in3} * \frac{ID}{k_{in3}} \\ R_{cond3} &= \frac{LN \left( \frac{OD}{ID} \right)}{2 * \pi * L3 * k_{copper}} \\ R_{in3} &= \frac{1}{h_{in3} * Ac3} \\ R_{tot3} &= R_{cond3} + R_{in3} \\ Q_h &= \left( \frac{T[3] - Tol}{R_{in3}} \right) * \text{convert}(W, kW) \end{aligned}$$

$$Q_h = \left( \frac{T[3] - Tl}{R_{tot3}} \right) * convert(W, kW)$$

$$Q_h = \left( \frac{T[2] - To}{R_{in3}} \right) * convert(W, kW)$$

$$Q_h = \left( \frac{T[2] - T}{R_{tot3}} \right) * convert(W, kW)$$

### Propiedades flujo externo forzado con aire:

$$nu_a = KinematicViscosity(Air_{ha}, T = T_f, P = P)$$

$$Pr_a = Prandtl(Air_{ha}, T = T_f, P = P)$$

$$k_a = Conductivity(Air_{ha}, T = T_f, P = P)$$

#### Fórmulas:

$$Ac2 = pi * OD * L$$

$$T_{inf} = 26[C]$$

$$T_f = \frac{T_s + T_{inf}}{2}$$

$$T_s = Ts2$$

$$Re_a = Vfan_c * \frac{OD}{nu_a}$$

$$RePr = Re_a * Pr_a$$

$$C = 0.683$$

$$m = 0.466$$

$$Nu_a = C * (Re_a^m) * (Pr_a)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_a = \frac{Nu_a * k_a}{OD}$$

### Propiedades flujo externo natural con agua:

$$Pr_{wf} = Prandtl(Water, T = T_{ff}, P = P)$$

$$k_{wf} = Conductivity(Water, T = T_{ff}, P = P)$$

$$nu_{wf} = KinematicViscosity(Water, T = T_{ff}, P = P)$$

#### Fórmulas:

$$T_{inff} = 40[C]$$

$$T_{ff} = \frac{T_{inff} + T_{ss3}}{2}$$

$$betha = \frac{1}{T_{ff}}$$

$$Gr_{Lf} = \frac{g * betha * (T_{ss3} - T_{inff}) * OD^3}{nu_{wf}^2}$$

$$Ra_{Lf} = Gr_{Lf} * Pr_{wf}$$

$$Nu_{Df} = \left( 0.6 + \frac{0.387 * Ra_{Lf}^{\frac{1}{6}}}{\left( 1 + \left( \frac{0.559}{Pr_{wf}} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)$$

$$A_{cond2f} = pi * OD * Lwf$$

$$h_{Df} * \frac{OD}{k_{wf}} = Nu_{Df}$$

$$R_{wf} = \frac{1}{h_{Df} * A_{cond2f}}$$

$$Q_h = \left( \frac{T_{ss3} - T_{inff}}{R_{wf}} \right) * convert(W, kW)$$

### Propiedades flujo externo forzado con agua:

$$nu_{wt} = KinematicViscosity(Water, T = T_{f3}, P = P)$$

$$Pr_{wt} = Prandtl(Water, T = T_{f3}, P = P)$$

$$k_{wt} = Conductivity(Water, T = T_{f3}, P = P)$$

### Fórmulas:

$$Acwt = pi * OD * L3$$

$$T_{inf3} = 40[C]$$

$$T_{f3} = \frac{T_{ss3} + T_{inf3}}{2}$$

$$T_{ss3} = T$$

$$Re_{wt} = Vfan_{c3} * \frac{OD}{nu_{wt}}$$

$$RePrwt = Re_{wt} * Pr_{wt}$$

$$h_{wt} = \frac{Q_h * convert(kW, W)}{Acwt * (T_{ss3} - T_{inf3})}$$

$$Nu_{wt} = C * (Re_{wt}^m) * (Pr_{wt})^{\frac{1}{3}}$$

$$h_{wt} = \frac{Nu_{wt} * k_{wt}}{OD}$$

### Propiedades de presión a la entrada del intercambiador y datos:

$$mu_{in2} = Viscosity(R410A, P = P[2], h = h[2])$$

$$rho_{in3} = Density(R410A, P = P[3], h = h[3])$$

$$ID = \left( \frac{1}{4} \right) * convert(in, m)$$

$$wt = 0.024 * convert(in, m)$$

$$epsilon = 0.0015 * convert(mm, m)$$

$$N_c = 24$$

$$L = 17.28[m]$$

**Fórmulas:**

$$OD = ID + 2 * wt$$

$$AI = pi * \frac{ID^2}{4}$$

$$N_f = N_c - 1$$

$$rho_{in3} = rho_{in2}$$

$$ED = \frac{epsilon}{ID}$$

$$LD = \frac{L}{ID}$$

"Colebrook Relation for friction in pipes"

$$\frac{1}{SQRT(f)} = -2 * \left( LOG10 \left( \left( \frac{ED}{3.7} \right) + \left( \frac{2.51}{Re_{in2} * SQRT(f)} \right) \right) \right)$$

"Minor loses from 180 bends"

$$f_T = \frac{0.25}{\left( LOG10 \left( \frac{ED}{3.7} \right) \right)^2}$$

$$K = 50 * f_T$$

$$mdot_R = rho_{in2} * (V_{in2} * AI)$$

$$mdot_R = rho_{in3} * (V_{in3} * AI)$$

$$V_{avg} = \frac{V_{in2} + V_{in3}}{2}$$

$$Pres2 = P[2] * \frac{convert(kPa, Pa)}{rho_{in2} * g}$$

$$Pres3 = P31 * \frac{convert(kPa, Pa)}{rho_{in3} * g}$$

$$Vel2 = \frac{V_{in2}^2}{2 * g}$$

$$Vel3 = \frac{V_{in3}^2}{2 * g}$$

$$Vavg = \left( \frac{V_{in3}^2}{2 * g} \right)$$

$$Lmj = f * LD * Vavg$$

$$Lmn = K * Vavg$$

$$Pres2 + Vel2 = Pres3 + Vel3 + Lmj + Lmn$$

$$DeltaP_R = P[2] - P31$$

**8.9.4. Diseño hidráulico 1**

Este diseño de tuberías viene del suministro de agua desde el tanque. Debido a que la diferencia de altura del tanque a la ducha, la pérdida de presión del calefón de apoyo, y la fricción por tuberías y accesorios, es necesaria la instalación de una bomba. Se tiene un diseño preliminar en el cual se introduce la ecuación del sistema, para el que se debe instalar una bomba de ½ HP. Sin embargo, por presupuesto se instaló una bomba

de 1 HP de reserva, el cual aumenta la velocidad de recirculación por las tuberías. Las ecuaciones son provenientes del diseño de transporte de fluidos (Penoncello, 2018, pp. 137-236). El análisis de accesorios de división de flujo viene de la guía (Crane Co. Engineering Department., 2001, pp. 14-15).

### Propiedades de tuberías y accesorios usados prototipo:

$NE1 = 3$	$NT3 = 1$	$KT1B = 0$
$NE2 = 3$	$NB1 = 1$	$KT2R = 0$
$NE3 = 7$	$NB2 = 0$	$KT2B = 0$
$NT2 = 1$	$NB3 = 1$	
$NT1 = 0$	$KT1R = 0$	

$$g = 9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$T_{ww} = 40[C]$$

$$P = 1 * \text{convert}(\text{atm}, kPa)$$

$$ID_w = 0.5 * \text{convert}(\text{in}, m)$$

$$wtw = 3.4 * \text{convert}(\text{mm}, m)$$

$$OD_w = ID_w + 2 * wtw$$

$$\epsilon_{ww} = 0.0000015[m]$$

$$V_{ww} = 20 * \text{convert} \left( \frac{L}{min}, \frac{m^3}{s} \right)$$

$$\nu_{ww} = \text{KinematicViscosity}(\text{Water}, T = T_{ww}, P = P)$$

$$\rho_{ww} = \text{Density}(\text{Water}, T = 40[C], P = P)$$

$$L_{wl} = (116.84 + 114.3 + 38.1 + 30.48 + 63.5 + 66.04 + 48.26 + 68.58) * \text{convert}(\text{mm}, m)$$

$$L_{wl1} = (116.84 + 114.3 + 38.1 + 30.48 + 1005.84 + 63.5 + 66.04 + 48.26) * \text{convert}(\text{mm}, m)$$

$$L_{wl2} = (137.16 + 114.3 + 55.88 + 982.98 + 508 + 302.26 + 96.52) * \text{convert}(\text{mm}, m)$$

$$L_{wl3} = (83.36 + 38.1 + 93.98 + 53.34 + 35.56 + 99.06 + 162.56 + 274.32 + 53.34 + 55.88 + 68.58 + 68.58) * \text{convert}(\text{mm}, m)$$

### Fórmulas:

$$A_{ww} = \pi * \frac{ID_w^2}{4}$$

$$ED_w = \frac{\epsilon_{ww}}{ID_w}$$

$$LD_w = \frac{L_{wl}}{ID_w}$$

$$Vel_w * A_{ww} = V_{ww}$$

$$Re_w = Vel_w * \frac{ID_w}{\nu_{ww}}$$

$$\frac{1}{SQRT(f_w)} = -2 * \left( LOG_{10} \left( \left( \frac{ED_w}{3.7} \right) + \left( \frac{2.51}{Re_w * SQRT(f_w)} \right) \right) \right)$$

$$f_{Tw} = \frac{0.25}{\left(\text{LOG}_{10}\left(\frac{EDW}{3.7}\right)\right)^2}$$

$$KE1 = NE1 * 30 * f_{Tw}$$

$$KE2 = NE2 * 30 * f_{Tw}$$

$$KE3 = NE3 * 30 * f_{Tw}$$

$$KCK = 100 * f_{Tw}$$

"Tees analysis"

"1"

$$Q_{Ts2} = \frac{Q_{B2}}{Q_{comb2}}$$

$$Q_{B2} = 0 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q_{comb2} = \frac{V_{ww}}{IDW}$$

$$bethap2 = \frac{1}{IDW}$$

$$bethasqrt2 = \frac{1}{bethap2^2}$$

$$Q_{Ts3} = \frac{Q_{B3}}{Q_{comb3}}$$

$$Q_{B3} = 0.5 * Q_{comb3}$$

$$Q_{comb3} = \frac{V_{ww}}{IDW}$$

$$bethap3 = \frac{1}{IDW}$$

$$bethasqrt3 = \frac{1}{bethap3^2}$$

$$Mw3 = 0.4$$

$$KT3R = Mw3 * (Q_{Ts3}^2)$$

$$Gw3 = 1 + 0.3 * (Q_{Ts3}^2)$$

$$Hw3 = 1$$

$$Jw3 = 2$$

$$Q_{Ts3} * bethasqrt3 = Qwk3$$

$$KT3B = NT3 * Gw3 * (1 + Hw3 * ((Qwk3)^2) - Jw3 * (Qwk3) * 0)$$

"Ball valves"

$$KB1 = NB1 * 3 * f_{Tw}$$

$$KB2 = NB2 * 3 * f_{Tw}$$

$$KB3 = NB3 * 3 * f_{Tw}$$

$$Kin = 0.78$$

"INLET LOSS"

$$Kw3 = KB3 + KE3$$

$$Kw1 = KB1 + KE1 + Kin + KCK$$

$$Kw2 = KB2 + KE2$$

$$V_{ww} = V_{avgw} * Aww$$

$$V_{avgw} = V_{w2}$$

$$V_{avgw} = V_{w3}$$

$$LDw3 = \frac{L_{wl3}}{IDW}$$

"Bernoulli modificado, Tramo 3 puntos B - C"

$$Presw2 = P2w * \frac{\text{convert}(kPa, Pa)}{\rho_{oww} * g}$$

$$Presw3 = P * \frac{\text{convert}(kPa, Pa)}{\rho_{oww} * g}$$

$$V_{wavg} = \left( \frac{V_{avgw}^2}{2 * g} \right)$$

$$Z2 = (133 + 119 + 200 + 314 - 84) * \text{convert}(mm, m)$$

$$Z1 = 0[m]$$

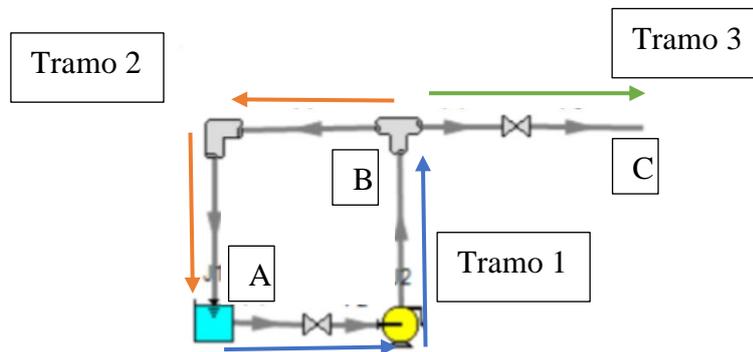
$$L_{mjw} = f_w * LD_{w3} * V_{wavg}$$

$$L_{mnw} = K_{w3} * V_{wavg}$$

$$H_{calf} = 12.22[m]$$

$$P_{resw2} + V_{wavg} + Z1 = P_{resw3} + V_{wavg} + Z2 + L_{mjw} + L_{mnw} + H_{calf}$$

$$\Delta P_w = P2w - P$$



Tramos de tubería con recirculación A-B-A y suministro A-B-C.

"Tramo 1, puntos A - B"

$$LD_{w1} = \frac{L_{wl1}}{ID_w}$$

$$LD_{w2} = \frac{L_{wl2}}{ID_w}$$

$$f_{2_{loss}} = ((f_w * LD_{w2}) + K_{w2} + KT3B)$$

$$f_{1_{loss}} = ((f_w * LD_{w1}) + K_{w1} + KT3R)$$

$$V_{dot_{w1}} = V1 * A_{ww}$$

$$V1 = V2 + V_{avgw}$$

$$V1_w = \frac{V1^2}{2 * g}$$

$$V2_w = \frac{V2^2}{2 * g}$$

"Punto A, altura del tanque"

$$P_A * \frac{\text{convert}(kPa, Pa)}{\gamma} = 0.635[m]$$

$$P_A = P_B + (f_{1_{loss}}) * V1_w + Z_{BA} - H$$

$$\gamma = (\rho_{ww} * g) * \text{convert}\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - \text{s}^2, \frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right)$$

$$ZBA = 332 * \text{convert}(\text{mm}, \text{m})$$

$$PA = P_A * \frac{\text{convert}(\text{kPa}, \text{Pa})}{\gamma}$$

$$PB = P_B * \frac{\text{convert}(\text{kPa}, \text{Pa})}{\gamma}$$

$$P_B = P_{2w}$$

$$\Delta_3 = P_A - P_B$$

" Bomba Modelo CPs 620"

$$Q = V \dot{w}_1$$

"Switching variables"

$$"V2 = 0.6874[\text{m/s}]"$$

$$y1 = (2 * 10^8) \left[ \frac{\text{s}^3}{\text{m}^8} \right]$$

$$y2 = 271540 \left[ \frac{\text{s}^2}{\text{m}^5} \right]$$

$$y3 = 2535.6 \left[ \frac{\text{s}}{\text{m}^2} \right]$$

Ecuación de altura versus caudal de la bomba utilizada

$$H = -y1 * (Q^3) - y2 * (Q^2) - y3 * Q + 34.077[\text{m}]$$

### 8.9.5. Análisis termodinámico 2

Este apartado calcula las pérdidas de calor en el tanque y tuberías de suministro de agua en función de la temperatura del tanque. Para ello se usa ecuaciones de transferencia de calor por convección externa del aire circundante.

"Heat Loss Tank"

"Case 1:  $Q_{out} = Q_{in}$ "

$$L3 = Lt$$

$$IDt = (700 - 15) * \text{convert}(\text{mm}, \text{m})$$

$$At = \pi * \frac{IDt^2}{4}$$

$$ODt = (700) * \text{convert}(\text{mm}, \text{m})$$

$$Velt * At = Q$$

$$Vol = 250 * \text{convert}(\text{L}, \text{m}^3)$$

$$Vol = At * Lt$$

$$\dot{m}_w = \rho_{ww} * At * Velt$$

$$\mu_w = \text{Viscosity}(\text{Water}, P = P, T = 40[\text{C}])$$

$$Pr_w = Prandtl(Water, P = P, T = 40[C])$$

$$k_w = Conductivity(Water, P = P, T = 40[C])$$

$$Re_{in3} = 4 * \frac{\dot{m} \cdot L_3}{IDt * \mu_w}$$

$$Ac3 = \pi * IDt * L3$$

$$k_{copper} = 385 \left[ \frac{W}{m * K} \right]$$

$$LD3 = \frac{L3}{IDt}$$

$$Nu_w = 0.023 * \left( Re_{in3}^{\frac{4}{5}} \right) * Pr_w$$

$$Nu_w = h_w * \frac{IDt}{k_w}$$

$$R_3 = \frac{LN\left(\frac{ODt}{IDt}\right)}{2 * \pi * L3 * k_{copper}}$$

$$R_{3in} = \frac{1}{h_w * Ac3}$$

$$R_{tot3} = R_3 + R_{3in}$$

$$k_{wool} = 0.042 \left[ \frac{W}{m * K} \right]$$

$$OD_{wool} = ODt + 2 * 0.04[m]$$

$$R_{wool} = 0 \left[ \frac{K}{W} \right]$$

$$R_{wool} = (LN(OD_{wool}/ODt)) / (2 * \pi * L3 * k_{wool})$$

insertar esta ecuación en caso de necesitar lana de roca como aislante

"Natural convection air"

$$h_{outw} = 25 \left[ \frac{W}{m^2} - K \right]$$

$$R_{outw} = \frac{1}{h_{outw} * Ac3}$$

$$RT = R_{tot3} + R_{outw} + R_{wool}$$

$$\Delta T = -(19 - 40)[K]$$

$$\frac{\Delta T}{RT} = Q_{tot}$$

$$Q_{tot} = \frac{19[C] - T_{sw}}{R_{outw}}$$

"HEAT LOSS PIPING SYS 1"

$$h_{wt} = 464.3 \left[ \frac{W}{m^2} - K \right]$$

$$c_{p_w} = Cp(Water, T = 40[C], P = P)$$

$$\dot{m}_{w1} = Q * \rho_{ww}$$

$$\frac{Q_{tot}}{Ac3} = Q_{lp}$$

$$-Q_{lp1} = L_{w1} * Q_{lp} * \pi * IDw$$

$$T_{mo} = 40[K] + \frac{Q_{lp1}}{\dot{m}_{w1} * c_{pw} * \text{convert}\left(\frac{kJ}{kg * K}, \frac{J}{kg * K}\right)}$$

$$\begin{aligned} & \text{"Water needed"} \\ & T = 40[C] \\ & T_{inf3} = 40[K] \\ & T_{ws} = T \\ & T_{wo} = T_{inf3} \\ & V_w = 250 * \text{convert}(L, m^3) \\ & \rho_w = \text{Density}(\text{Water}, T = T, P = P) \\ & m_w = \rho_w * V_w \\ & Q_w = m_w * c_{pw} * (T_{wo} - T_{ws}) \\ & \frac{Q_w}{Q_h * \text{convert}(W, kW)} = tn * 3600 \\ & Q_h = 4315[W] - Q_{lp1} - Q_{tot} \end{aligned}$$

### 8.9.6. Análisis termodinámico 3

Para este análisis se tiene el contraste de la simulación del sistema de calentamiento secundario. Los cálculos son mostrados a continuación. En estos se replica el sistema que consiste el calefón, se obtiene la misma velocidad por medio de los deflectores de flujo de agua y el ensanchamiento del diámetro hecho en la simulación de velocidad en CFD, esta es 60 cm/s.

#### Propiedades para análisis del calefón:

$$\rho = \text{Density}(\text{Water}, T = T1, P = P)$$

$$c_p = \text{Cp}(\text{Water}, T = T1, P = P)$$

#### Fórmulas:

$$W_{dot} = 220[V] * 30[A]$$

$$T1 = 21.5[C]$$

$$P = 1 * \text{convert}(\text{atm}, \text{kPa})$$

$$D = \frac{1}{2} * \text{convert}(\text{in}, \text{m})$$

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2$$

$$vol = vel * A$$

$$m = \rho * vol$$

$$W_{dot} = m * (T2 - T1) * cp$$

$$vel = 60 * convert(cm/s, m/s)$$

## 8.10. Apéndice 17: Diseño para manufactura

### 8.10.1. Lista de Partes

En la lista siguiente se identifican las partes que tienen lugar en el armado del sistema térmico. En ellos constan las unidades extra: el tanque de agua, las tuberías de PVC, calefón, tuberías de refrigerante y la estructura de apoyo (Bralla, 1999).

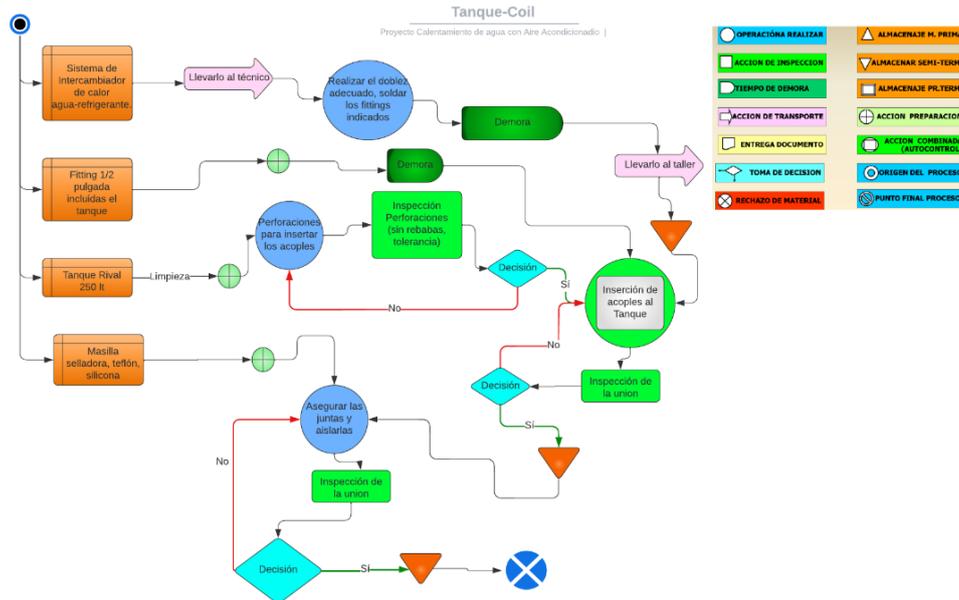
*Lista de partes del prototipo.*

Parte	Tecnología	Diagrama de Proceso
Estructura de apoyo	Artesanal	2.1.1.7
Calefón	Artesanal	2.1.1.6
Tuberías PVC	Artesanal	2.1.1.5
Tanque	N/A	—
Tuberías Cobre	Artesanal	2.1.1.8
Panel de control	N/A	—
Elementos electrónicos	N/A	—
Conexiones	N/A	—

### 8.10.2. Diagrama de Proceso

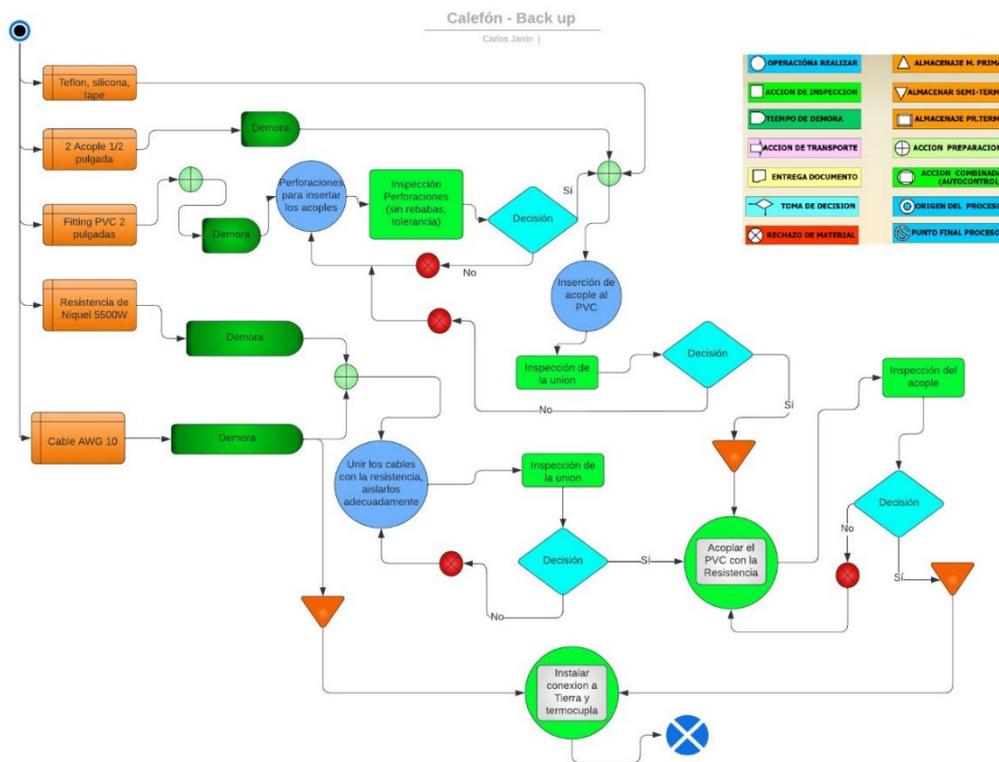
#### Tanque-Serpentín

Se muestra el diagrama de proceso del tanque en conjunto con el serpentín para la manufactura del subsistema.



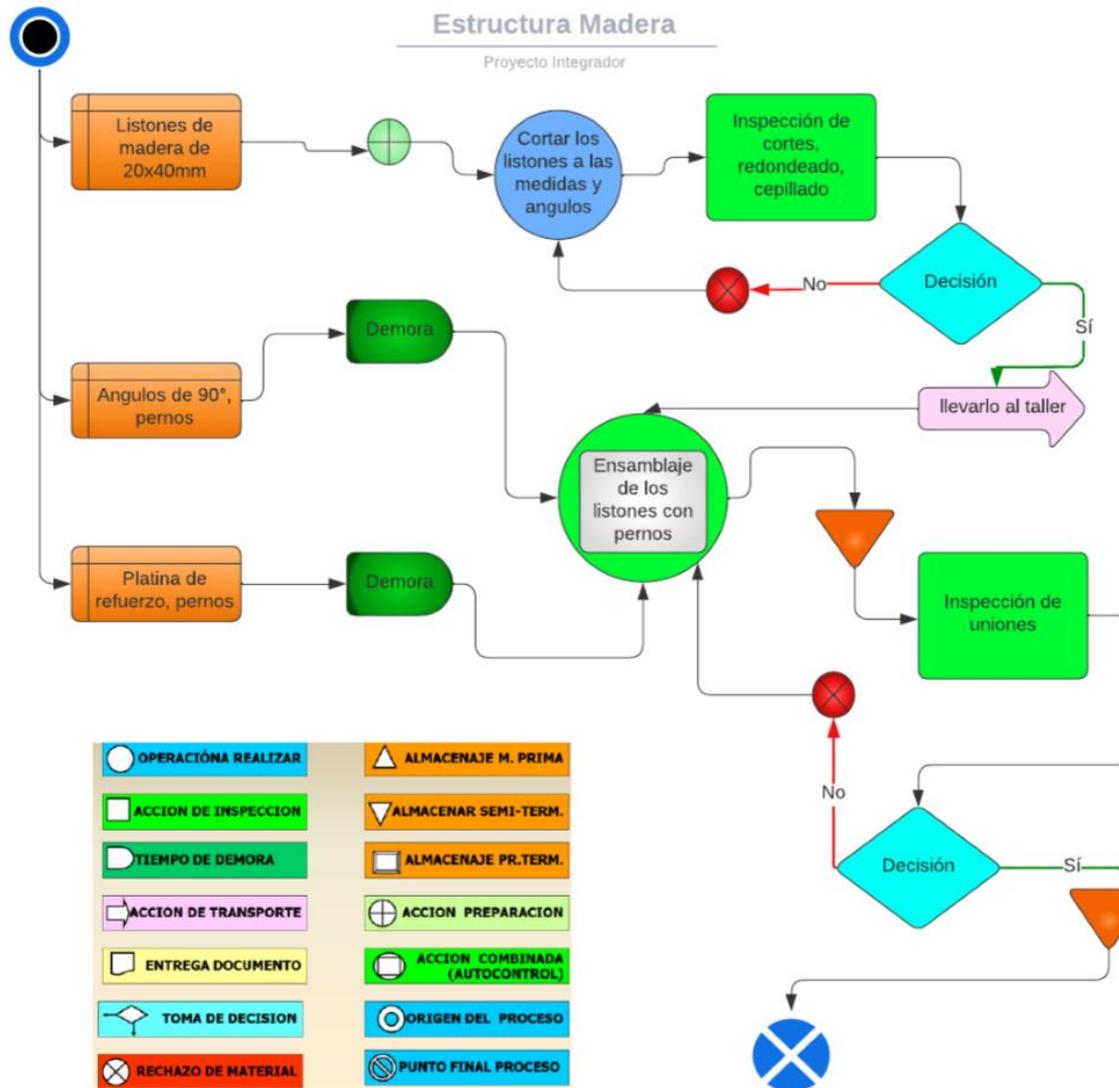
### Calefón - Respaldo

Se muestra el diagrama del proceso a seguir para construir el calefón eléctrico, tomando en cuenta que este es un componente que se fabrica desde cero.



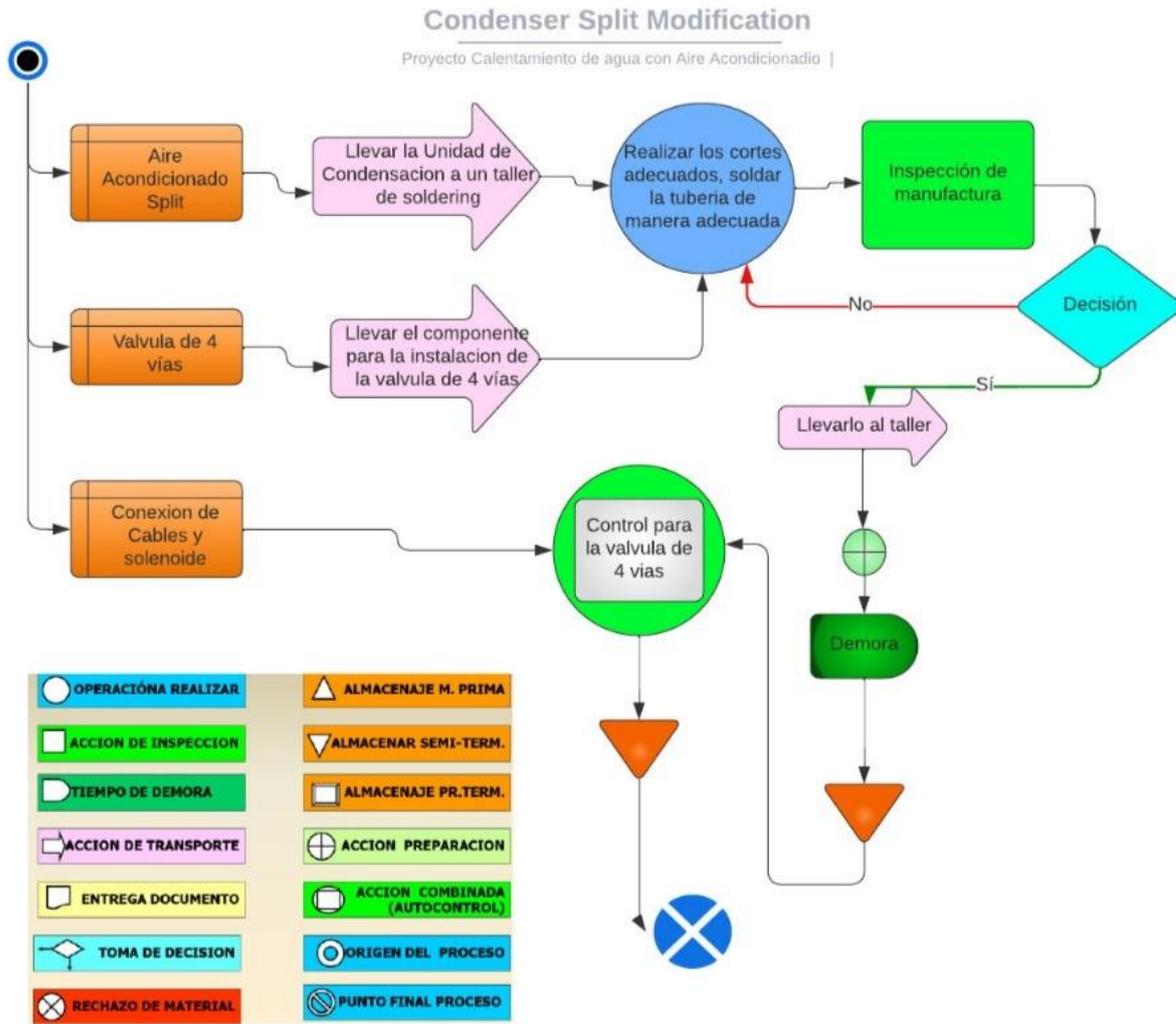
### Estructura Madera

Se muestra el flujograma para construir la estructura de madera.



### Modificación Condensador Split

A continuación, se muestra el flujograma para su fabricación, es importante notar que este tiene un apartado de fabricación a terceros, por la complejidad de la manufactura.



### 8.10.3. Calendario de Fabricación

Se muestra el calendario de fabricación. Es importante mantener el orden de los procesos, para evitar pérdida por falta de un subsistema anterior.

*Calendario para fabricación del prototipo*

Calendario de fabricación	Noviembre										D	
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Proceso de fabricación												
Elaboración de la estructura												
Creación de tuberías de R410A												
Sistema de tuberías PVC												
Unión del sistema térmico												
Implementación del sistema de control												
Verificación de tolerancias y experimentación												
Modificaciones para la instalación en la feria IME												

#### 8.10.4. Plan de verificación, dimensionamiento y tolerancias

En procesos de fabricación no tan complejos es suficiente que los elementos fabricados cumplan con unos intervalos de valores admisibles o tolerancias previamente especificadas para asegurar la funcionalidad del conjunto fabricado. (LÓPEZ RODRÍGUEZ, 2017)

Para el dimensionamiento de las piezas se ha tomado en cuenta utilizar una misma herramienta de medida. Para medidas mayores a los 20 cm, se usará un flexómetro marca Tactix. Mientras que para las mediciones menores a los 20 cm se utiliza un calibrador marca Mitutoyo capaz de medir hasta una décima de milímetro. Además, quien será encargado de tomar las mediciones será Carlos Jarrín, esto con el fin de garantizar mediciones constantes, y evitar los errores por apreciación del operador de la herramienta.



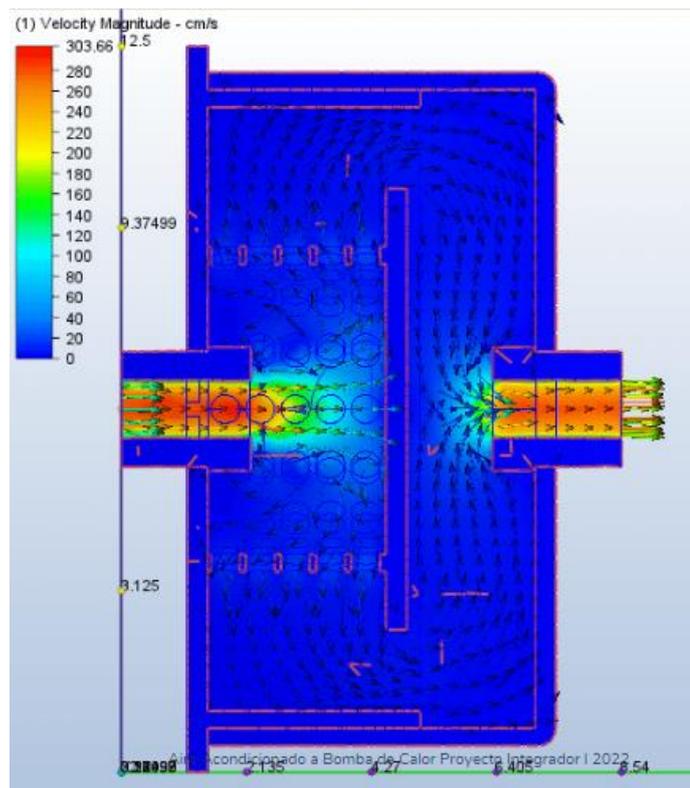
Para verificar que las dimensiones son adecuadas es necesario tomar las medidas antes, durante y después del ensamblado. Con el fin de evitar que las dimensiones no hayan sido alteradas por una mala manipulación de las piezas.

Las piezas que requieran un ajuste mayor serán verificadas con hasta un decimal de milímetro con ayuda del calibrador. Nuestro proyecto no requiere de ajustes precisos, sin embargo, una falla en el ajuste de tolerancias en las tuberías podría significar una fuga de refrigerante.

## 8.11. Apéndice 18: Simulaciones

### 8.11.1. Calefón

Las condiciones para determinar el flujo de agua dentro del calefón fueron una altura de bomba de 12.66 [m] misma que es la que ingresa al calefón reduciéndose a la salida de 0 [m] debido a que la ducha se encuentra a presión ambiente. Se muestra el flujo de agua en el calefón. Se puede observar que fluye a través de los laterales mejorando la absorción de calor por parte del agua cuando pasa por la resistencia.



Se encontró una caída de presión de 14.56 kPa, o 12.22mH<sub>2</sub>O, el cual se utilizó para el cálculo de la pérdida de presión en las tuberías. Además, como se muestra en la simulación, las líneas de flujo pasan por el reflector haciendo que el agua circule por la resistencia mejorando la transferencia de calor.

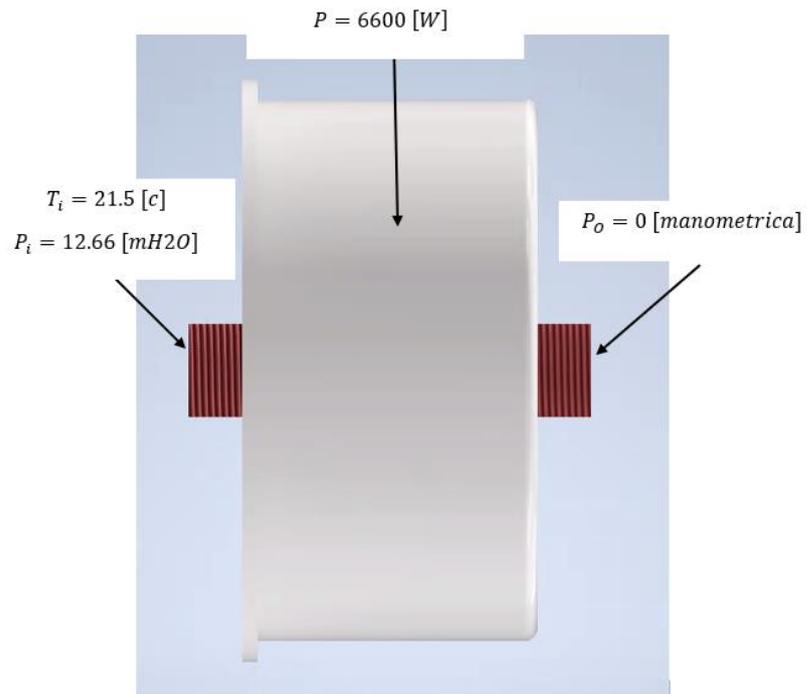
Adicionalmente, se realizó una segunda simulación que demuestre el intercambio de calor dentro del calefón entre el agua y la resistencia eléctrica. Donde las

condiciones que se utilizaron fueron idénticas a las que nos ayudaron a determinar el flujo, pero adicionando temperatura de entrada del agua (se utilizó propiedades del agua dentro del programa) que es de 21.5 °C, más la temperatura de la resistencia de níquel (se utilizó las propiedades térmicas del níquel) de 6600 W a 220[V]Adicionalmente, se consideró que el PVC, material externo del calefón, no absorbe calor de la resistencia.

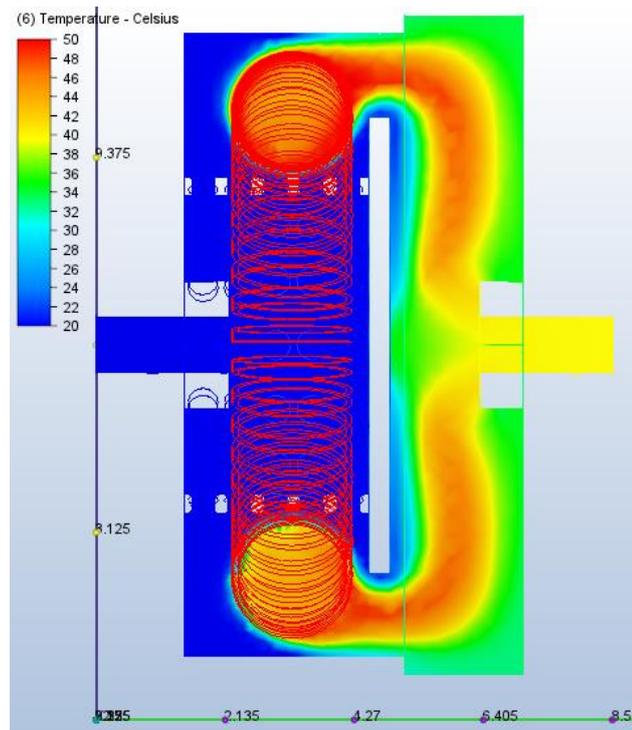
The image shows two side-by-side screenshots of a software interface for defining material properties. The left window is for 'Water' (Fluid) and the right window is for 'Nickel' (Solid).

Property	Water (Fluid)	Nickel (Solid)
Type	Fluid	Solid
Name	Water	Nickel
Save to database	Default	Default
Status	Saved	Saved
Color	Change...	Change...
Density	Piecewise Linear	8.9 g/cm <sup>3</sup>
Viscosity	0.01003 poise	Same as X-dir.
Conductivity	0.006 W/cm-K	0.907 W/cm-K
Specific heat	4.182 J/g-K	Same as X-dir.
Compressibility	Bulk modulus 2.18565e+10 dyne/cm <sup>2</sup>	Same as X-dir.
Emissivity	1	0.35
Wall roughness	0 centimeter	0
Phase	Water (Vapor)	Electrical resistivity 6.84e-06 ohm-cm
		Wall roughness 0 centimeter

En las Figuras se observan las propiedades de la resistencia y agua dulce, para realizar la simulación. Estas propiedades fueron dadas por defecto en CFD.



En la Figura se observa las condiciones iniciales que se utilizaron para realizar la simulación del calefón. Cabe recalcar que, para verificar la velocidad, en la primera simulación no se colocó la potencia de la resistencia.



A continuación, se incluyó la resistencia para verificar su funcionamiento y la distribución de temperatura al pasar por la resistencia del agua. Simulando un análisis termodinámico, se tomó en cuenta la potencia de la resistencia para generar un balance térmico y obtener la temperatura máxima que se puede obtener a la salida. Como se observa en la imagen de la simulación, la temperatura del agua aumenta conforme pasa por la resistencia alcanzando la temperatura que se necesita.

El balance térmico menciona que la temperatura que alcanza el agua es de 42.3[C] muy cercano a lo que se puede ver en la salida de la simulación.

### 8.11.2. Estructura

Material Editor: SEIQUE

Identity Appearance **Physical**

Thermal Conductivity 2,006E-06 btu/(in-sec°F)

Specific Heat 0,287 btu/(lb°F)

Thermal Expansion Coefficient 2,500E-06 inv °F

**Mechanical**

Behavior Isotropic

Young's Modulus 1,279E+06 psi

Poisson's Ratio 0,30

Shear Modulus 1,367E+05 psi

Density 0,019 pound per cubic inch

**Strength**

Species Seique

Strength Grade

Bending 1,556E+04 psi

Compression Parallel to Grain 4,736E+03 psi

Compression Perpendicular to Grain 5,831E+02 psi

Shear Parallel to Grain 1,160E+03 psi

Tension Parallel to Grain 9,427E+03 psi

Tension Perpendicular to Grain 5,511E+02 psi

Average Modulus 1,450E-03 psi

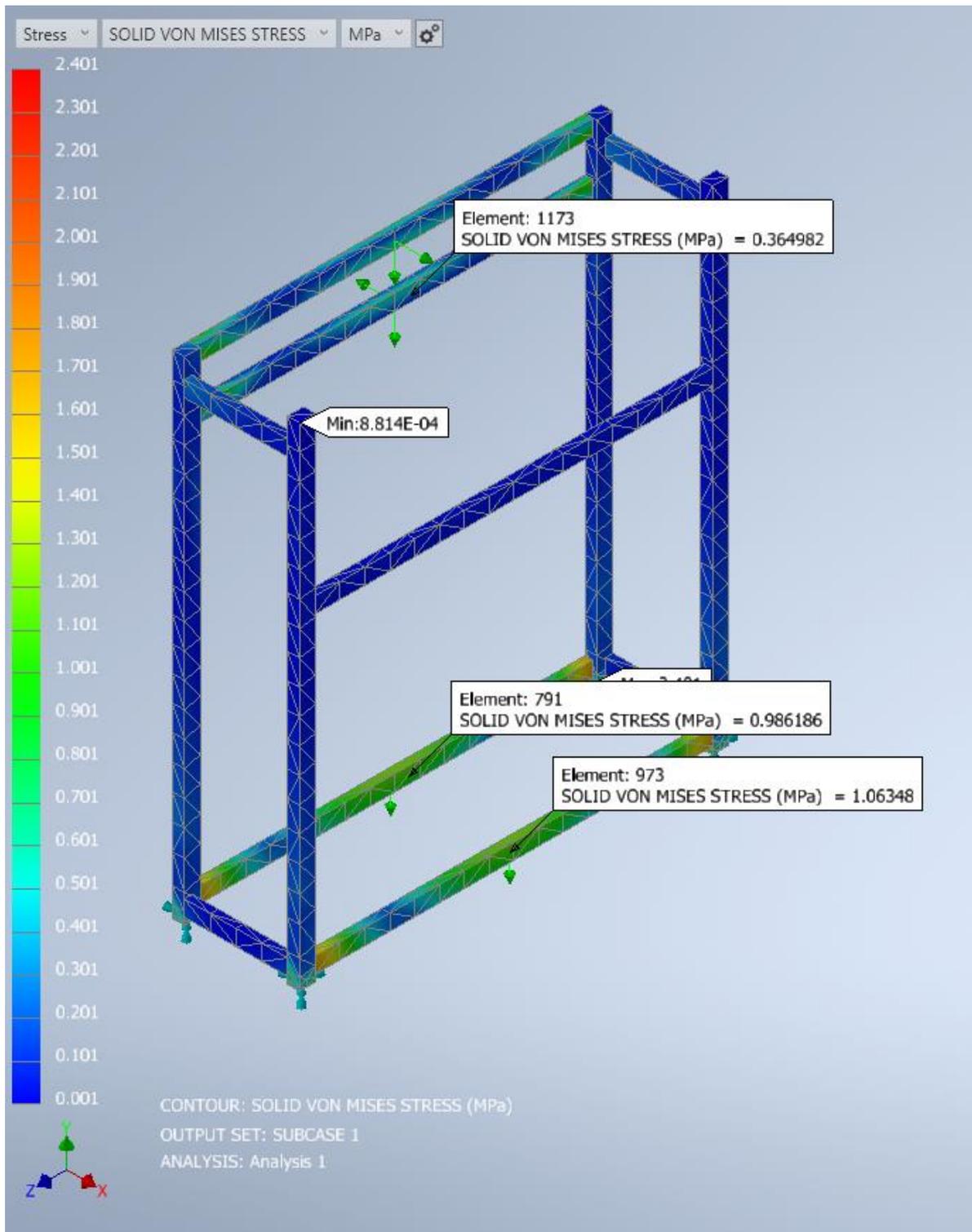
Construction Natural

Yield Strength 4,666E+03 psi

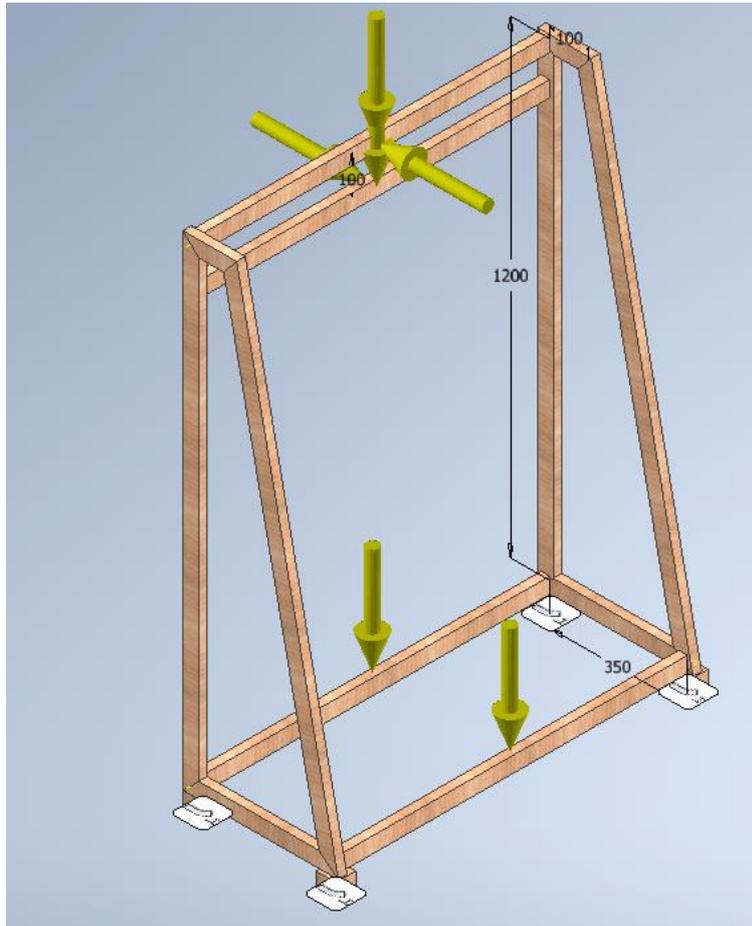
Tensile Strength 4,736E+03 psi

OK Cancel Apply

Adicionalmente, a ello se consideraron las cargas de los múltiples componentes, estas cargas son para la parte superior de 64.4 [N] correspondientes al evaporador del AC, con ello se consideraron cargas horizontales y opuestas, debido al centro de gravedad del evaporador, de 27.7 [N] cada una. Finalmente, en la parte inferior una carga de 254.8 [N] que corresponde al peso del condensador del aire AC.



En la simulación se puede observar la distribución de cargas en toda la estructura, como los esfuerzos de Von Mises siendo el máximo de 2.4 [MPa], inferior al  $S_y$  del Seique que es de 32.16 [MPa], teniendo un factor de seguridad por encima de 1.2 que es lo recomendable.



En la imagen se puede observar el primer diseño de la estructura misma que no se realizó por facilidad de manufactura. Al poseer cortes en ángulos y uniones no metálicas

### 8.12. Apéndice 19: Sistema de control

Estos valores serán mostrados en la pantalla LCD y serán procesados por el Arduino UNO. La conexión tiene un control ON/OFF con 3 relés de estado sólido a la derecha para, el arranque de la bomba, la resistencia eléctrica y la bobina de la válvula de 4 vías de refrigerante.

