

**GENERADOR ATMOSFÉRICO DE AGUA POTABLE DESTINADO A USO  
RESIDENCIAL EN LA CIUDAD DE POPAYÁN**



**Autor**

**WILLIAM ANDRÉS OVIEDO JIMÉNEZ**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
POPAYÁN  
2016**

**GENERADOR ATMOSFÉRICO DE AGUA POTABLE DESTINADO A USO  
RESIDENCIAL EN LA CIUDAD DE POPAYÁN**



**Autor**

**WILLIAM ANDRÉS OVIEDO JIMÉNEZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA**

**ING. JULIO ANDRÉS MOSQUERA BOLAÑOS**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
POPAYÁN  
2016**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El director y los jurados del trabajo de grado modalidad trabajo de investigación denominada: **GENERADOR ATMOSFÉRICO DE AGUA POTABLE DESTINADO A USO RESIDENCIAL EN LA CIUDAD DE POPAYÁN**. Realizado por el estudiante William Andrés Oviedo Jiménez, una vez revisado el informe final y aprobada la sustentación del mismo, autorizan para que se realicen los trámites concernientes para optar por el título profesional de ingeniería electrónica.

---

**Jonhattan Alberto Jojoa Bolaños**

**Jurado**

---

**John Robert Muñoz Chávez**

**Jurado**

---

**Julio Andrés Mosquera Bolaños**

**Director**

Popayán, 2016.

## **DEDICATORIA**

Dedico de manera especial a una persona muy importante en mi vida, y aunque ya no se encuentre físicamente conmigo, yo sé que en todo momento al desarrollar este trabajo estuvo conmigo, en las investigaciones, en mis desvelos, en mis momentos más difíciles, por eso a ti Héctor Willian Oviedo Rodríguez padre querido te dedico mi esfuerzo donde te encuentres, te amo, porque algún día nos volveremos a encontrar asimismo a mi madre Enith Rocio Jiménez Puentes por su sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera para nuestro futuro y por creer en mi capacidad, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre ha estado brindándome su comprensión, cariño y amor.

A mi familia, que, con su amor, abrazos, castigos y miradas, dieron sus frutos y me ayudaron a llegar donde estoy. Han sido un verdadero apoyo en cada aventura que decido emprender y lo seguirán siendo.

A mi director de tesis Ing. Julio Andrés Mosquera Bolaños, por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia en un marco de confianza, afecto y amistad, fundamentales para realizar este trabajo.

A mis amigos y amigas, quienes siempre han estado en los momentos en que los he necesitado.

A todas aquellas personas que durante este tiempo estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se hiciera realidad.

**Con cariño,  
William Andrés Oviedo Jiménez**

## Contenido

pág.

LISTA DE TABLAS .....	7
LISTA DE ILUSTRACIONES .....	8
LISTA DE ANEXOS .....	11
RESUMEN .....	10
ABSTRACT .....	10
INTRODUCCIÓN .....	5
<b>CAPÍTULO I: CONTEXTO GENERAL .....</b>	<b>6</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	6
1.2 OBJETIVOS .....	7
1.2.1 General.....	7
1.2.2 Específicos .....	7
1.3 Estado actual del conocimiento .....	7
1.3.1 Marco conceptual .....	7
1.3.2 Funcionamiento de los dispositivos deshumidificantes .....	8
1.3.3 Descripción de una placa termoeléctrica.....	11
1.3.4 Elementos que constituyen una placa Peltier.....	12
1.4 ANTECEDENTES.....	12
1.4.1 Condensación del agua.....	12
1.4.2 Sistemas de refrigeración existentes.....	13
1.4.3 Potabilidad del agua.....	14
<b>CAPITULO II. FUNDAMENTACIÓN MATEMÁTICA .....</b>	<b>16</b>
2.1 Placas Peltier.....	16
2.1.1 Efecto Peltier .....	16
2.1.2 Efecto Joule.....	17
2.1.3 Efecto Fourier .....	18
2.1.4 Efecto Thomson .....	18
2.1.5 Transferencia de energía .....	20
2.1.6 Factor de merito .....	22
2.1.7 Eficiencia de dispositivos.....	22
2.1.8 Consumo de energía .....	24

2.2 Elementos del clima.....	25
2.2.1 Humedad relativa .....	25
2.2.2 Humedad absoluta .....	26
2.2.3 Humedad específica.....	27
2.2.4 Razón de mezcla.....	27
2.2.5 Temperatura de saturación o punto de rocío.....	27
2.2.6 Condensación .....	28
2.2.7 Evaporación .....	28
2.2.8 Presión de vapor .....	28
2.2.9 Presión atmosférica.....	30
2.2.10 Aire seco y húmedo.....	31
2.2.11 Calor latente .....	32
2.2.12 Calor sensible.....	34
2.2.13 Calor específico.....	34
2.3 Ventilador .....	35
2.3.1 Leyes del ventilador.....	35
2.3.2 Presión estática.....	35
2.3.3 Presión dinámica.....	35
2.3.4 Presión total .....	35
2.3.5 Clasificación de ventiladores .....	36
<b>CAPÍTULO III: DISEÑO DEL GENERADOR ATMOSFÉRICO DE AGUA POTABLE</b>	
.....	39
3.1 Módulo de enfriamiento termoeléctrico.....	39
3.1.1 Placas Peltier y disipadores de calor.....	39
3.1.2 Bloques de enfriamiento.....	41
3.1.3 Módulo de aislamiento.....	44
3.2 Módulo de condensación.....	46
3.3 Diseño de la estructura de soporte.....	51
3.4 Diseño de filtros de agua .....	52
3.4.1 Filtro cerámico.....	53
3.4.2 Filtro multicapas .....	53
3.4.3 Piedra Mineral .....	54
3.5 Módulo de circuitería .....	55

3.6 Panel de mando.....	60
3.7 Controlador On/Of .....	61
<b>CAPITULO IV: IMPLEMENTACION .....</b>	<b>63</b>
4.1 Modulo de enfriamiento termoeléctrico .....	63
4.1.1 Placas Peltier y disipadores de calor.....	63
4.1.2 Bloques de enfriamiento.....	65
4.1.3 Módulo de aislamiento.....	66
4.2 Modulo de condensación.....	68
4.3 Filtros de agua para potabilizar humedad atmosférica .....	72
4.4 Estructura del Generador de Agua Potable .....	72
4.5 Software y panel de mando .....	73
<b>CAPÍTULO V: RESULTADOS .....</b>	<b>81</b>
5.1 Presentación de los resultados obtenidos en la investigación.....	81
5.2 Pruebas de enfriamiento del líquido refrigerante .....	81
5.3 Pruebas de condensación en serpentín de cobre .....	85
5.3.1 Prueba 1 .....	87
5.3.2 Prueba 2 .....	88
5.3.3 Prueba 3 .....	88
5.3.4 Prueba 4 .....	88
5.4 Controlador de nivel.....	89
5.5 Consumo de energía de los elementos .....	89
5.6 Análisis del agua.....	90
<b>CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>95</b>
Bibliografía.....	97
Anexos.....	103

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tensiones máximas de saturación del vapor de agua.....	30
<b>Tabla 2.</b> Calor latente de diferentes sustancias.....	33
<b>Tabla 3.</b> Punto de fusión normal(PF), calor latente de fusión Lf, punto de ebullición normal(PE), y calor latente de vaporización Le, para varias sustancias a 1 atm ...	33
<b>Tabla 4.</b> Calor específico de las sustancias.....	34
<b>Tabla 5.</b> Características de los ventiladores axiales .....	37
<b>Tabla 6.</b> Características de ventiladores centrífugos.....	38
<b>Tabla 7.</b> Consumo energético de los componentes.....	90
<b>Tabla 8.</b> Resultados de análisis del agua .....	93
<b>Tabla 9.</b> Valores mínimos de temperatura y humedad relativa para condensación de agua con temperatura de rocío de 0°C .....	114



## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Sistema deshumidificador con compresor .....	8
<b>Ilustración 2.</b> Sistema deshumidificador desecante .....	9
<b>Ilustración 3.</b> Sistema deshumidificador Peltier.....	10
<b>Ilustración 4.</b> Generador atmosférico de agua potable.....	11
<b>Ilustración 5.</b> Módulo Peltier .....	12
<b>Ilustración 6.</b> Diagrama de circuito de termopar.....	17
<b>Ilustración 7.</b> Efecto Joule .....	17
<b>Ilustración 8.</b> Efecto Fourier .....	18
<b>Ilustración 9.</b> Efecto Thompson.....	19
<b>Ilustración 10.</b> Transferencia de potencia en una placa Peltier.....	21
<b>Ilustración 11.</b> Disipador de aluminio y placa Peltier .....	40
<b>Ilustración 12.</b> Disipador de aluminio y ventilador .....	41
<b>Ilustración 13.</b> Turbulencia en bloque de enfriamiento.....	42
<b>Ilustración 14.</b> Diseño CAD de un bloque de enfriamiento.....	42
<b>Ilustración 15.</b> Bloque de enfriamiento con lámina de cobre.....	43
<b>Ilustración 16.</b> Sistema de enfriamiento Peltier .....	43
<b>Ilustración 17.</b> Nevera plástica portátil de 10 litros de capacidad.....	44
<b>Ilustración 18.</b> Almacenamiento de líquido refrigerante. ....	45
<b>Ilustración 19.</b> Módulo de enfriamiento termoeléctrico .....	46
<b>Ilustración 20.</b> Diseño CAD de un módulo de condensación .....	47
<b>Ilustración 21.</b> Extractor de aire con serpentín de cobre en tubería PVC.....	48
<b>Ilustración 22.</b> Aislamiento térmico y contenedor plástico.....	48
<b>Ilustración 23.</b> Flujo de aire en el módulo de condensación.....	49
<b>Ilustración 24.</b> Comunicación entre módulo de enfriamiento termoeléctrico y módulo de condensación .....	50
<b>Ilustración 25.</b> Estructura de soporte.....	51
<b>Ilustración 26.</b> Filtros de agua .....	52
<b>Ilustración 27.</b> Comunicación entre módulo de comunicación y filtros de agua ...	55
<b>Ilustración 28.</b> Regulador de tensión 7805.....	56

<b>Ilustración 29.</b> Leds indicadores de nivel para el tanque de almacenamiento .....	57
<b>Ilustración 30.</b> Decodificador BCD a 7 segmentos .....	58
<b>Ilustración 31.</b> Circuito para accionar bombas de agua sumergible .....	58
<b>Ilustración 32.</b> Circuito PWM para un motor DC.....	59
<b>Ilustración 33.</b> Módulo de circuitos .....	60
<b>Ilustración 34.</b> Diseño CAD del Panel Mando .....	61
<b>Ilustración 35.</b> Nivel del tanque con sensor de ultrasonido .....	62
<b>Ilustración 36.</b> Adquisición de placas Peltier .....	63
<b>Ilustración 37.</b> Disipador de calor en aluminio.....	64
<b>Ilustración 38.</b> Sistema para sujetar las placas Peltier al disipador de aluminio...	64
<b>Ilustración 39.</b> Sistema de enfriamiento Peltier. ....	65
<b>Ilustración 40.</b> Bloques de enfriamiento .....	66
<b>Ilustración 41.</b> Nevera plástica portátil con líquido refrigerante .....	66
<b>Ilustración 42.</b> Módulo de refrigeración termoeléctrica y módulo de filtros.....	67
<b>Ilustración 43.</b> Módulo de enfriamiento termoeléctrico .....	68
<b>Ilustración 44.</b> Serpentin en módulo de condensación.....	68
<b>Ilustración 45.</b> Módulo de condensación .....	69
<b>Ilustración 46.</b> Módulo de condensación visto desde arriba .....	70
<b>Ilustración 47.</b> Acople en llave de paso .....	71
<b>Ilustración 48.</b> Comunicación entre módulo de enfriamiento termoeléctrico y módulo de condensación .....	71
<b>Ilustración 49.</b> Filtros para potabilizar agua.....	72
<b>Ilustración 50.</b> Generador atmosférico de agua implementado .....	73
<b>Ilustración 51.</b> Panel de mando implementado .....	74
<b>Ilustración 52.</b> Interfaz gráfica de usuario desarrollada en Visual Studio .....	75
<b>Ilustración 53.</b> Ingreso de altura en interfaz gráfica de usuario .....	76
<b>Ilustración 54.</b> Significado de colores en temperatura y humedad relativa .....	77
<b>Ilustración 55.</b> Calculadora simple y expandida .....	78
<b>Ilustración 56.</b> Interfaz gráfica de usuario, graficas de un registrador de datos ...	79
<b>Ilustración 57.</b> Resultados de enfriamiento de 2 litros de líquido refrigerante con una Peltier TEC1-12706 .....	81

<b>Ilustración 58.</b> Resultados prueba de enfriamiento de líquido.....	82
<b>Ilustración 59.</b> Condiciones climáticas para prueba con placas Peltier TEC1-12715 .....	83
<b>Ilustración 60.</b> Manguera del modulo termoelectrico con rocío .....	84
<b>Ilustración 61.</b> Resultados prueba de enfriamiento de líquido.....	84
<b>Ilustración 62.</b> Resultados prueba de enfriamiento de líquido refrigerante .....	85
<b>Ilustración 63.</b> Diferentes diámetros del serpentín en proceso de condensación	86
<b>Ilustración 64.</b> Temperatura del líquido refrigerante en proceso de condensación .....	87
<b>Ilustración 65.</b> Caracterización de sensor de ultrasonido .....	89
<b>Ilustración 66.</b> Ausencia de coliformes fecales en muestra de agua sin filtros.....	92
<b>Ilustración 67.</b> Ausencia de coliformes fecales en muestra de agua con filtro .....	92

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b> Información de consumo promedio en la ciudad de Popayán .....	103
<b>Anexo B.</b> Información relacionada con el número de habitantes de la ciudad de Popayán.....	105
<b>Anexo C.</b> Diseño e implementación de un prototipo que permite condensar humedad atmosférica .....	107
<b>Anexo D.</b> Diseño CAD de un segundo prototipo para la condensación de humedad atmosférica, fuente: propia .....	114
<b>Anexo E.</b> Implementación de un generador atmosférico de agua utilizando un sistema de refrigeración con compresor .....	118
<b>Anexo F.</b> Condiciones climáticas de la ciudad de Popayán obtenidas mediante el registrador de datos implementado.....	122
<b>Anexo G.</b> Diseño software en Arduino .....	1320

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación es diseñar e implementar un generador atmosférico de agua potable que permita suministrar agua apta para el consumo en lugares donde es escasa. Para ello primero se elaboraron diseños asistidos por computador (CAD), luego se realizó la implementación de hardware para realizar pruebas de funcionamiento y finalmente se sometió el agua obtenida a análisis de laboratorio que permitieron validar su potabilidad.

El capítulo I muestra, el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos, el estado actual del conocimiento; el capítulo II presenta, las leyes físicas y el desarrollo matemático, necesario para la condensación de humedad atmosférica con ayuda de placas Peltier; el capítulo III exhibe y explica toda la instrumentación electrónica y mecánica necesaria para el desarrollo de este proyecto; el capítulo IV describe, la implementación del generador atmosférico de agua; el capítulo V presenta las pruebas realizadas y el funcionamiento del prototipo, finalmente el capítulo VI expone las conclusiones obtenidas y recomendaciones para posteriores trabajos.

**Palabras claves:** Condensación, diseño, humedad, implementación y potabilidad.

## ABSTRACT

The objective of this research work is to design and implement an atmospheric generator of potable water that allows to supply water suitable for consumption in places where it is scarce. For this purpose, computer-aided designs (CAD) were first developed, then hardware implementation was performed to perform functional tests and finally the water obtained was subjected to laboratory analysis that allowed to validate its potability.

Chapter I shows, the approach of the problem, the general and specific objectives, the current state of knowledge; Chapter II presents the physical laws and the mathematical development necessary for the condensation of atmospheric humidity with the help of Peltier plates; Chapter III shows and explains all the electronic and mechanical instrumentation necessary for the development of this project; Chapter VI describes the implementation of the atmospheric water generator; Chapter V presents the tests carried out and the operation of the prototype, finally Chapter VI presents the conclusions obtained and recommendations for further work.

**Keywords:** Condensation, design, humidity, implementation and potability.

## INTRODUCCIÓN

El Niño es un fenómeno el cual se produce por una variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacífico. Se debe a la aparición de aguas superficiales relativamente más cálidas de lo normal en el Pacífico central y oriental [1]. Colombia es un país el cual ha tenido que enfrentar en el pasado consecuencias negativas del fenómeno del Niño, las principales afectaciones de este fenómeno son el déficit del recurso hídrico además de sequías e incendios forestales, aspectos que comprometen el funcionamiento de procesos fundamentales del país en varios sectores [2].

No solo las condiciones climáticas adversas son causantes de la ausencia de agua potable en Colombia, actividades como la minería ilegal contaminan afluentes hídricos lo que limita el acceso a las comunidades al agua potable [3]. El uso de mercurio en estas actividades mineras es actualmente una gran problemática para la salud de los seres vivos [4] que deben consumir agua contaminada con este elemento.

Existen diversos métodos para obtener agua potable del medio ambiente [5] [6] [7], entre los métodos existentes la condensación por vapor de agua es una buena alternativa puesto que no requiere que la instrumentación esté ubicada cerca de un afluente hídrico. Para lograr que el vapor de agua se condense se usan celdas Peltier que en conjunto con filtros y sistemas de disipación permiten la obtención de agua apta para el consumo humano.

## **CAPÍTULO I: CONTEXTO GENERAL**

En este capítulo se realizará un resumen acerca del planteamiento del problema, los objetivos del proyecto, el estado actual del conocimiento y la instrumentación implicada en el proyecto; Necesarios para conocer los fundamentos teóricos más importantes para entender y llevar a cabo el desarrollo de este proyecto.

### **1.1 Planteamiento del problema**

En Colombia hay municipios los cuales aún no cuentan con acceso al agua potable [8], a esto se suma la presencia del fenómeno del niño en el país generando sequias en la mayor parte del territorio colombiano, desde julio del 2014, el cual pondrá a prueba los organismos de gestión de riesgo [2].

Otro factor influyente en la escasez de agua potable es la minería, debido al uso inadecuado de los recursos naturales. La minería solo contribuye a la desaparición de ecosistemas, contaminación de las fuentes hídricas generando grandes problemas ambientales para la sociedad [3].

El uso de sustancias tóxicas como el mercurio y el cianuro en actividades mineras es actualmente una problemática para la salud de los seres vivos [9] que deben consumir peces que presentan altos niveles de mercurio [10].

Teniendo en cuenta la problemática existente en el país y en el departamento del cauca se formula la siguiente pregunta: ¿Cómo se puede obtener agua potable sin necesidad de una fuente hídrica en la ciudad de Popayán?

Para responder a esta pregunta de investigación se presentan los objetivos de este proyecto que son los siguientes:



## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 General**

Implementar un prototipo de un generador de agua atmosférico que permita la obtención de 2 litros diarios de agua potable para consumo, por medio de la condensación del aire.

### **1.2.2 Específicos**

- Diseñar el sistema mecánico de la máquina para la producción de agua potable para consumo.
- Implementar el sistema de refrigeración del generador atmosférico de agua.
- Diseñar un controlador de nivel para no exceder los límites del sistema de almacenamiento del agua condensada.
- Implementar el software de control del generador atmosférico en Arduino.

## **1.3 Estado actual del conocimiento**

A continuación, se realiza un resumen explicativo acerca del contenido y la instrumentación implicada en el proyecto. Información de la cual se partirá, para desarrollar el Prototipo de un generador de agua atmosférico. Por último, se mencionarán algunos trabajos relacionados con el proyecto.

### **1.3.1 Marco conceptual**

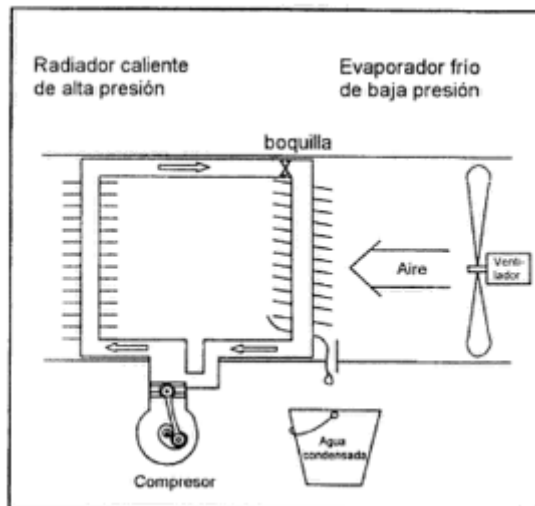
Existen lugares en Colombia los cuales presentan una humedad relativa muy alta [11]. En estas zonas el generador atmosférico de agua serviría como un sistema para obtener agua potable sin necesidad de una fuente hídrica.

### 1.3.2 Funcionamiento de los dispositivos deshumidificantes

Existen dos tipos fundamentales de sistemas los cuales se utilizan para desecar el aire. Los que trabajan con compresor y los que no requieren de un compresor para eliminar la humedad del aire.

#### 1.3.2.1 Deshumidificadores refrigerantes (con compresor)

De forma general el funcionamiento del sistema empieza con un ventilador el cual se encarga de aspirar grandes cantidades de aire hasta su interior en donde se lleva hasta un evaporador o en algunos diseños se utiliza un radiador que se encuentra a una temperatura menor a la temperatura de rocío, gracias a la circulación de un gas refrigerante por el sistema. El vapor de agua al pasar por este sistema se condensa y se separa del aire cayendo en forma de gotas en un tanque de almacenamiento [12]. Este proceso se expone en la Ilustración 1.

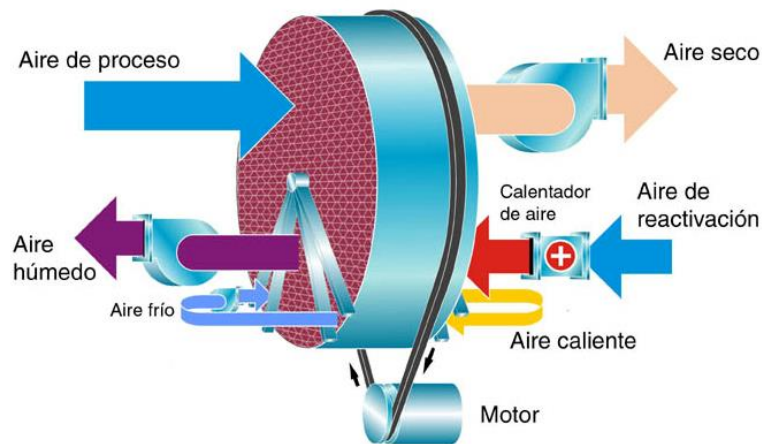


**Ilustración 1.** Sistema deshumidificador con compresor, fuente: tomado de [12]

#### 1.3.2.2 Deshumidificadores desecantes (gel de sílice)

Estos sistemas no necesitan de un compresor ni refrigerantes que contaminan el ambiente. El aire es aspirado y llevado hasta un condensador que dispone un rotor impregnado con un material altamente higroscópico, llamado desecante,

generalmente gel de sílice, que absorbe el agua. Por otra parte, existe un circuito de aire que realiza la función de secado del gel de sílice. Especialmente diseñados para ambientes fríos (incluso por debajo de cero grados) [13]. Su funcionamiento se muestra en la Ilustración 2.



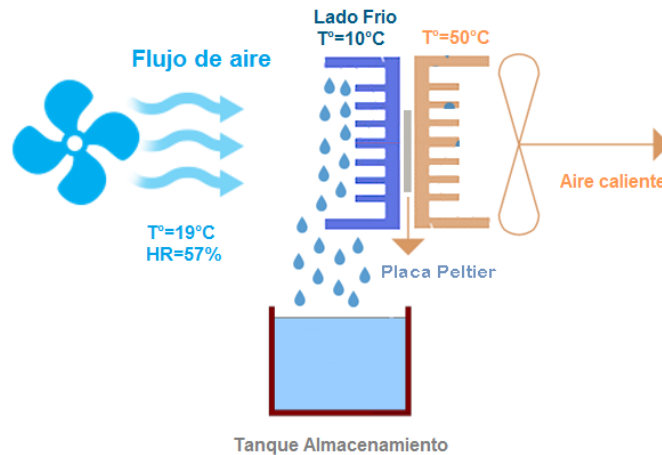
**Ilustración 2.** Sistema deshumidificador desecante, fuente: tomado de [13]

### 1.3.2.3 Deshumidificadores termoelectricos

Existen también modelos termoelectricos como el mini deshumidificador. Este aparato es muy compacto y emplea un elemento termoelectrico para eliminar la humedad del aire sin necesidad de un compresor voluminoso. El dispositivo termoelectrico es más silencioso y usa menos energía que los aparatos tradicionales que funcionan con un compresor. Sin embargo, presentan poca capacidad de extracción, puesto que, al ser más pequeños que los deshumidificadores con compresor y deshumidificadores con rueda desecante, estos solo pueden condensar según las condiciones climáticas, aproximadamente uno a cinco litros al día [14].

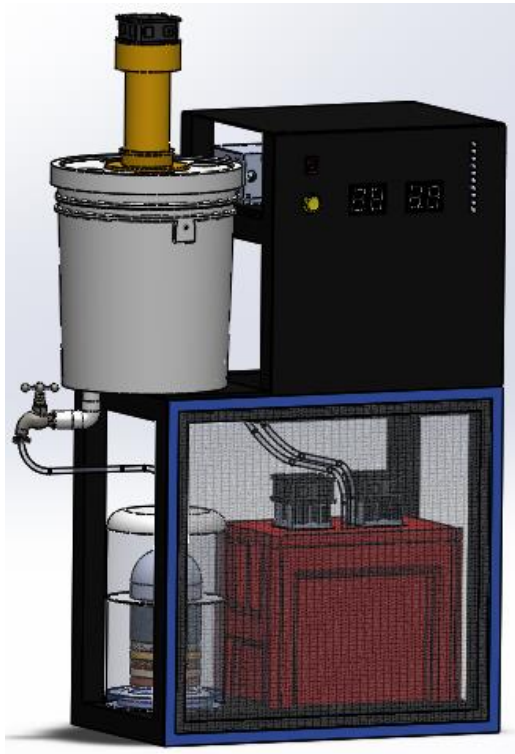
Su funcionamiento se expone en la Ilustración 3. En donde la placa Peltier es instalada en medio de dos disipadores de aluminio, el primero para disipar el calor hacia el ambiente y el segundo se encuentra en contacto con el lado frio de la placa

Peltier. Cuando el aire atmosférico entra en contacto con el dissipador que se encuentra frío se produce un fenómeno llamado condensación. El vapor de agua una vez se condensa se separa del aire y cae en un recipiente donde se almacena.



**Ilustración 3.** Sistema deshumidificador Peltier, fuente: propia

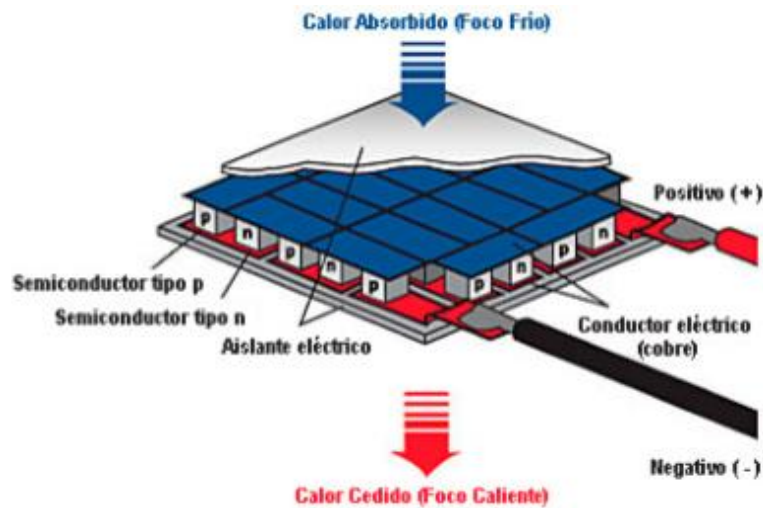
Para este proyecto se eligió un modelo termoeléctrico Peltier [15] porque presenta un consumo energético 35% menor que el deshumidificador con compresor [12] y no requiere el uso de un gas contaminante [16], escogiendo demás elementos para su funcionamiento según requerimientos del proyecto y su finalidad. El sistema y todos sus componentes aparecen en la Ilustración 4. En el capítulo III se explica en detalle todos sus componentes.



**Ilustración 4.** Generador atmosférico de agua potable, Fuente: Propia

### **1.3.3 Descripción de una placa termoeléctrica**

las placas termoeléctricas poseen como base una superficie cerámica sobre la cual se instalan semiconductores N y P, para el funcionamiento de la placa estos elementos deben estar eléctricamente en serie, pero térmicamente en paralelo [17]. Al aplicar una corriente eléctrica continua a una placa termoeléctrica, el calor se transmite a través del termoelemento desde una cara hasta la otra. El calor existente en una de las caras (foco frío) se extrae y se bombea a la otra cara (foco caliente). Por tanto, se presenta un diferencial de temperatura en el elemento en cuestión. La Ilustración 5 se pueden observar los elementos que componen un elemento termoeléctrico.



**Ilustración 5.** Módulo Peltier, fuente: tomado de: [18]

### 1.3.4 Elementos que constituyen una placa Peltier

Las células convencionales que se comercializan en el mercado, esencialmente están compuestas por dos tipos de elementos semiconductores telurio de bismuto, y el seleniuro de antimonio [19]. Las placas cerámicas dispuestas en ambas caras llevan pistas de cobre que permiten unir los semiconductores eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo [20].

## 1.4 ANTECEDENTES

### 1.4.1 Condensación del agua

En [21] el documento describe las notaciones básicas a tener en cuenta con respecto al aire y cálculo de variables que determinan su estado, no obstante, solo aporta conceptos teóricos y no existe ningún aporte práctico.

En [22] se plantea un método para el cálculo de la masa condensada para un sistema activo de extracción de agua atmosférica del tipo fontanero. Esto para ambientes con humedades relativas inferiores al 100% y temperaturas de latitudes

intertropicales, no obstante, es solo un pronóstico teórico al no existir la construcción de una máquina para obtener la humedad del aire.

En [23] el artículo describe el diseño, construcción y ensayo de un sistema para condensar agua de la humedad atmosférica. El condensador que ha resultado de la experiencia es de una producción limitada. En circunstancias atmosféricas óptimas se han llegado a obtener 110 gramos de condensado sobre una superficie aproximada de  $1m^2$  por consiguiente no es una buena aproximación metodológica para el proyecto.

#### **1.4.2 Sistemas de refrigeración existentes**

En [24] se describe “un estudio experimental ha sido llevado a cabo en una rueda desecante con el objetivo de mostrar la influencia de las condiciones ambientales, en el comportamiento de este sistema. Temperatura, humedad relativa fueron medidas y se muestran los perfiles de estos parámetros en el proceso de deshumidificación. La información experimental obtenida fue comprada con los datos reportados por otros autores que estudian este tema”; no obstante, la rueda desecante no es un buen elemento para el sistema de refrigeración debido a su alto consumo de corriente.

En [25] se describe como hacer un sistema de refrigeración mediante el uso de fuentes de energías renovables, como la energía solar, “Este documento ofrece una visión sintetizada de una variante de “frío solar”, la climatización por absorción. En el mismo se explican los fundamentos termodinámicos, características de sus elementos principales, análisis de mercado, los costos actuales y prospectivos. Además, se exponen barreras que impiden el crecimiento de esta tecnología. Por último, se hace alusión a ejemplos prácticos de instalaciones en algunos países.”

No obstante, al ser una tecnología reciente, su aplicabilidad se hace compleja y no se cuenta con el tiempo suficiente para su implementación.

En [26] se describe el impacto ambiental de los refrigerantes utilizados en sistemas de refrigeración además de los convenios que han existido a causa de dicha problemática.

En [27] se describe la “captación por condensación del vapor de agua de la atmósfera, con el prototipo higroimán CP-HI-03, que induce las condiciones del punto de rocío. En el estudio, realizado en la Ciudad de México del 14 de marzo al 3 de junio de 2008, se analizó el funcionamiento de siete niveles de temperatura y dos tiempos de operación del prototipo.” No obstante, el higroimán no es un elemento fácil de conseguir para la implementación del proyecto.

#### **1.4.3 Potabilidad del agua**

En [28] se describe “la evaluación de la calidad microbiológica del agua proveniente de la atmósfera resulta relevante, debido al riesgo asociado con la ingesta de agua contaminada con bacterias provenientes de las heces de humanos y animales. El objetivo de esta investigación consistió en evaluar la cantidad de colonias de coliformes totales y fecales encontradas en el agua atmosférica condensada utilizando pruebas rápidas. El estudio se realizó en tres zonas: San Felipe Hidalgo, Tlaxcala; Huichapan, Hidalgo y en la Ciudad de México.” No obstante, carece de una solución a la problemática planteada.

En [29] se describe la viabilidad técnica y económica de sistemas alternativos de tratamiento de agua potable al alcance de comunidades rurales y de bajos recursos, en donde se analiza una alternativa como lo son los filtros cerámicos impregnados con plata coloidal. Este trabajo resulta de gran importancia puesto que es viable económicamente y remueve factores contaminantes como turbiedad, color



aparente, sólidos totales disueltos, nitritos y no afecta el pH de agua. Remueve coliformes fecales y totales además de reforzar el proceso de desinfección gracias a la plata coloidal.

En [5] se propone una alternativa para disminuir las cantidades de cloro, calcio y magnesio en el agua potable de consumo utilizando como materia prima endocarpo del coco para la elaboración de un filtro de agua. Aunque en el presente proyecto el agua no se tratará con cloro para su desinfección, resulta interesante este tipo de solución para posteriores trabajos de generadores atmosféricos de agua en donde se utilice cloro para potabilizar el agua una vez se ha condensado del aire atmosférico.

En [30] se describe la elaboración de un filtro para la remoción de hierro y manganeso del agua, en donde para su construcción se emplean materiales como grava, arena, lava volcánica y pirolusita, no obstante, carece de una solución práctica a la problemática planteada.

En [6] se propone un diseño de un filtro de agua usando piroclastos, de un tamaño menor a 2cm, como material filtrante. En donde además se establecen diferentes cálculos para el diseño además de determinar la eficiencia del filtro una vez se ha implementado.

En [7] se determinan los parámetros de caracterización de un filtro de arena para el tratamiento de potabilización de agua. Además, se exponen resultados de pruebas a diferentes grados de turbidez en el agua. No obstante, el agua que fue objeto de estudio presenta contaminación previa con arcilla lo cual diverge de los contaminantes que pueda el generador atmosférico de agua de agua potable.

## **CAPITULO II. FUNDAMENTACIÓN MATEMÁTICA**

Para el correcto funcionamiento del prototipo de un generador atmosférico de agua hace falta conocer los fundamentos teóricos de los fenómenos físicos que ocurren en una placa Peltier.

En este apartado se trata de explicar los fenómenos que tienen lugar cuando se hace circular una corriente a través de un termoelemento. La existencia de estos fenómenos es lo que permite utilizar el módulo termoeléctrico como bomba de calor.

### **2.1 Placas Peltier**

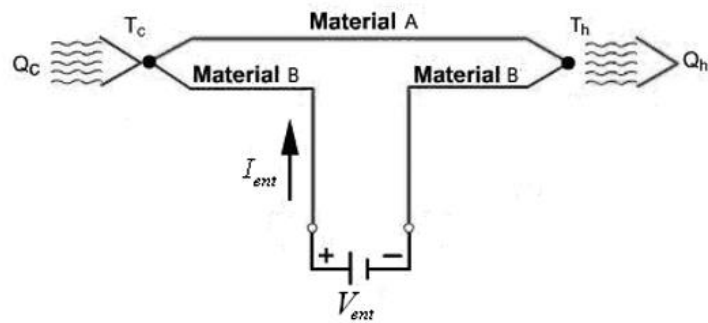
Los elementos termoeléctricos presentan varios fenómenos físicos los cuales resulta interesante analizar.

#### **2.1.1 Efecto Peltier**

Se refiere a la absorción o cesión de calor que tiene lugar cuando una corriente eléctrica circula a lo largo de un conductor no homogéneo, o cruza la unión entre dos materiales conductores distintos [20].

Las condiciones bajo las que se produce son:

Conductor no homogéneo (o unión entre conductores distintitos) por el que circula una intensidad de corriente  $I$  generada por la aplicación de una tensión  $V_M$ .



**Ilustración 6.** Diagrama de circuito de termopar, fuente: tomado de [31]

La potencia calorífica intercambiada en la unión A y B es:

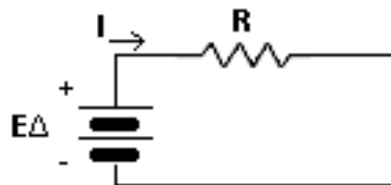
$$\dot{Q} = \pi_{AB}J = J\Delta T\alpha_{AB} \quad (1)$$

Donde  $\pi_{AB}$  es el llamado coeficiente Peltier [32], que se define como el calor intercambiado en la unión por unidad de tiempo y de corriente que circula a través de la misma,  $J$  es el flujo de corriente eléctrica,  $\Delta T$  la diferencia de temperatura absoluta entre A-B y  $\alpha_{AB}$  el coeficiente Seebeck [31].

### 2.1.2 Efecto Joule

Este efecto consiste en un flujo de calor transversal que aparece cuando circula una intensidad de corriente eléctrica  $I$ , por un conductor de resistencia eléctrica  $R$  [33] como puede observarse en la Ilustración 7, de valor:

$$q_j = I^2 * R \quad (2)$$



**Ilustración 7.** Efecto Joule, fuente: propia

El calor viene dado por:

$$Q = 0.24 * I * V * t \quad (3)$$

Q: Cantidad de calor disipado por la resistencia

I: Intensidad de corriente que circula por la resistencia

V: Diferencia de potencial que existe en el extremo de la R

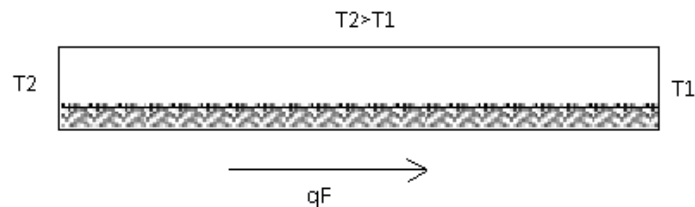
t: Tiempo de conexión(segundos)

### 2.1.3 Efecto Fourier

El efecto Fourier da lugar a un flujo de calor longitudinal que aparece en un conductor térmico de conductividad térmica K en presencia de un gradiente de temperatura  $\nabla T$  [34], de valor:

$$q_f = \frac{k}{L} * A_x * \Delta T \quad (4)$$

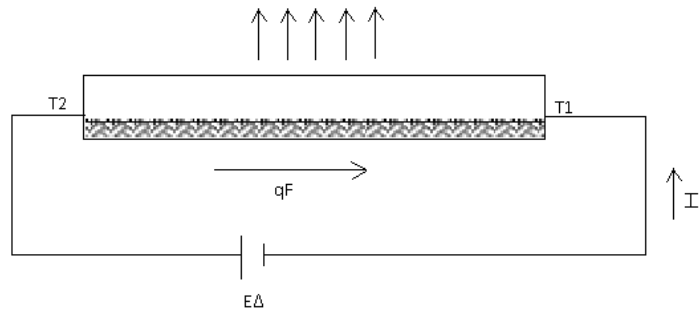
El efecto Fourier se expone a continuación en la Ilustración 8.



**Ilustración 8.** Efecto Fourier, fuente: propia

### 2.1.4 Efecto Thomson

Se refiere a la absorción o cesión de calor que tiene lugar cuando una corriente eléctrica circula a lo largo de un conductor homogéneo sometido a un gradiente de temperaturas entre sus extremos. El efecto Thomson es reversible, es decir el flujo de calor cambia de sentido al cambiar la polaridad de la corriente [35]. Este efecto puede verse en la Ilustración 9.



**Ilustración 9.** Efecto Thompson, fuente: propia

Las condiciones bajo las que se produce son:

- Conductor homogéneo por el que circula una intensidad de corriente  $I$ .
- Gradiente térmico  $\Delta T$  entre sus extremos.

El efecto producido es la aparición de un potencial eléctrico  $V_T$ , proporcional al gradiente térmico impuesto que da un flujo de calor  $q_t$ .

$$v_T = - \int T * \frac{dx}{dT} * dt \tag{5}$$

$$q_T = I * v_T \tag{6}$$

En un módulo termoeléctrico hay variables que definen el comportamiento del mismo, que son:

- $\Delta T$ : la diferencia entre la temperatura del lado caliente y la temperatura del lado frío del módulo.

$$\Delta T = T_{caliente} - T_{frío} \tag{7}$$

- $Q_c$ : la potencia frigorífica bombeada por el dispositivo termoeléctrico.
- $I$ : La corriente que alimenta al módulo termoeléctrico.
- $V$ : la tensión aplicada a la célula.

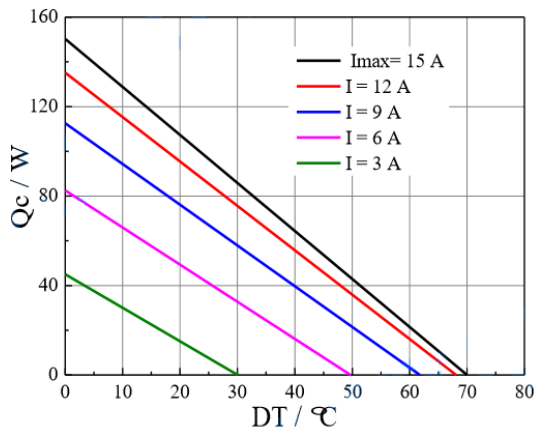
Para condiciones en la cuales no exista carga térmica en el lado frío ( $Q_c=0$ ), se obtiene la máxima diferencia de la temperatura. A medida que la diferencia de temperatura entre las dos caras fría y caliente se reduce, aumenta  $Q_c$ , llegando a su máximo, cuando dicha diferencia de temperaturas es nula.

Un aumento de la corriente por el modulo no es garantía de un aumento en la potencia bombeada, siendo necesario tener en cuenta la temperatura de la cara caliente y de la cara fría del módulo termoeléctrico, para determinar la potencia bombeada, llegando a extremos en los cuales, a pesar de presentar un buen flujo de corriente, el bombeo de potencia térmica es inexistente. Dicha peculiaridad deberá ser tenida en cuenta [36].

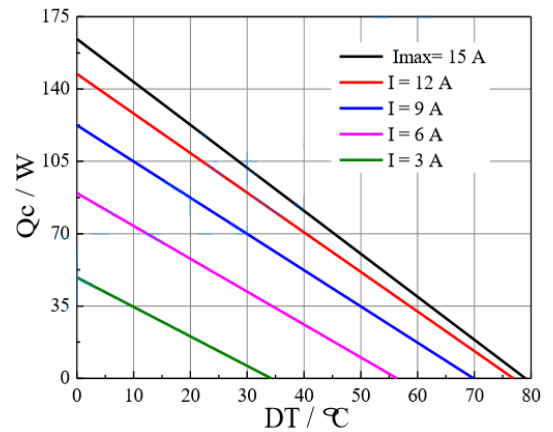
### **2.1.5 Transferencia de energía**

En la Ilustración 10 se muestra la transferencia de potencia que presenta una placa termoeléctrica. Obsérvese que la máxima transferencia de potencia se logra cuando el diferencial de temperatura entre sus dos caras es de  $0^\circ\text{C}$ , en cambio si este diferencial es de  $70^\circ\text{C}$  su transferencia de potencia será de 0 vatios lo que se traduce en una insuficiente refrigeración. El consumo de energía dependerá de este diferencial de temperatura  $\Delta$ . Lo anterior concuerda con la información suministrada en la hoja de características de la celda Peltier TEC1-12715 que confirma que entre menor sea su diferencial de temperatura mayor será su transferencia de potencia [15].

### Performance Curves at Th=27°C



### Performance Curves at Th=50°C



**Ilustración 10.** Transferencia de potencia en una placa Peltier, fuente: tomado de [15].

El aumento de temperatura viene dado por tanto por el cociente:

$$\Delta T = \frac{Q}{c \cdot m} \quad (8)$$

de modo que la relación entre el flujo de calor y la variación de temperatura puede escribirse como:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (9)$$

Donde:

- Q = Calor transferido.
- m = masa del bloque de aluminio.
- calor específico del aluminio  $c = 0.90 \text{ J}/(\text{g } ^\circ\text{C})$ .
- $\Delta T$  = Variación de temperatura.

Por ejemplo, cuando se tiene una variación de temperatura de 20°C y un disipador de aluminio de 400g se tiene el siguiente resultado:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (10)$$

$$Q = 0.4 * 0.9 * 20 \quad (11)$$

$$Q = 7.2 J \quad (12)$$

### 2.1.6 Factor de merito

El factor de mérito para dispositivos termoeléctricos se define como:

$$z = \frac{\sigma * s^2}{k} \quad (13)$$

Donde  $\sigma$  es la conductividad eléctrica,  $k$  es la conductividad térmica y  $S$  es el coeficiente de Seebeck o termo potencia (por convección  $\mu v/k$ ). Es más común expresarlo como el factor de mérito adimensional  $ZT$  multiplicado por la temperatura promedio  $\frac{T_2+T_1}{2}$ . A mayor valor de  $ZT$  indica que mayor es la eficiencia termodinámica, según ciertas disposiciones, en particular el requisito de que los dos materiales del par tengan calores  $Z$  similares.  $ZT$  es por lo tanto un parámetro muy conveniente para comparar la eficiencia del potencial de dispositivo usando materiales diferentes. para valores de  $ZT=1$  se consideran buenos y para valores en un rango de 3 0 4 se consideran esenciales para que la termoelectricidad cumpla con la generación mecánica y refrigeración en eficiencia [37].

### 2.1.7 Eficiencia de dispositivos

Para los módulos termoeléctricos, es estándar usar el "coeficiente de rendimiento" mas no la eficiencia. El coeficiente de rendimiento (COP) es la cantidad de bombeo de calor dividido por la cantidad de potencia eléctrica suministrada [38]. En otras palabras, el valor de COP indica cuántas unidades de bombeo de calor se van a obtener por cada unidad de energía eléctrica que se le suministre al termoelemento.



Para el presente trabajo se tiene que la resistencia de la placa Peltier es de  $2\Omega$ , un voltaje de entrada de  $10.5V$  y una corriente de  $7.4$  amperios. A partir de estos datos se calcula su coeficiente de rendimiento COP.

$$P = V * I \quad (14)$$

$$P = 10.5V * 7.4A \quad (15)$$

$$P = 77.7W \quad (16)$$

$T_c$  = Temperatura en el lado frio en grados kelvin

$T_h$  = Temperatura en el lado caliente en grados kelvin

$I$  = Corriente aplicada

Adicionalmente se tiene que:

$S$  = Coeficiente Seebeck

$R$  = Resistividad eléctrica

$K$  = Capacidad calorífica

El calor absorbido ( $Q_c$ ) por el módulo en vatios es:

$$Q_c = (S_M * T_C * I) - (0.5 * I^2 * R_M) - K_M * (T_H - T_C) \quad (17)$$

$$Q_c = \left( 0.058186 \frac{V}{\text{°K}} * 273.15 \text{ °K} * 7.4 A \right) - (0.5 * 7.4 A^2 * 2\Omega) - 0.11 \frac{W}{\text{°K}} * (318.15 \text{ °K} - 273.15 \text{ °K}) \quad (18)$$

$$Q_c = 117.61 W - 54.76 W - 4.95 W \quad (19)$$

$$Q_c = 57.9 W \quad (20)$$

$$COP = \frac{Q_c}{Q_{in}} \quad (21)$$

$$COP = \frac{57.9 W}{77.7 W} \quad (22)$$

$$COP = 0.74 \quad (23)$$

Qc: Calor absorbido de la junta fría

Qin: Calor de la entrada

Si el COP es de 0.74 quiere decir que “mueve” o “extrae” 0.74 vatios de calor por cada vatio suministrado a cada placa Peltier. Cabe mencionar que el presente proyecto utiliza dos placas Peltier.

### 2.1.8 Consumo de energía

El sistema que se expone en este documento está diseñado para que pueda ser alimentado por medio de energías renovables fácilmente, es decir, sin necesidad de un inversor y con un menor consumo frente a otros sistemas que existen en el mercado. A continuación, se brinda una breve información respecto al concepto como tal en consumo de energía eléctrica.

La energía se mide en Joule. El watt es la cantidad de energía medida en Joule consumida por segundo. Por lo tanto, un sistema que consuma 185 vatios consume 185 Joule por segundo.

$$P = \frac{E}{t} \quad (24)$$

$$E = P * t \quad (25)$$

Por lo tanto, un sistema de 185W encendido durante 24 horas gasta una energía de:

$$E = 185 W * 86400 s \quad (26)$$

$$E = 15.984.000 \text{ Joule} \quad (27)$$

Ahora bien, esta energía se puede indicar en la forma:

$$185 W = 0.185 KW \quad (28)$$

Entonces:

$$E = 0.185 \text{ KW} * 24 \text{ H} \quad (29)$$

$$E = 4.4 \text{ KWH} \quad (30)$$

Cuando se requiera usar energías renovables se puede usar la siguiente ecuación para calcular el tiempo en que demora cargar un banco de baterías:

$$T(h) = \frac{\text{Capacidad bateria}}{\text{Capacidad cargador}} \quad (31)$$

$$T(h) = \frac{150\text{AH}}{12.5\text{A}} \quad (32)$$

$$T(h) = 12\text{H} \quad (33)$$

La ecuación (33) da como resultado 12 horas, es decir que, si se tiene una batería con una capacidad de almacenamiento de energía de 150 AH y una fuente de energía, por ejemplo, un panel solar, que entregue una corriente de 12.5A, éste tardará 12 horas en cargarla.

## 2.2 Elementos del clima

A continuación, se explicará brevemente algunos conceptos sobre los elementos del clima necesarios para comprender parte del funcionamiento del generador atmosférico de agua.

### 2.2.1 Humedad relativa

La humedad relativa, HR [%], es la proporción de vapor de agua real en el aire comparada con la cantidad de vapor de agua necesaria para la saturación a la temperatura correspondiente. Indica que tan cerca está el aire de la saturación. Se mide en porcentaje entre 0 y 100, donde el 0% significa aire seco y 100% aire saturado [39].

$$HR = \frac{r}{r_s} \cong \frac{e}{e_s} \cong \frac{q}{q_s} \quad (34)$$

Notar que  $HR = HR(e, e_s, (T)) = HR(p, T)$

### 2.2.2 Humedad absoluta

La masa de aire de vapor de agua en una unidad de volumen de aire. Es una medida del verdadero contenido de vapor de agua en el aire.

$$AH = \frac{mV}{V} \quad (35)$$

Gracias a la organización mundial meteorológica, podemos encontrar la saturación del vapor dada por la temperatura y presión atmosférica.

A partir de la humedad relativa del vapor, podemos encontrar la verdadera presión del vapor.

$$e = ew * \frac{\text{Humedad Relativa}}{100} \text{ (HPa)} \quad (36)$$

Luego, podemos utilizar la ley general de los gases perfectos.

$$Pv = \frac{m}{M} * Rt \quad (37)$$

En nuestro caso es:

$$eV = m * Rv * T \quad (38)$$

R: Constante universal de gas igual a 8313,6

Rv: Constante de gas específica para vapor de agua igual a 461,53

Entonces, podemos expresar la proporción de masa a volumen de la siguiente forma:

$$\frac{m}{V} = \frac{e}{Rv * T} \rightarrow \text{Humedad absoluta} \left( \frac{Kg}{m^3} \right) \quad (39)$$

Donde

$e$  : Unidades en pascales

Rv: Unidades en  $\frac{J}{Kg^{\circ}K}$

T: Temperatura en grados Kelvin

### 2.2.3 Humedad específica

La humedad específica,  $q \left[ \frac{g}{kg} \right]$ , de una muestra de aire húmedo, representa la cantidad de vapor de agua,  $p_v$ , contenida en la masa de aire húmedo,  $p_v + p_d$  [39]

$$q = \frac{p_v}{p_v + p_d} = \frac{0,622}{p - 0,378e} \quad (40)$$

Dónde:

P: presión atmosférica (medida en Hecto pascales).

Si el aire está saturado se tiene  $q = q_s(e_s, p)$ .

### 2.2.4 Razón de mezcla

La razón de mezcla,  $r \left[ \frac{g}{kg} \right]$ , se define como la razón entre la masa de vapor de agua,  $p_v$  y la masa de aire seco,  $p_d$ . [39]

$$r = \frac{p_v}{p_d} = 622 * \frac{e}{p - e} \quad (41)$$

Dónde:

P: presión atmosférica (medida en Hecto pascales).

Si el aire está saturado se tiene  $r = r_s(e_s, p)$ .

### 2.2.5 Temperatura de saturación o punto de rocío

El aire frío saturado contiene menos agua que el aire saturado más caliente. Cuando el aire se enfría, eventualmente alcanza una temperatura a la cual se satura. Esta temperatura se llama punto de rocío. A una temperatura más baja que ésta, el agua contenida en el aire se condensa [40].

La temperatura de punto de rocío,  $T_d$ , es la temperatura a la cual el aire se satura si se enfría a presión constante. La  $T_d$  está únicamente determinada por la presión de vapor del aire y por lo tanto es la temperatura a la cual la presión de vapor es igual a la presión de saturación del aire, es decir,  $e = e_s(T_d)$  [39].

$$Pr = \sqrt[8]{\frac{HR}{100} * (112 + 0.9 * T) + (0.1 * T) - 112} \quad (42)$$

Pr: Punto rocío en grados centígrados

T: Temperatura en grados centígrados

HR: Humedad relativa

### 2.2.6 Condensación

El proceso en el que el vapor de agua se vuelve a convertir en líquido se llama condensación [41]. La condensación consiste en que las moléculas de agua se vuelven a unir mediante enlaces de hidrógeno para formar agua líquida o hielo [42].

### 2.2.7 Evaporación

La evaporación es un proceso en el cual el agua en estado líquido o incluso en estado sólido pasa a ser vapor de agua [41].

### 2.2.8 Presión de vapor

La cantidad de vapor presente en la atmósfera se puede expresar por la presión que ejerce el vapor,  $e$ , independientemente de los otros gases. La presión total de la atmósfera es la suma de la presión que ejerce el aire seco más la presión ejercida por el vapor de agua,  $e$  (según la ley de Dalton) y la cantidad máxima de vapor que puede presentarse depende de la temperatura ambiente. Cuanto mayor sea la temperatura, más vapor puede contener el aire.

La presión del vapor es la presión ejercida por el vapor. Cuando el vapor está saturado, la presión del vapor se llama presión de saturación del vapor.

Fórmulas obtenidas de **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**, Organización Mundial Meteorológica, 2008.

Así que, la presión de saturación del vapor en la fase pura es:

$$ew(t) = 6.112 * e^{\frac{17.62*t}{243.12+t}} \quad (43)$$

La presión de saturación del vapor en aire húmedo es:

$$ew'(p,t) = f(p) * ew(t) \quad (44)$$

Donde la función de presión  $f(p)$  es:

$$f(p) = 1.0016 + 3.15 * 10^{-6} * p - 0.074 * p^{-1} \quad (45)$$

t: Temperatura en grados Celsius

p: unidades en Hecto pascales

Otra forma de calcular la presión de vapor saturado, descrita por el autor como **Tensión máxima de vapor** es:

Un vapor está en estado de saturación cuando la atmosfera que lo contiene no admite mayor cantidad de vapor. Llamamos tensión de vapor (f) a la presión que ejerce el vapor en estado de saturación [43].

En la Tabla 1 se muestra los diferentes valores de tensión de vapor de agua a diferentes temperaturas.

t (°C)	p (tor)	m (g/m <sup>3</sup> )	t (°C)	p (tor)	m (g/m <sup>3</sup> )
0	4.58	4.84	20	17.54	17.3
2	5.29	5.6	22	19.83	19.4
4	6.10	6.4	24	22.38	21.8
6	7.01	7.3	26	25.22	24.4
8	8.05	8.2	28	28.36	27.2
10	9.21	9.4	30	31.83	30.3
12	10.52	10.7	32	35.67	33.8
14	11.99	12.1	34	39.91	37.5
16	13.64	13.6	36	44.58	41.7
18	15.48	15.4	38	49.71	46.2

**Tabla 1.** Tensiones máximas de saturación del vapor de agua, fuente: tomado de [44]

### 2.2.9 Presión atmosférica

La presión atmosférica es un elemento que no percibe el ser humano. Se define como la fuerza que ejerce la atmosfera del planeta tierra sobre su superficie. Por cada metro de superficie terrestre hay una columna de aire de aproximadamente 10000 kilogramos. A 5 Km de altitud sobre el nivel del mar se tendrá encima un 50%, a 10 Km un 25% y a 20 Km un 5% aproximadamente [45].

Para calcular la altura a partir de la presión atmosférica se puede utilizar la ecuación (46).

$$Altura = 44330 * \left[ 1 - \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{1}{5.255}} \right] \quad (46)$$

P0: 101325 Pascales

P: Presión medida por el sensor



La ecuación (52) permite hallar una altura sobre el nivel del mar a partir de un valor de presión en Hecto pascales.

Para determinar la presión a partir de la altura se despeja la ecuación (46).

$$Altura = 44330 * \left[ 1 - \left( \frac{P}{P0} \right)^{\frac{1}{5.255}} \right] \quad (47)$$

$$\frac{Altura}{44330} = 1 - \left( \frac{P}{P0} \right)^{\frac{1}{5.255}} \quad (48)$$

$$\left( \frac{P}{P0} \right)^{\frac{1}{5.255}} = 1 - \frac{Altura}{44330} \quad (49)$$

$$\ln \left( \frac{P}{P0} \right)^{\frac{1}{5.255}} = \ln \left( 1 - \frac{Altura}{44330} \right) \quad (50)$$

$$\frac{P}{P0} = e^{(5.255 * \ln(1 - \frac{Altura}{44330}))} \quad (51)$$

$$P = P0 * e^{(5.255 * \ln(1 - \frac{Altura}{44330}))} \quad (52)$$

Altura: Altura en m

P0: 101325 Pascales

### 2.2.10 Aire seco y húmedo

El aire atmosférico es una mezcla de varios gases en distintas proporciones, estas proporciones son dinámicas a través del tiempo geológico (C. Birkel, 2013), entre los gases que la componen están: Nitrógeno (N<sub>2</sub>) 78%, Oxígeno (O<sub>2</sub>) 20%, Argón (Ar) 1% y el último 1% corresponde a una serie de gases que incluye hidrógeno, gases nobles, compuestos de carbono y vapor de agua [22].

El aire seco se define como el aire atmosférico que no posea vapor de agua entre sus componentes, por otro lado, el concepto de aire húmedo se define como el aire atmosférico que contenga vapor de agua en su composición [22].

### 2.2.11 Calor latente

El calor que interviene en un cambio de fase se denomina calor latente (L) y se define como la magnitud del calor requerido por unidad de masa:

$$L = \frac{|Q|}{m} \quad (53)$$

Donde:

M: masa de la sustancia

Q: flujo de calor

L: Calor latente, tiene unidades de joule sobre kilogramos  $\left[\frac{j}{kg}\right]$  o kilocalorías sobre kilogramos  $\left[\frac{Kcal}{kg}\right]$ .

El calor latente para un cambio de fase sólido-líquido se denomina **calor latente de fusión (Lf)**, y el cambio de líquido-gas, **calor latente de vaporización (Lv)**. Es común llamar a estas cantidades simplemente calor de fusión y calor de vaporización ...El calor latente para el cambio de fase de sólido-gas, menos común, se denomina **calor latente de sublimación (Ls)**. Como cabe de esperar por la conservación de la energía, el calor latente (en joule por kilogramo) es la cantidad de energía por kilogramo que se cede cuando el cambio de fase es en la dirección opuesta, de líquido a sólido o de gas-líquido. Si se despeja Q y se incluye un signo más/menos para las dos posibles direcciones de flujo de calor [46]:

$$Q = \pm m * L \quad (54)$$

Para el proyecto se utilizará el signo menos, al condensar el vapor de agua. A continuación, en la Tabla 2 se muestran algunos valores de calor latente de algunas sustancias expuesta en [46]. Para el estudio del proyecto se resalta, el cobre y el agua.

Sustancia	Punto Fusión (°C)	Calor latente de fusión (J/Kg)	Calor latente de fusión (cal/g)	Punto de ebullición (°C)	Calor latente de vaporización (J/Kg)	Calor latente de vaporización (cal/g)
Agua	0	$3.3 \times 10^5$	80	100	$22.6 \times 10^5$	540
Alcohol etílico	-114	$1.0 \times 10^5$	25	78	$8.5 \times 10^5$	204
Mercurio	-39	$0.12 \times 10^5$	2.8	357	$2.7 \times 10^5$	65
Nitrógeno	-210	$0.26 \times 10^5$	6.1	-196	$2.0 \times 10^5$	48
Oro	1063	$0.645 \times 10^5$	15.4	2660	$15.8 \times 10^5$	377
Oxígeno	-219	$0.14 \times 10^5$	3.3	-183	$2.1 \times 10^5$	51
Plomo	328	$0.25 \times 10^5$	5.9	1744	$8.67 \times 10^5$	207
Tungsteno	3410	$1.8 \times 10^5$	44	5900	$48.2 \times 10^5$	1150
Cobre	1083	$1.34 \times 10^5$	42	5410	$1.06 \times 10^6$	-

**Tabla 2.** Calor latente de diferentes sustancias, tomado de [47]

Sustancia	PF, K	Lf kJ/kg	PE, K	le kJ/kg
Agua	273.15	333.5	373.15	2257
Alcohol etílico	159	109	351	879
Cobre	1356	205	2839	4726
Mercurio	234	11.3	630	296
Nitrógeno	63	25.7	77.35	199
Oro	1336	62.8	3081	1701
Oxígeno	54.4	13.8	90.2	213
Plata	1234	105	2436	2323

**Tabla 3.** Punto de fusión normal(PF), calor latente de fusión Lf, punto de ebullición normal(PE), y calor latente de vaporización Le, para varias sustancias a 1 atm, tomado de [47]

### 2.2.12 Calor sensible

Es aquel que recibe un cuerpo o un objeto y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado. En general, se ha observado experimentalmente que la cantidad de calor necesaria para calentar o enfriar un cuerpo es directamente proporcional a la masa del cuerpo y a la diferencia de temperaturas. La constante de proporcionalidad recibe el nombre de calor específico [48].

### 2.2.13 Calor específico

De los sólidos y los líquidos, nos dice cuanto calor se necesita para elevar la temperatura de un kilogramo de un material de 1°C". Es característico del tipo de material y su definición es:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \text{ o sea } Q = m\Delta T \text{ " [46]}$$

En la Tabla 4, se muestran algunos valores de calor específico de diferentes sustancias [49].

Sustancia	c[J/(g°C)]	c[J/(cal°C)]
Agua	4186	1.00
Aluminio	900	0.215
Berilio	1820	0.436
Cobre	387	0.0924
Hierro	448	0.107
Mercurio	138	0.033
Oro	129	0.0308
Plata	234	0.056
Plomo	128	0.0305
Vapor de agua	2010	0.480
Vidrio	837	0.200

**Tabla 4.** Calor específico de las sustancias, fuente: tomado de [49]

## **2.3 Ventilador**

Maquina rotativa que transmite energía al fluido que circula por ella, bajo la forma de aumento de presión [29].

### **2.3.1 Leyes del ventilador**

En un sistema dado, un ventilador, si se mantiene constante la densidad del aire, cumple con:

- $Q1 / Q2 = n1 / n2$ .
- $pe1 / pe2 = (n1 / n2)^2$ .
- $hp1 / hp2 = (n1 / n2)^3$ .
- $Q =$  Caudal.
- $pe =$  Presión estática.
- $hp =$  Potencia absorbida.
- $n =$  Velocidad de giro (rpm).

### **2.3.2 Presión estática**

Presión del aire debida solo a su grado de compresión. Puede ser positiva o negativa. En el ventilador es la diferencia entre la presión estática de salida y la presión total a la entrada [50].

### **2.3.3 Presión dinámica**

Presión del aire debida solo a su movimiento. La presión dinámica puede ser solo positiva. En el ventilador será la correspondiente al promedio de las velocidades a la salida del ventilador [50].

### **2.3.4 Presión total**

Presión del aire debida a su compresión y movimiento. Es la suma algebraica de las presiones dinámica y estática en un punto determinado. Por lo tanto, si el aire está

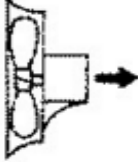
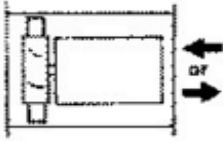
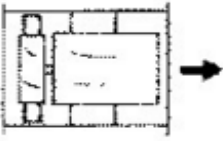
en reposo, la presión total es igual a la presión estática. En el ventilador será la diferencia entre las presiones totales determinadas a la salida y a la entrada del mismo [50].

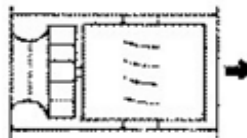
### 2.3.5 Clasificación de ventiladores

Los ventiladores se dividen en dos grandes grupos:

#### 2.3.5.1 Ventiladores axiales

Son aquellos en los cuales el flujo de aire sigue la dirección del eje del mismo. Se suelen llamar helicoidales, pues el flujo a la salida tiene una trayectoria con esa forma. En líneas generales son aptos para mover grandes caudales a bajas presiones. Con velocidades periféricas medianamente altas son en general ruidosos [50].


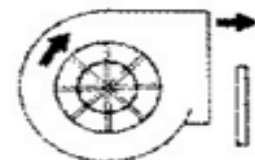

Ventilador	Descripción	Aplicación
 HELICOIDAL	Ventiladores aptos para mover grandes caudales de aire con bajas presiones. Son de bajo rendimiento. La transferencia de energía se produce mayoritariamente en forma de presión dinámica.	Se aplica en circulación y extracción de aire en naves industriales. Se instalan en pared sin ningún conducto utilizados con objeto de renovación de aire.
 TUBE AXIAL	Tienen rendimiento algo superior al anterior y es capaz de desarrollar una presión estática mayor. Por su construcción es apto para intercalar en conductos.	Se utiliza en instalaciones de ventilación, calefacción y aire acondicionado que requieran altos caudales con presión media a baja. También se utiliza en algunos sistemas industriales como cabinas de pintura y extracciones localizadas de humos.
 VANE AXIAL	Con diseños de palas AIRFOIL, permiten obtener presiones medias y altas con buenos rendimientos. Las palas pueden ser fijas o de ángulo ajustable.	Tiene aplicaciones similares a los TUBEAXIAL, pero con la ventaja de tener un flujo más uniforme y la posibilidad de obtener presiones mayores. Para una determinada prestación es relativamente más pequeño que el ventilador centrífugo equiparable.


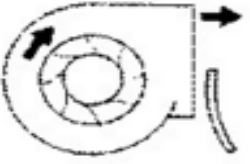
 <p>CENTRIFOIL</p>	<p>Se trata de un ventilador con rotor centrifugo, pero de flujo axial. Es decir, reúne las ventajas del ventilador centrifugo y la facilidad de montaje de un axial con el consiguiente ahorro de espacio.</p>	<p>Las mismas aplicaciones que el ventilador VANEAXIAL.</p>
---	---	---

**Tabla 5.** Características de los ventiladores axiales, fuente: tomado de [50]

### 2.3.5.2 Ventiladores centrífugos

Son aquellos en los cuales el flujo de aire cambia su dirección, en un ángulo de 90°, entre la entrada y salida. Se suelen sub-clasificar, según la forma de las palas o álabes del rotor, de la siguiente manera [50]:

Ventilador	Descripción	Aplicación
 <p>CURVADAS HACIA ADELANTE</p>	<p>Rotor con palas curvadas hacia adelante, apto para caudales altos y bajas presiones. No es auto limitante de potencia. Para un mismo caudal y un mismo diámetro de rotor gira a menos vueltas con menor nivel sonoro.</p>	<p>Se utiliza en instalaciones de ventilación, calefacción y aire acondicionado de baja presión.</p>
 <p>PALAS RADIALES</p>	<p>Rotor de palas radiales. Es el diseño más sencillo y de menor rendimiento. Es muy resistente mecánicamente, y el rodete puede ser reparado con facilidad. El diseño le permite ser auto limpiante. La potencia aumenta de forma continua al aumentar el caudal.</p>	<p>Empleado básicamente para instalaciones industriales de manipulación de materiales. Se le puede aplicar recubrimientos especiales anti-desgaste. También se emplea en aplicaciones industriales de alta presión.</p>
 <p>INCLINADAS HACIA ATRAS</p>	<p>Rotor de palas o curvadas inclinadas hacia atrás. Es de alto rendimiento y auto limitador de potencia. Puede girar a velocidades altas.</p>	<p>Se emplea para ventilación, calefacción y aire acondicionado. También puede ser usado en aplicaciones industriales, con ambientes corrosivos y/o bajos contenidos de polvo.</p>

 <p>AIRFOIL</p>	<p>Similar al anterior, pero con palas de perfil aerodinámico. Es el de mayor rendimiento dentro de los ventiladores centrífugos. Es auto limitante de potencia.</p>	<p>Es utilizado generalmente para aplicaciones en sistemas de HVAC y aplicaciones industriales con aire limpio. Con construcciones especiales puede ser utilizado en aplicaciones con aire sucio.</p>
 <p>RADIAL TIP</p>	<p>Rotores de palas curvadas hacia delante con salida radial. Son una variación de los ventiladores radiales, pero con mayor rendimiento, Aptos para trabajar con palas anti desgaste. Son auto limpiantes. La potencia aumenta de forma continua al aumento del caudal.</p>	<p>Como los radiales estos ventiladores son aptos para trabajar en aplicaciones industriales con movimiento de materiales abrasivos, pero con un mayor rendimiento.</p>

**Tabla 6.** Características de ventiladores centrífugos, fuente: tomado de [50]



## **CAPÍTULO III: DISEÑO DEL GENERADOR ATMOSFÉRICO DE AGUA POTABLE**

En este capítulo se expondrán todos los diseños correspondientes al sistema que permite condensar el vapor de agua presente en el aire atmosférico y el sistema de filtros que permiten potabilizar agua una vez se ha condensado. Para ello se realizaron varios módulos los cuales se describen en detalle a continuación:

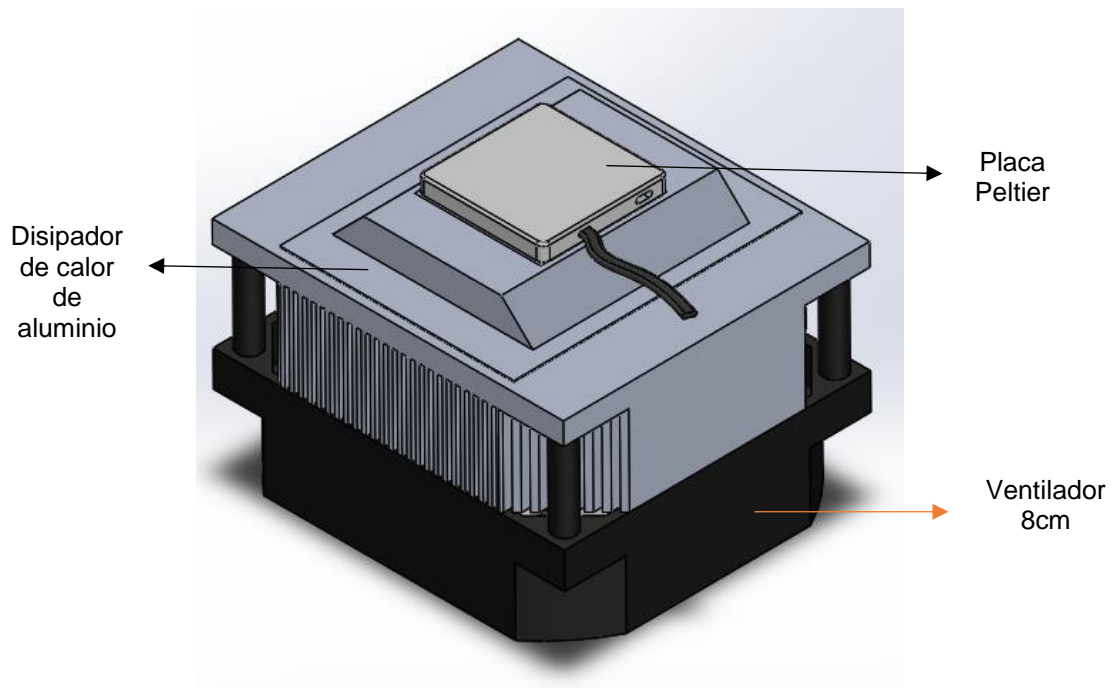
### **3.1 Módulo de enfriamiento termoeléctrico**

#### **3.1.1 Placas Peltier y disipadores de calor**

Según la hoja de datos de la placa Peltier TEC1-12715 [15] estas no tienen motores, ni piezas móviles, ni gases contaminantes y lo más importante de todo, no presentan desgaste con el tiempo. Pueden generar por una de sus caras altas temperaturas en cuestión de segundos, sin embargo, la placa quedaría inservible si no se disipa de una forma adecuada tal temperatura. Si bien, la mejor forma de refrigerar estos elementos es una técnica de enfriamiento llamada refrigeración líquida, ésta resulta muy costosa por lo que se optó por otra solución, la refrigeración por aire, que consta de un disipador de aluminio y un ventilador para forzar el flujo de aire y refrigerar más rápido el elemento Peltier.

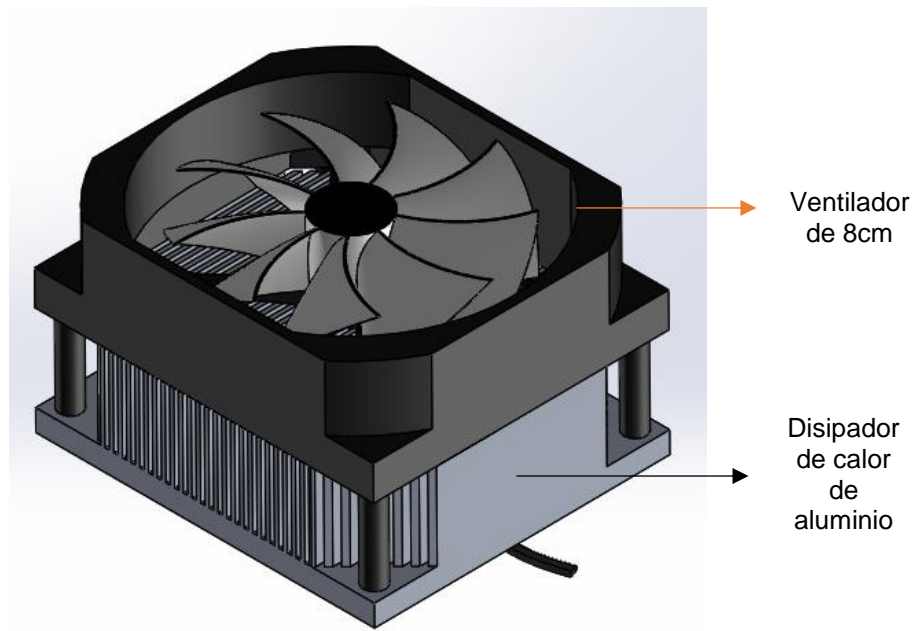
El diseño CAD que se observa en la Ilustración 11 muestra que el lado caliente de la placa Peltier se sitúa sobre el disipador de aluminio con el fin de que los disipadores de calor puedan evacuar el calor que generan las placas Peltier. No todos los disipadores de calor pueden mantener refrigerada una placa Peltier.

La placa Peltier seleccionada tiene por referencia TEC1-12715, se eligió este modelo dado que según su hoja de características [15] ofrece un rendimiento alto en proporción al método de disipación que se use, cada placa consume aproximadamente 77 Vatios, esto se traduce en un alto flujo de calor que deberá ser disipado al ambiente por lo que los disipadores deben mantener una temperatura baja en las placas Peltier.



**Ilustración 11.** Disipador de aluminio y placa Peltier, fuente: propia

En la Ilustración 12 se observa el módulo visto desde arriba el cual consta de un ventilador y un disipador de aluminio. El ventilador permite que el aire fluya por el disipador y el calor sea evacuado más rápidamente hacia el ambiente.

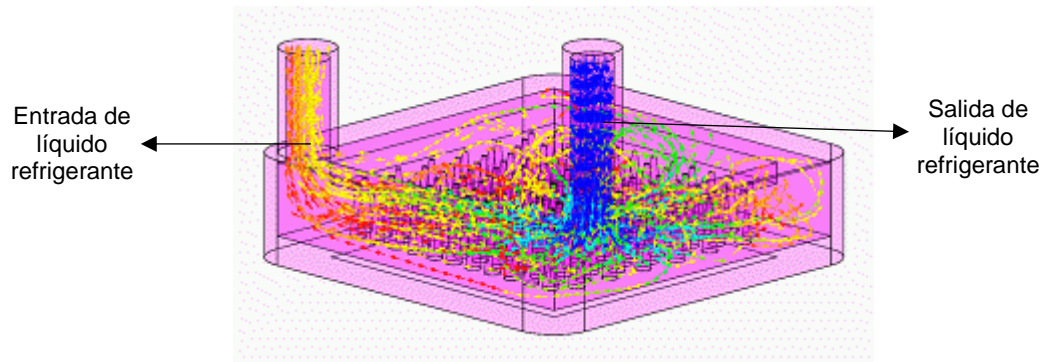


**Ilustración 12.** Disipador de aluminio y ventilador, fuente: propia

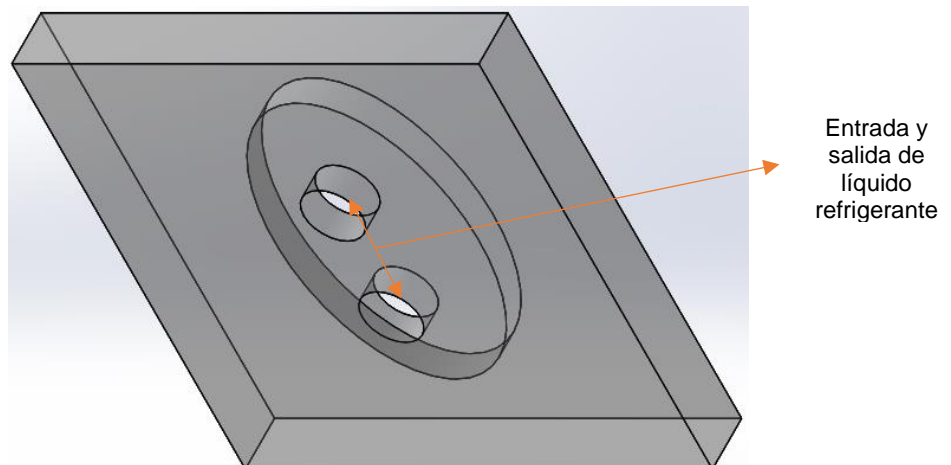
### 3.1.2 Bloques de enfriamiento

Para lograr enfriar el líquido refrigerante, las placas Peltier se conectan a un **bloque de enfriamiento** el cual puede verse en la Ilustración 13. El objetivo de este elemento es el de permitir que el líquido refrigerante y la placa Peltier intercambien calor, o, en otras palabras, que el líquido se enfríe.

De igual forma en la Ilustración 13 puede observarse como ingresa el líquido refrigerante y debido a que las placas Peltier extraen calor de este bloque, el líquido a medida que sale por el orificio opuesto por el que ingresa, va perdiendo temperatura.



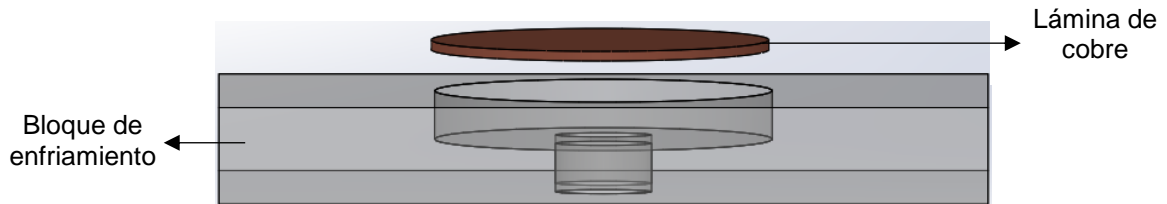
**Ilustración 13.** Turbulencia en bloque de enfriamiento, fuente: tomado de [51]



**Ilustración 14.** Diseño CAD de un bloque de enfriamiento, fuente: propia

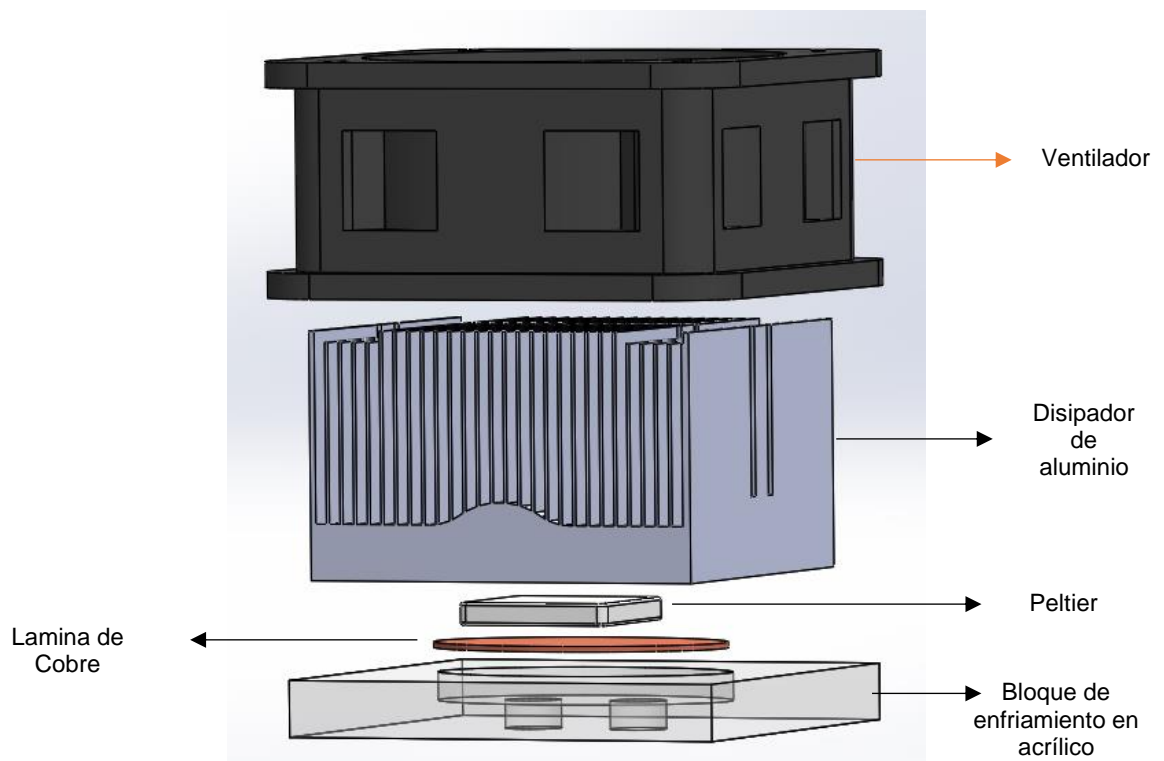
El cuerpo del bloque de enfriamiento debe ser un aislante térmico puesto que la función de este es enfriar el líquido refrigerante y no permitir que interactúe con la temperatura del ambiente. En la Ilustración 14 se propone un cuerpo de acrílico puesto que este es un material económico, de fácil adquisición y se puede cortar fácilmente para adecuarlo a los requerimientos del diseño. Además, se instalará una

lámina de cobre en donde se unirá con la parte fría de la placa Peltier como se aprecia en la Ilustración 15.



**Ilustración 15.** Bloque de enfriamiento con lámina de cobre, fuente: propia

Para la construcción del generador atmosférico de agua potable se usarán dos módulos como el de la Ilustración 16, este consta de un ventilador, un dissipador de aluminio los cuales mantienen refrigerada la placa Peltier, un bloque de enfriamiento elaborado en acrílico y una lámina de cobre para transferir el frío generado por la placa Peltier hacia el líquido refrigerante.

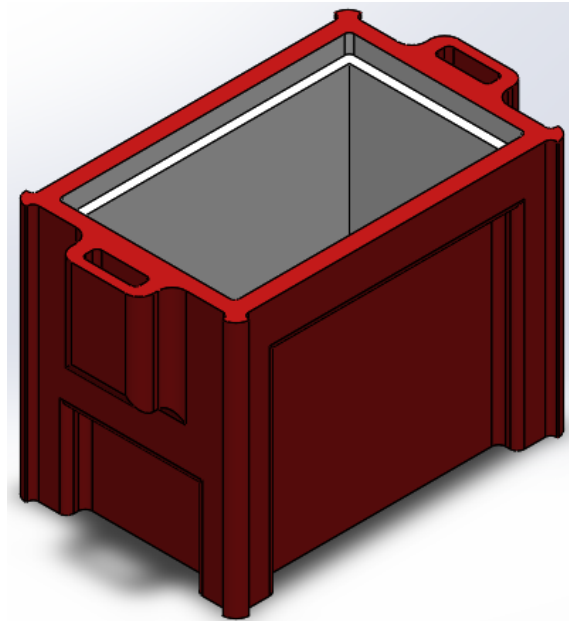


**Ilustración 16.** Sistema de enfriamiento Peltier, fuente: propia

### 3.1.3 Módulo de aislamiento

Se utilizó un tipo de líquido que es refrigerante y anticorrosivo. Este líquido es elaborado a base de ciertos aditivos que ayudan a refrigerar e impedir la corrosión de las piezas como lo son las mangueras y tuberías como se expone en el sitio web del fabricante [52].

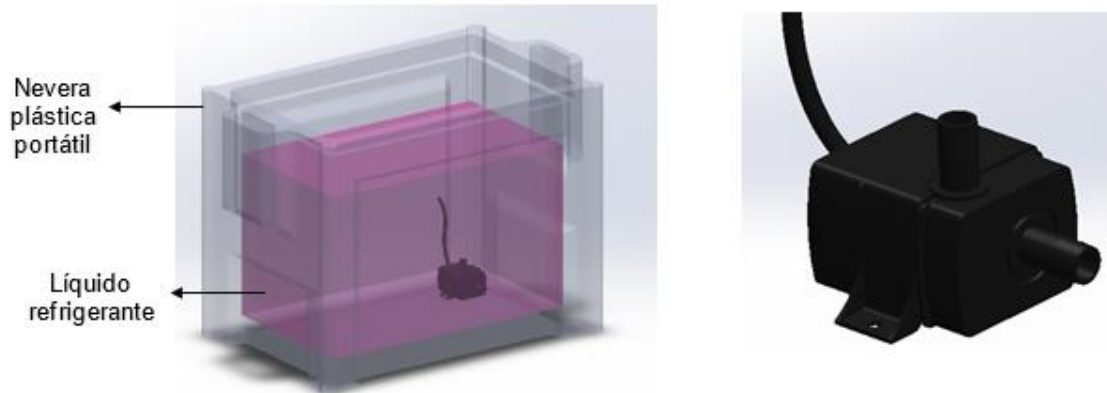
Para su almacenamiento es necesario un recipiente térmicamente aislado, es así como se decide utilizar una nevera portátil de plástico (las paredes tienen en su interior un material aislante llamado poliuretano) como se puede ver en la Ilustración 17.



**Ilustración 17.** Nevera plástica portátil de 10 litros de capacidad, fuente: propia

El líquido refrigerante es bombeado a través del módulo de enfriamiento por medio de una bomba de agua sumergible (ver Ilustración 18 (b)) la cual según el fabricante presenta un flujo de aproximadamente 450 litros por hora [53]. Por su parte la Ilustración 18 (a) muestra la ubicación de la bomba de agua sumergible en el módulo

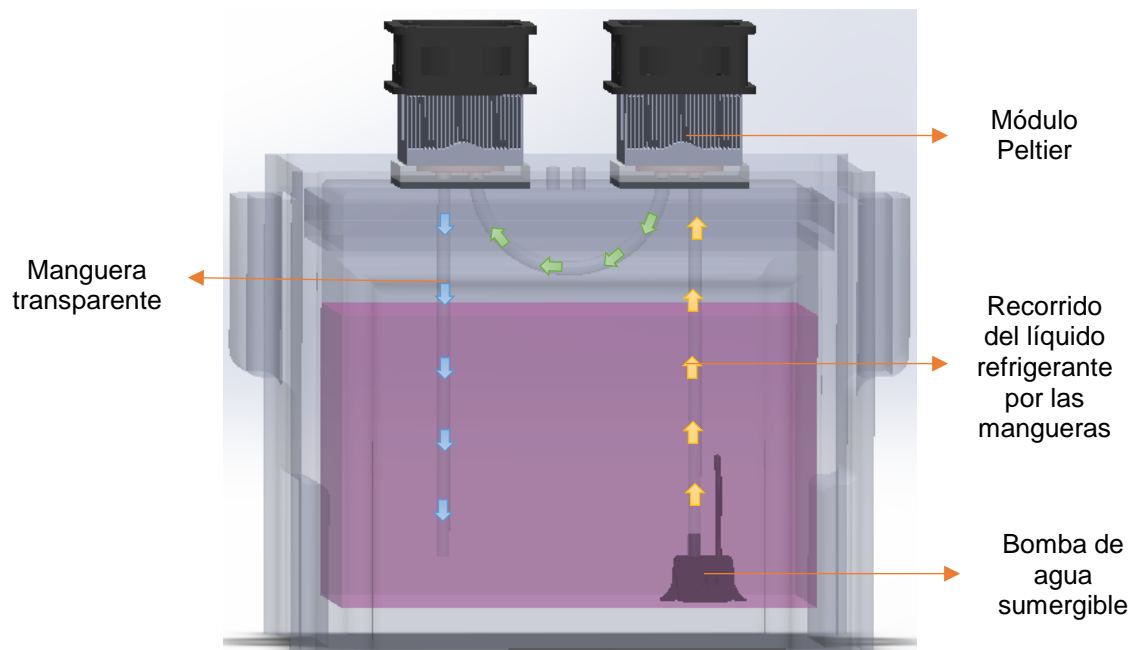
de enfriamiento que en conjunto con el módulo Peltier permiten el proceso de enfriamiento del líquido.



( a) Almacenamiento de líquido refrigerante (b) bomba de agua sumergible

**Ilustración 18.** Almacenamiento de líquido refrigerante, fuente: propia.

El módulo completo de enfriamiento termoeléctrico que permite enfriar el líquido refrigerante se muestra en la Ilustración 19. El tanque de almacenamiento térmicamente aislado cumple la función de mantener la temperatura en su interior y que interactúe lo menos posible con la temperatura del ambiente. Cuando el líquido refrigerante llega a la temperatura deseada se enciende la segunda bomba de agua que hace pasar el líquido por el módulo de condensación el cual será el encargado de condensar el vapor de agua presente en el aire.

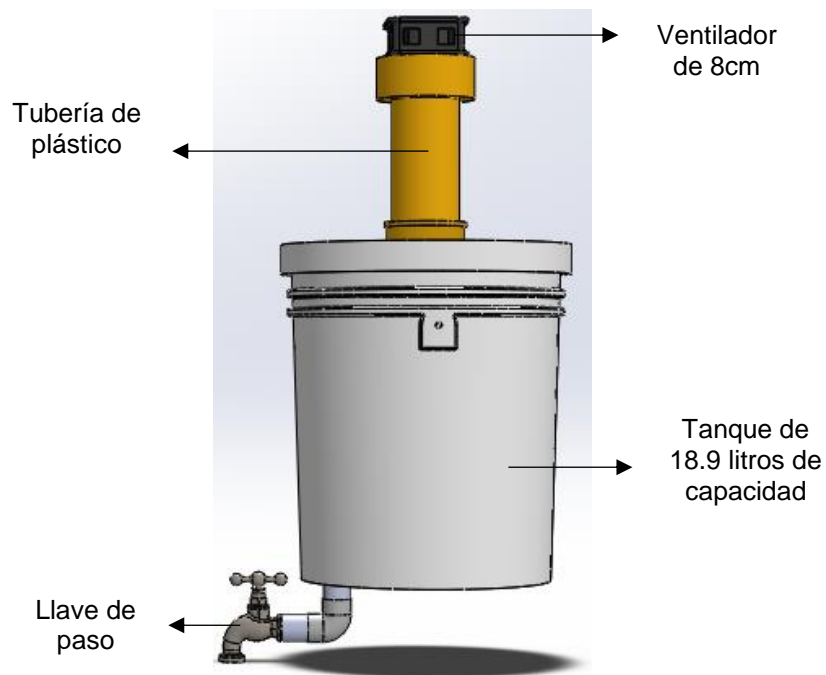


**Ilustración 19.** Módulo de enfriamiento termoeléctrico, fuente: propia

### 3.2 Módulo de condensación

Una vez que el líquido refrigerante se encuentra a una temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$  gracias al módulo de enfriamiento termoeléctrico, se da inicio al proceso de condensación. Para ello se ha diseñado un recipiente el cual tiene un serpentín de cobre en su interior, por donde fluirá el líquido refrigerante y dará paso a la condensación de vapor de agua presente en el aire atmosférico. Para que exista un mayor flujo de aire por este módulo se decidió acoplar un ventilador en la parte superior como se puede observar en la Ilustración 20, se elige esta forma por su fácil implementación, mantenimiento y bajos costos.

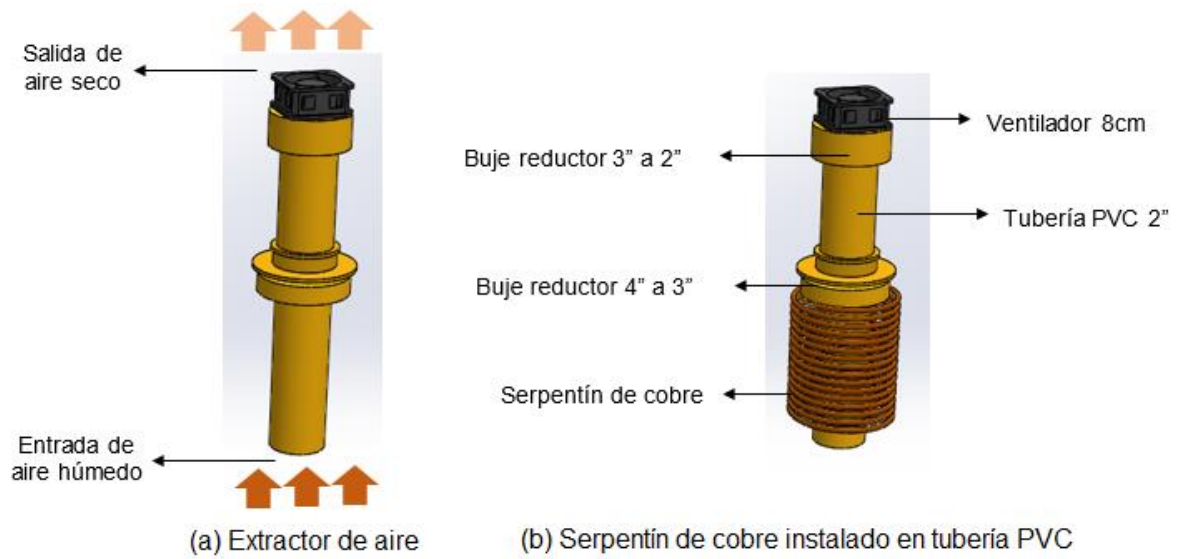




**Ilustración 20.** Diseño CAD de un módulo de condensación, fuente: propia

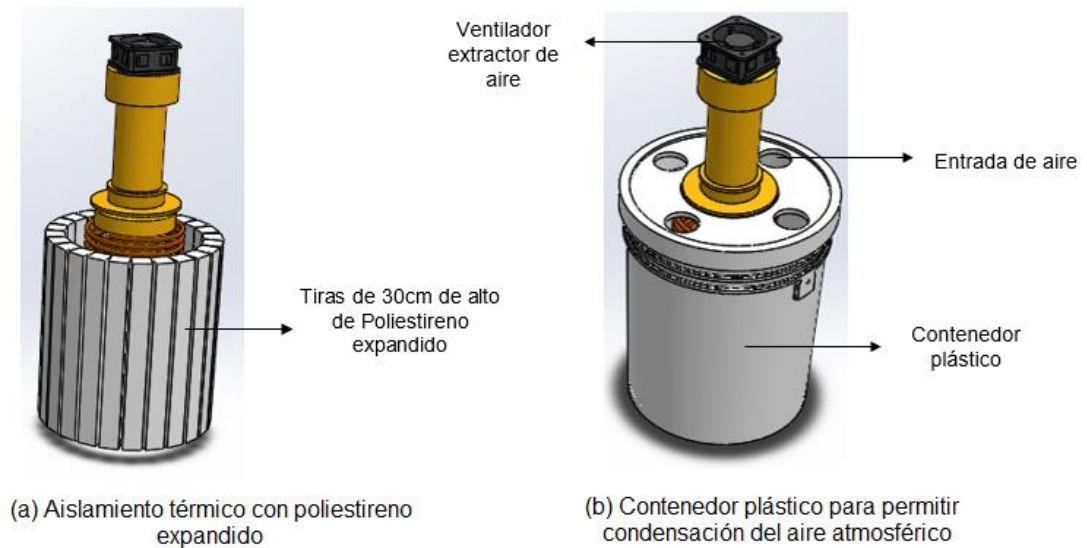
El módulo de condensación (ver Ilustración 20), está conformado por un tanque de 18.9 litros de capacidad, una llave de paso que permite interrumpir el flujo de agua en caso de ser necesario o cuando se quiera realizar mantenimiento a la máquina. Para poder extraer el aire del módulo de condensación y permitir que este fluya, se ha propuesto el diseño que aparece en la Ilustración 21 (a) este diseño está compuesto por un tubo PVC de 3", 3 bujes y 1 ventilador de 8 cm. La función de los bujes es permitir el acople entre los tubos de PVC y el ventilador.

Para que el líquido refrigerante pueda intercambiar calor con el aire atmosférico se propone el diseño de 8 metros de tubería de cobre en forma de serpentín, de los cuales 3 metros tienen un diámetro de 3/8" y los restantes 5 metros presentan un diámetro más pequeño, de 3/16", como se muestra en la Ilustración 21 (b). La reducción a la mitad del diámetro de la tubería se debe a la implementación de un serpentín reciclado del anterior prototipo cuya descripción se encuentra en el Anexo C.



**Ilustración 21.** Extractor de aire con serpentín de cobre en tubería PVC, fuente: propia

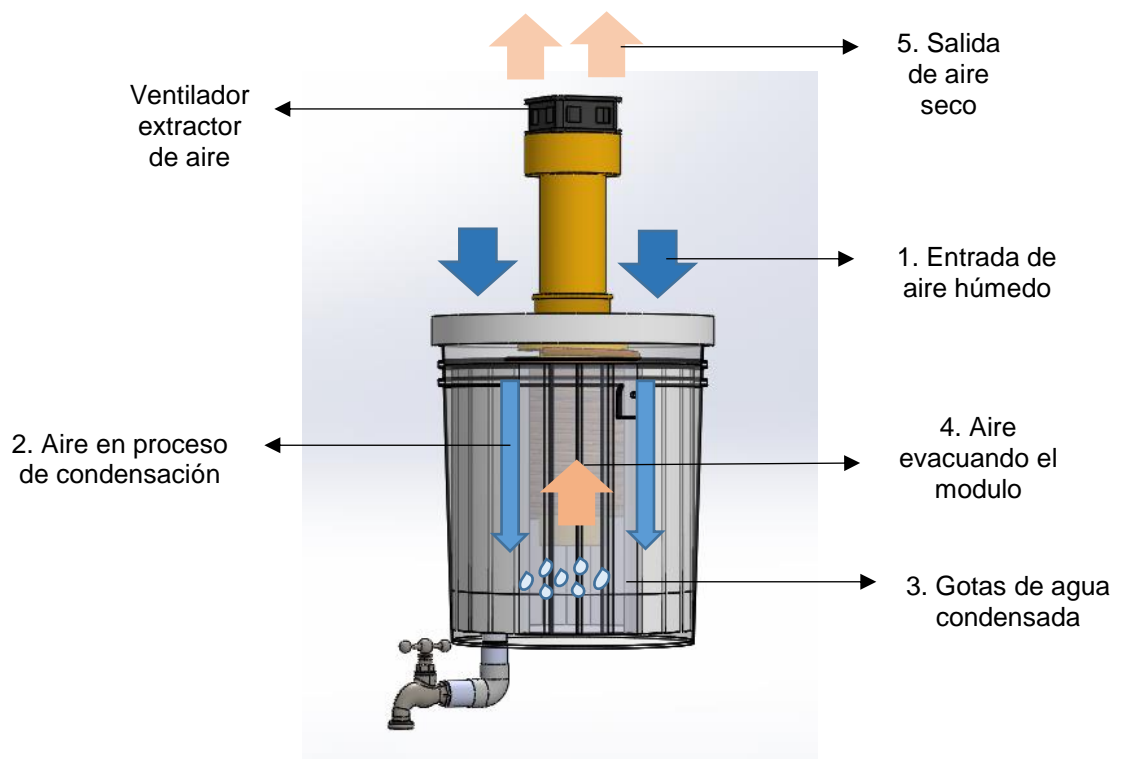
Para que el sistema descrito anteriormente solo interactúe con el aire del ambiente y no lo afecte la temperatura exterior, el tanque se debe aislar con un material como el Poliestireno expandido. En la Ilustración 22 (a) se propone el diseño para aislar térmicamente el recipiente.



**Ilustración 22.** Aislamiento térmico y contenedor plástico , fuente: propia

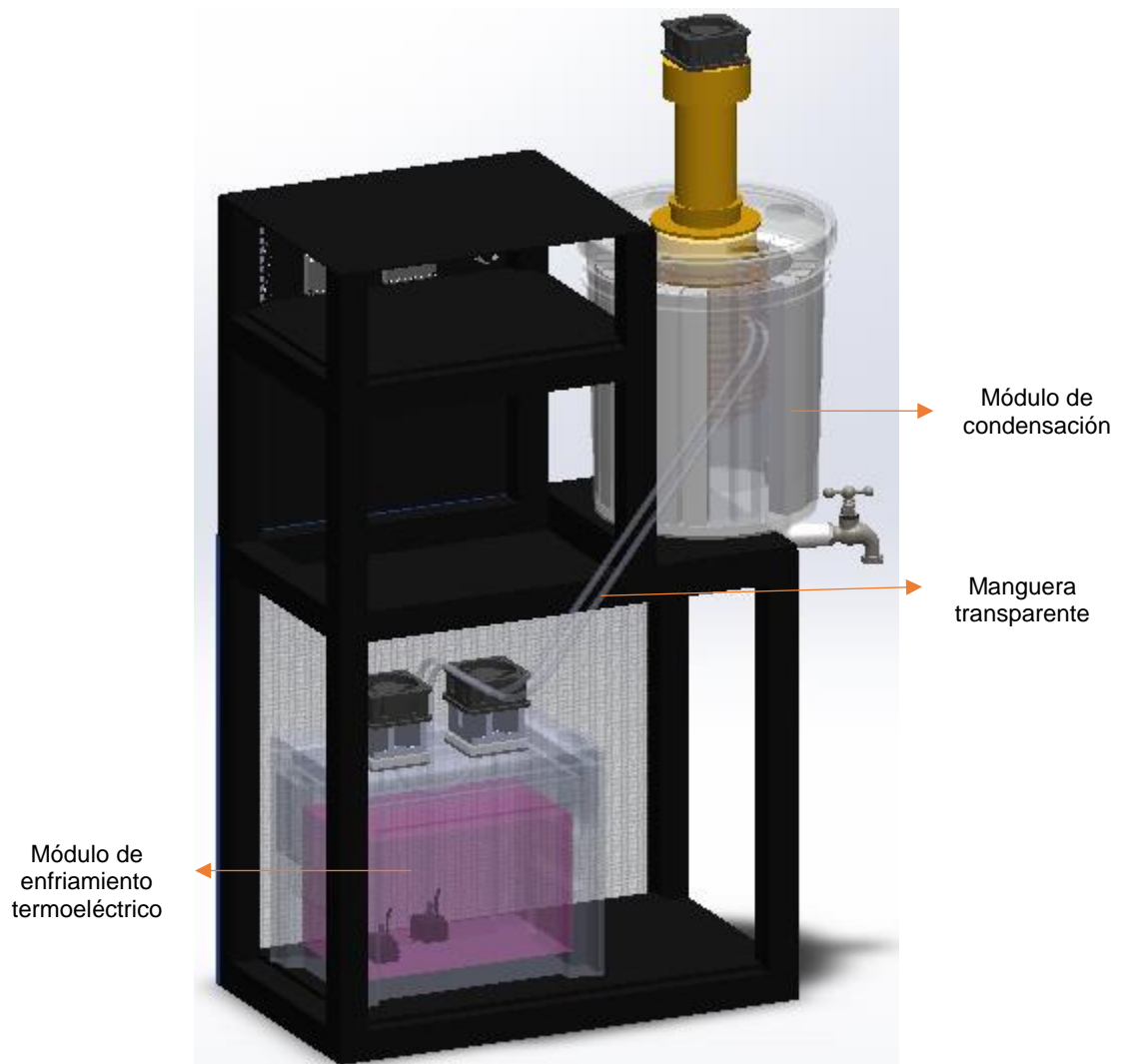
Los componentes anteriormente descritos se ubicarán en un recipiente plástico ya que este material es resistente a condiciones ambientales adversas, aunque el plástico no es un buen aislante térmico mediante la instalación de tiras de Poliestireno expandido se han solucionado los problemas de intercambio de temperatura con el ambiente. En la Ilustración 22 (b) se encuentra el módulo de condensación empaquetado en un recipiente plástico en donde para su implementación puede ser un cuñete de pintura, aunque su implementación se describe en detalle en el capítulo 4.

A continuación, en la Ilustración 23 se muestra de forma general el funcionamiento del módulo de condensación, el cual permite la obtención de agua a partir del aire atmosférico húmedo.



**Ilustración 23.** Flujo de aire en el módulo de condensación, fuente: propia

La capacidad del tanque plástico como se ha mencionado anteriormente es de 18.9 litros, sin embargo, la capacidad de almacenamiento de agua es de aproximadamente 3 litros de agua, aunque esta no es potable hasta que pase por los bloques de filtros que se describirán en la sección 3.4, remueven metales pesados e impurezas que existen en el aire y que al condensar el vapor de agua son perjudiciales para la salud del ser humano si se llega a consumir.

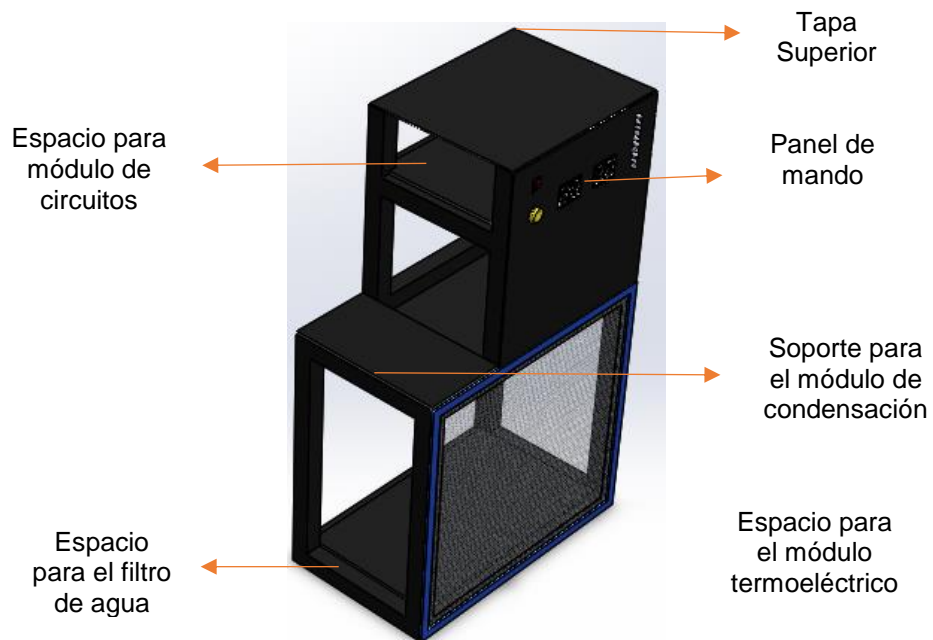


**Ilustración 24.** Comunicación entre módulo de enfriamiento termoeléctrico y módulo de condensación, fuente: propia

Para poder comunicar el módulo de enfriamiento termoeléctrico con el módulo de condensación se propone el diseño de la Ilustración 24, este está compuesto por dos mangueras, la primera permite el paso del líquido refrigerante hasta el serpentín de cobre y la segunda da paso al retorno del líquido al tanque de almacenamiento. Por lo anterior se hace necesario dos bombas de agua sumergibles que permite el transporte del líquido de un módulo al otro.

### 3.3 Diseño de la estructura de soporte

La estructura de soporte debe ser la encargada de contener todos los módulos del sistema, como el módulo de enfriamiento termoeléctrico, el módulo de condensación, el módulo de circuitos y el tanque de almacenamiento de agua potable. En la parte frontal como se ve en el la Ilustración 25 se ha diseñado un panel de mando el cual presenta diez leds para indicar el nivel de agua potable, un botón para resetear la tarjeta Arduino Mega, dos switches para prender dos fuentes de poder y cuatro display siete segmentos que van a permitir la visualización de los valores de temperatura y humedad.



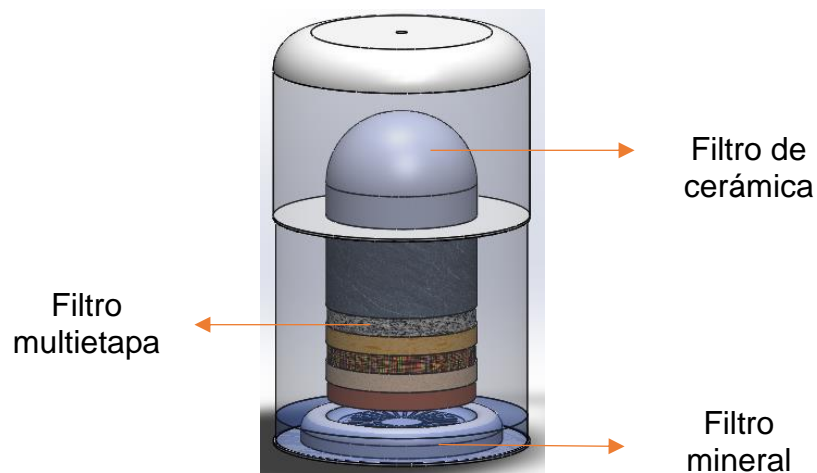
**Ilustración 25.** Estructura de soporte, fuente: propia

La Ilustración 25 permite una vista desde la parte trasera de la estructura de soporte, esta deberá ser idealmente construida en acero inoxidable, material que no se será afectado por la corrosión cuando el sistema esté en ambientes muy húmedos [54]. La estructura donde estarán instalados todos los componentes necesarios, presenta una altura de 98cm x 50.5cm de largo x 36 cm de ancho, en el capítulo 4 se explica en detalle la forma en la que se implementó esta estructura.

### 3.4 Diseño de filtros de agua

Para potabilizar el agua obtenida de la atmosfera mediante el proceso de condensación se propone la implementación de una serie de filtros que retienen partículas y bacterias dañinas para el ser humano. En la Ilustración 26 se muestra el diseño propuesto para los filtros de agua, estos se componen por un filtro de cerámica, seguido por un filtro multietapa en donde se retienen metales pesados y por último se tiene un filtro mineral.

Debido a que el agua de la atmosfera ha sido destilada por el sol, ésta pierde minerales que se adhieren de forma natural cuando llueve y las gotas de lluvia caen sobre las rocas. Para recrear este proceso como se mencionó anteriormente se propone un filtro mineral.



**Ilustración 26.** Filtros de agua, fuente: propia

El filtro multietapa se compone de carbón activado, zeolita, arena mineral y WSM-300. A continuación, se expondrán las propiedades que tiene cada uno de estos materiales:

#### **3.4.1 Filtro cerámico**

El filtro cerámico retiene partículas de polvo, arena, bacterias como el cólera, la fiebre tifoidea, coliformes entre otros [55].

#### **3.4.2 Filtro multicapas**

El filtro multicapas presenta las siguientes etapas de filtración:

##### **3.4.2.1 Carbón activado**

El carbón activado remueve el cloro y productos químicos. El resultado es un agua pura, cristalina y con un agradable color y olor [56].

Ventajas:

- Evitar el mal sabor y olor.
- Diseñado para la adsorción máxima
- Post-filtro para reducir los residuos de carbón

En la salida del cartucho cuenta con una malla filtrante que evita la salida de gránulos finos del carbón activado u otras partículas en suspensión del agua filtrada.

##### **3.4.2.2 WSM-300**

Es un material esterilizante. Este material mata cualquier bacteria y mantiene el pH del agua.

#### **3.4.2.3 Zeolita**

Remueve metales pesados como mercurio, plomo, cromo, aluminio, entre otros. muy perjudiciales en el organismo del ser humano [57].

#### **3.4.2.4 Arena**

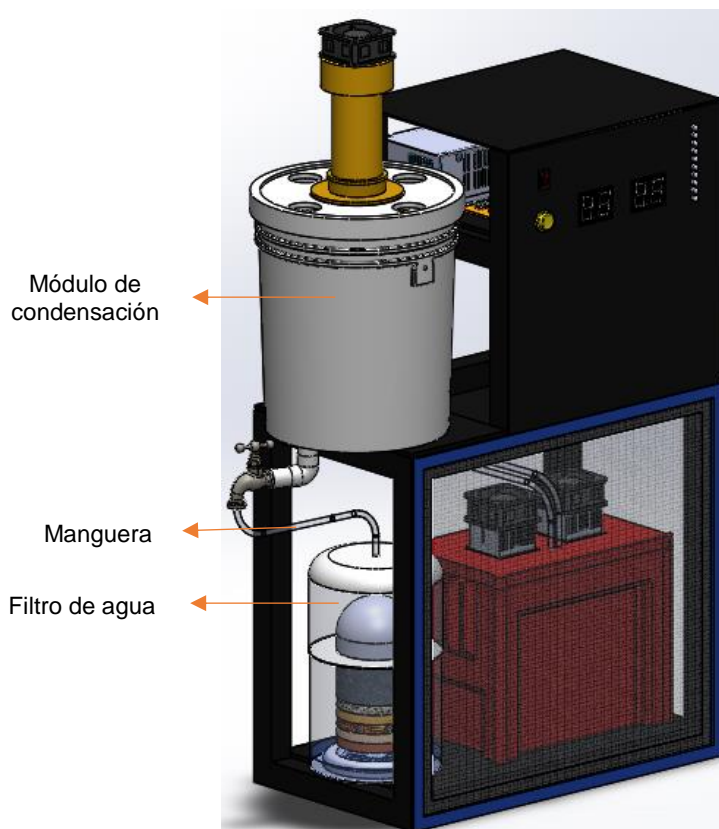
“Mejoran la calidad física, química y bacteriológica del agua sin uso de químicos, además de una operación sencilla, económica y eficaz” [58].

#### **3.4.3 Piedra Mineral**

Este filtro se compone de piedras extraídas de fondo del mar y contiene germanio mineral que promueve la salud y previene el cáncer. El germanio también absorbe metales pesados, toxinas, malos olores e impurezas del agua. Este filtro libera más de 200 tipos de minerales ionizados y dura aproximadamente 5 años al cabo de los cuales se agota y disminuye su tamaño. La piedra mineral es altamente porosa y ayuda a la oxigenación del agua y ajusta su pH a alcalino suave.

El módulo de condensación envía el agua hacia el filtro que permite potabilizarla mediante una manguera que en conjunto con una llave de paso permite el flujo de un módulo a otro como se ve en la Ilustración 27.

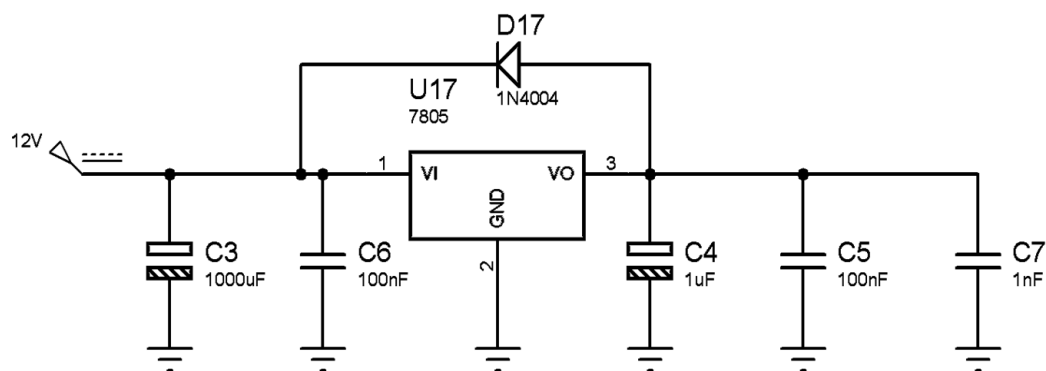




**Ilustración 27.** Comunicación entre módulo de comunicación y filtros de agua, fuente: propia

### 3.5 Módulo de circuitería

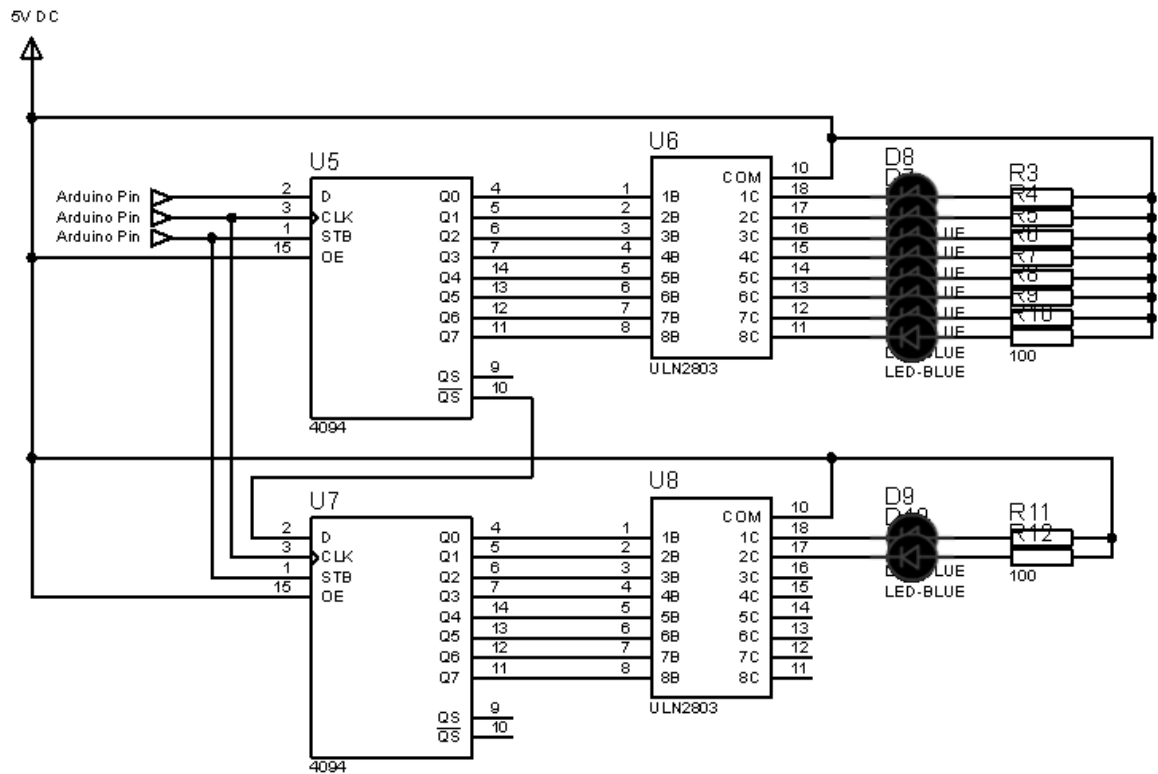
El circuito se compone de múltiples integrados, resistencias, capacitores entre otros elementos. Debido a que la fuente de alimentación entrega 12 voltios DC, para algunos integrados se hace necesario regular este voltaje hasta los 5 voltios DC. El integrado 7805 es perfecto para este tipo de trabajo según su hoja de características [59], tiene un límite de corriente de 1.5 amperios, pero la carga que se le va a conectar consume menos de  $\frac{1}{4}$  de amperio. Su diseño se expone a continuación en la Ilustración 28.



**Ilustración 28.** Regulador de tensión 7805, fuente: propia

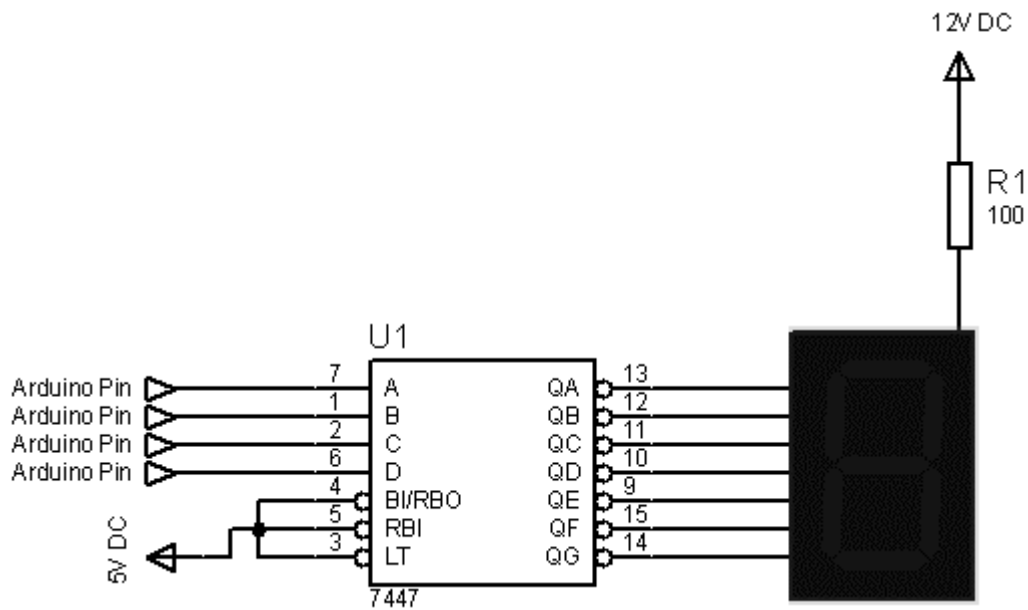
El integrado 4094 funciona con un voltaje de entre 3 y 20 voltios de acuerdo a su hoja de datos [60]. Estos son registros de desplazamiento de 8 bits lo que significa que tiene 8 pines de salida y los datos son desplazados de forma secuencial con cada flanco de subida del reloj.

Dos transistores ULN2803 [61] en configuración Darlington proporcionan la corriente necesaria a los 10 leds de chorro que son los encargados de permitir la visualización del nivel del tanque de almacenamiento de agua potable. Cada led encendido corresponde a una cantidad de 200ml de agua potable, es decir que, si los 10 leds se encuentran encendidos el nivel del tanque de agua potable es de 2 litros. Su diseño se presenta a continuación en la Ilustración 29. Una tarjeta Arduino Mega 2560 será la encargada de poner en funcionamiento los integrados anteriormente descritos.



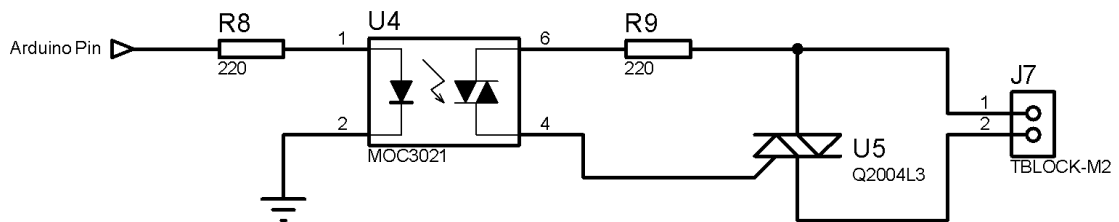
**Ilustración 29.** Leds indicadores de nivel para el tanque de almacenamiento, fuente: propia

También existen cuatro integrados 7447 los cuales tienen como función decodificar la información que se envía desde la tarjeta Arduino Mega en BCD y lo traduce en el sistema de numeración decimal para su posterior despliegue en los 7 segmentos de 2.1" de tamaño. Estos elementos se conectan mediante una resistencia de 100 ohmios a la fuente de alimentación de 12 voltios para una mejor visualización de los valores de temperatura y humedad presente en el ambiente como se muestra en la Ilustración 30. En [62] se exponen los valores en BCD y su equivalencia en el sistema de numeración decimal.

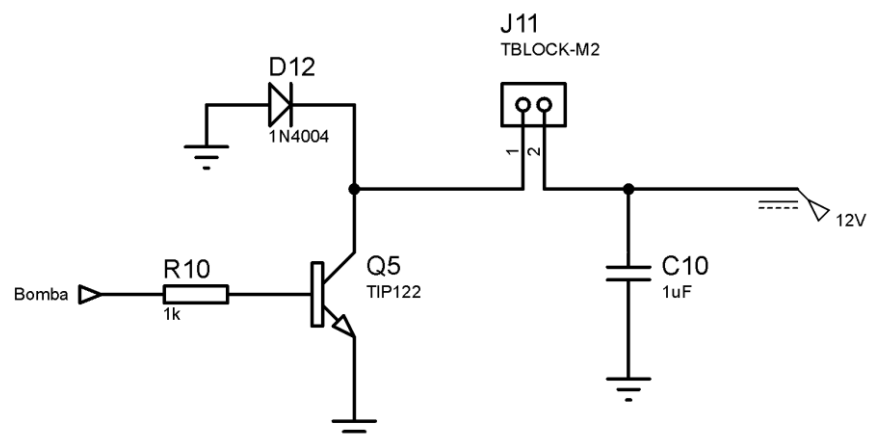


**Ilustración 30.** Decodificador BCD a 7 segmentos, fuente: propia

Para poder accionar las bombas de agua sumergibles las cuales permiten la circulación del líquido refrigerante por el sistema, es necesario un circuito el cual mediante un pulso de activación de la tarjeta Arduino funcionen. Para ello se diseñó el circuito que se presenta en la Ilustración 31. Cuando la tarjeta Arduino envía un pulso de activación, el transistor de referencia TIP-122 conecta una terminal del motor hacia tierra permitiendo que el actuador en cuestión funcione. Para apagarlo solo hay que enviarle un cero lógico desde la tarjeta Arduino y viceversa.

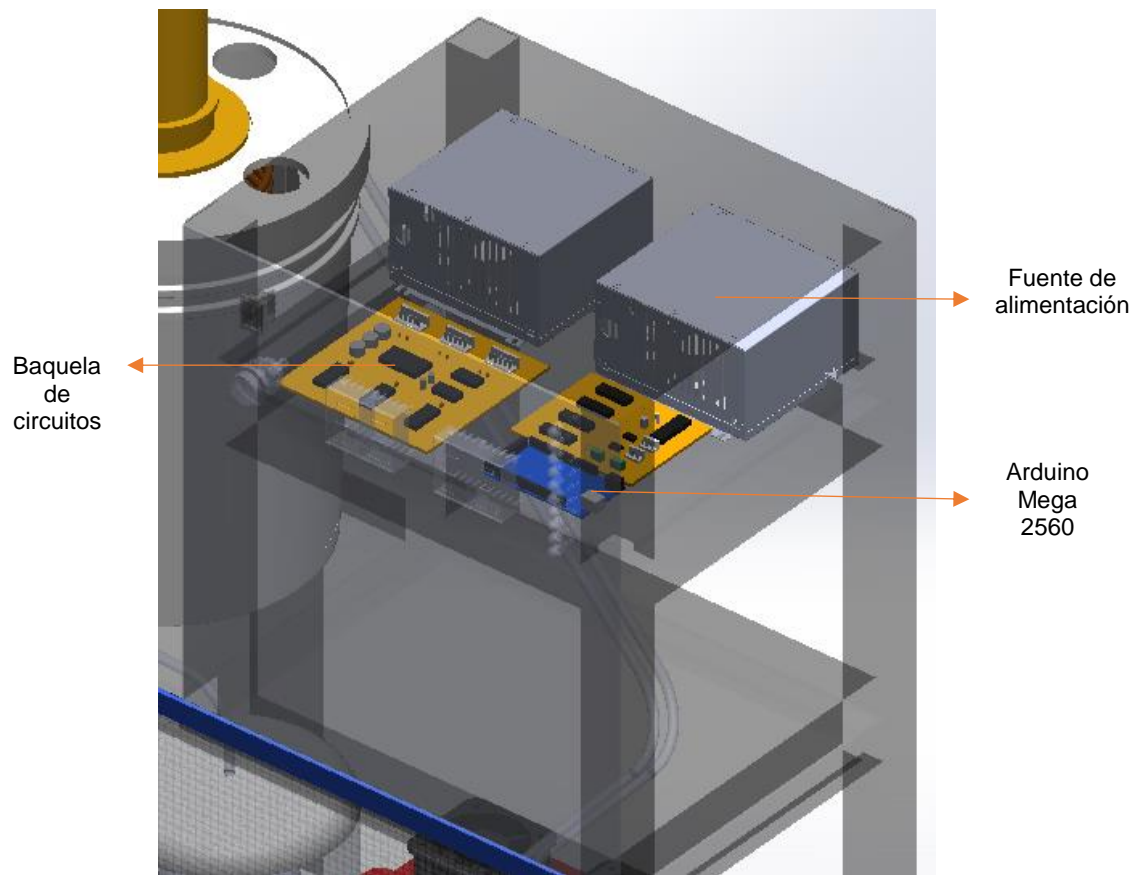


**Ilustración 31.** Circuito para accionar bombas de agua sumergible, fuente: propia



**Ilustración 32.** Circuito PWM para un motor DC, fuente: propia

Para poder realizar un PWM la Arduino debe contar con el circuito de la Ilustración 32. Los actuadores que funcionan gracias a este circuito son, el ventilador extractor de aire que se encuentra en el módulo de condensación y la bomba de agua que permite la condensación del vapor de agua presente en el aire. En la Ilustración 33 se presenta la ubicación del módulo de circuitos dentro de la estructura de soporte.



**Ilustración 33.** Módulo de circuitos, fuente: propia

### 3.6 Panel de mando

El panel de mando está compuesto por dos interruptores que cumplen la función de encender y/o apagar la máquina, un botón para reiniciar la tarjeta controladora Arduino en caso de que el sistema no responda. Cuatro display siete segmentos de 2.1" le permiten al usuario ver el valor de la temperatura y la humedad en el ambiente, finalmente mediante 10 leds se muestra al usuario el nivel del tanque de almacenamiento de agua potable. En la Ilustración 34 se exponen sus componentes.



**Ilustración 34.** Diseño CAD del Panel Mando, fuente: propia

Puesto que para poder alimentar los diferentes elementos electrónicos se necesita una fuente de voltaje, se plantea utilizar dos fuentes de alimentación, una para las placas Peltier puesto que estas consumirán poco más de 15 amperios y la otra es para el resto de elementos, ventiladores, circuitos, leds, 7 segmentos entre otros. Para resetear la tarjeta Arduino Mega se utiliza un final de carrera o switch conectado directamente a la tarjeta de desarrollo.

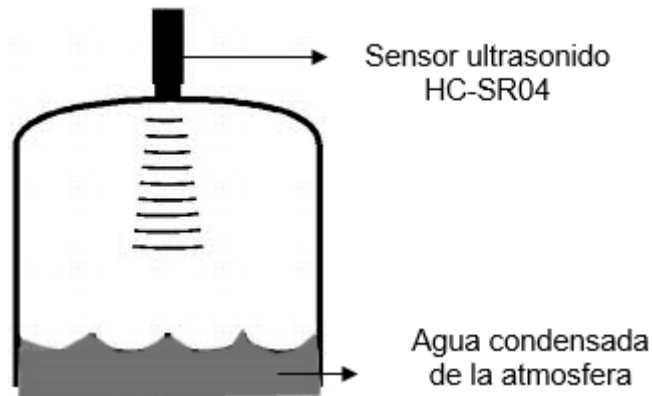
### 3.7 Controlador On/Of

Se debe tener especial cuidado en el tanque de almacenamiento de agua potable puesto que, si se sobrepasan los límites del mismo, el agua que se condensa de la atmosfera, empezará a desbordarse del tanque. Para evitar esto se diseñó un controlador on – off el cual utiliza el sensor de ultrasonido de referencia HC-SR04 [63].

Este tipo de controladores son los más elementales. Su funcionamiento se caracteriza por el envío de una señal de activación cuando la señal de entrada es menor que un set point o nivel de referencia, y desactivan la señal de salida cuando la señal de entrada es mayor que la referencia o set point [64].

Su implementación en Arduino se hace utilizando el sensor de ultrasonido anteriormente mencionado, el cual envía información del nivel del tanque de almacenamiento hacia el controlador. Si este nivel está por debajo de la referencia el sistema se enciende y cuando el nivel supere la referencia el sistema debe apagarse para que el nivel del tanque no se desborde.

El sensor de ultrasonido está encargado de medir el nivel del tanque de agua potable. Una vez se supere un nivel de 2 litros el sistema debe apagarse, de lo contrario debe estar encendido. Su diseño se expone a continuación, en la Ilustración 35.



**Ilustración 35.** Nivel del tanque con sensor de ultrasonido, fuente: propia



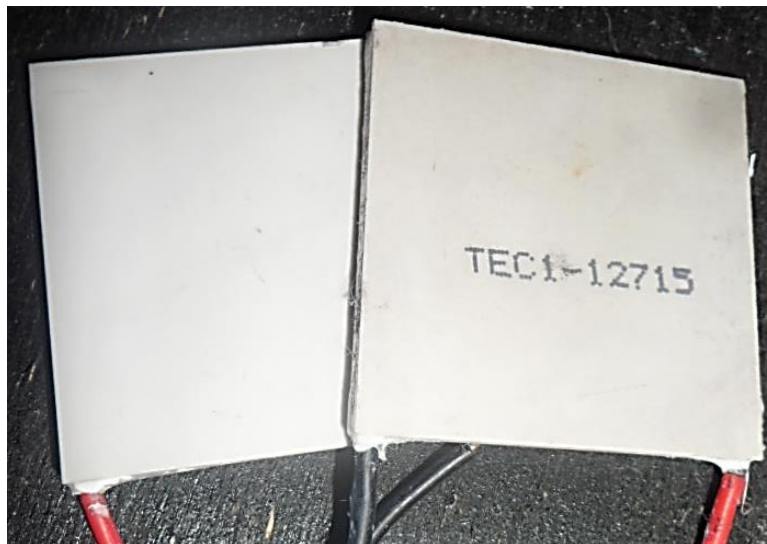
## CAPITULO IV: IMPLEMENTACION

En este capítulo se describe la implementación de las placas Peltier, elementos de disipación de calor, filtros de agua, circuitos y sensores necesarios para el correcto funcionamiento del generador atmosférico de agua potable.

### 4.1 Modulo de enfriamiento termoeléctrico

#### 4.1.1 Placas Peltier y disipadores de calor

Se realizó la adquisición de 2 placas Peltier de referencia TEC1-12715 como se ve en la Ilustración 36 para enfriar así 8 litros de líquido refrigerante.



**Ilustración 36.** Adquisición de placas Peltier, fuente: propia

Para refrigerar las placas Peltier se utilizan disipadores de referencia **HP PN 410515-001** debido a que los termoelementos generan un calor excesivo el cual si no se disipa correctamente puede dañar el elemento en cuestión. Estos disipadores de aluminio se encuentran en la Ilustración 37.



**Ilustración 37.** Disipador de calor en aluminio, fuente: propia

Para sujetar todos los elementos, placas Peltier, disipador y bloque de enfriamiento, se hace necesario un sistema que tiene dos tornillos los cuales permiten que todos los elementos no se muevan y estén correctamente sujetos entre ellos. Este sistema se expone en la Ilustración 38.



**Ilustración 38.** Sistema para sujetar las placas Peltier al disipador de aluminio, fuente: propia

Todos los elementos correctamente sujetos se exponen a continuación en la Ilustración 39 (a). Una vista superior permite ver el sistema de enfriamiento Peltier

desde un ángulo diferente en la Ilustración 39 (b) La placa Peltier se encuentra entre el bloque de enfriamiento y el disipador de aluminio.



(a) Sistema de enfriamiento Peltier vista lateral



(b) Sistema de enfriamiento Peltier vista superior

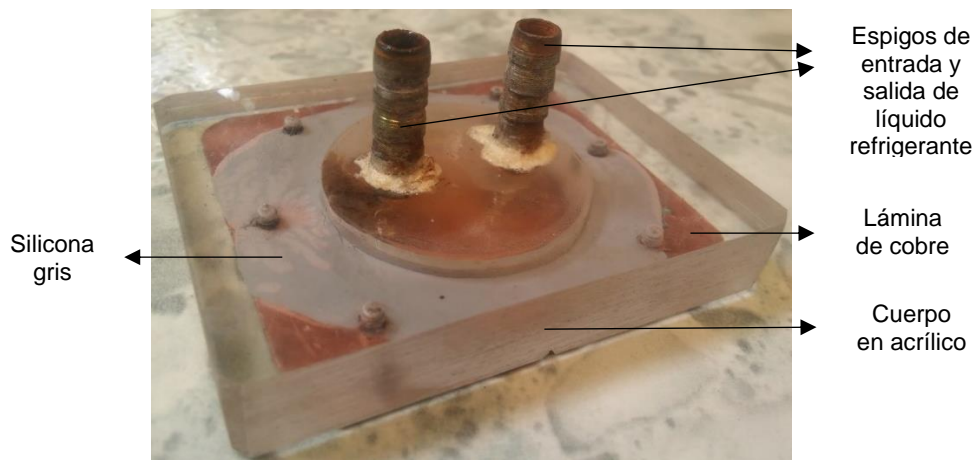
**Ilustración 39.** Sistema de enfriamiento Peltier, fuente: propia.

#### 4.1.2 Bloques de enfriamiento

El bloque de enfriamiento tiene como función hacer que el líquido refrigerante se enfríe. El líquido refrigerante presenta propiedades tales como un alto punto de ebullición, es anticorrosivo, anticongelante, no es inflamable, no causa efectos nocivos sobre mangueras, juntas y recubrimientos no metálicos que forman parte del sistema de enfriamiento. Los datos anteriormente descritos corresponden a los del fabricante expuestos en [52].

Una lámina de cobre se encarga de separar las placas Peltier físicamente, pero debido a que estas se enfrían y el cobre es un buen transmisor de calor, con el tiempo, el líquido que entra en contacto con la placa de cobre se enfría.

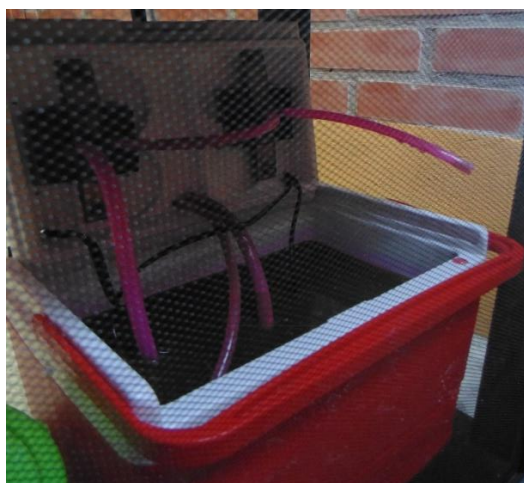
Los bloques de enfriamiento se elaboraron en acrílico y se utilizaron 2 espigas para hacer ingresar el líquido refrigerante además de permitir la salida del mismo. Este elemento se puede ver la Ilustración 40.



**Ilustración 40.** Bloques de enfriamiento, fuente: propia

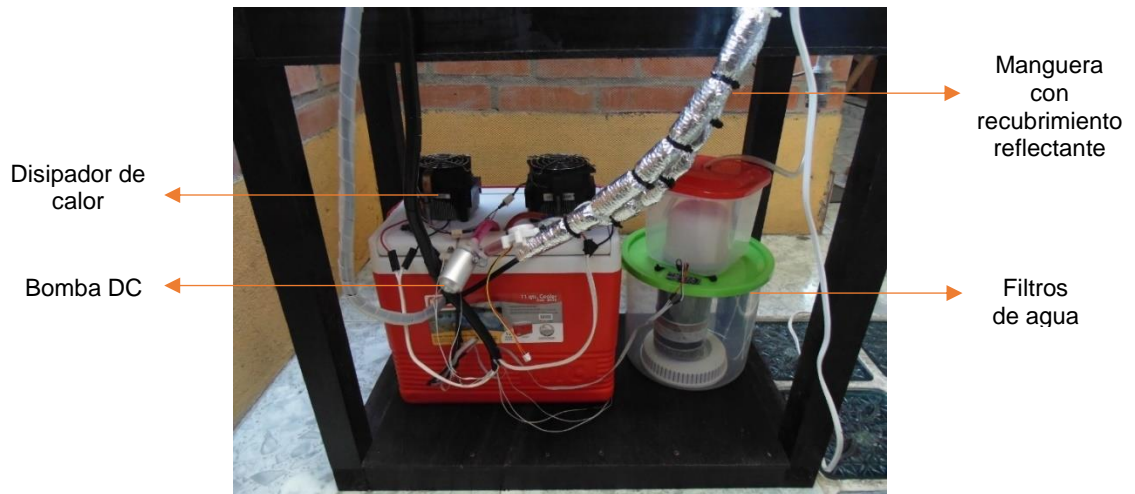
#### 4.1.3 Módulo de aislamiento

En la Ilustración 41 se puede observar el tanque plástico el cual contiene 8 litros de líquido refrigerante en su interior. Cabe resaltar que el tanque de almacenamiento debe estar herméticamente sellado, de no ser así la temperatura del líquido no podrá enfriarse dificultando el proceso de condensación. En el interior del tanque se ha implementado un sensor de temperatura para que la tarjeta Arduino accione la bomba de agua que permite la circulación por el módulo de condensación cuando la temperatura del líquido sea de 0°C.



**Ilustración 41.** Nevera plástica portátil con líquido refrigerante, fuente: propia

Las mangueras que comunican el módulo de condensación con el módulo de enfriamiento termoeléctrico se han recubierto con un reflectante el cual previene que el ambiente entre en contacto con el líquido refrigerante. El objetivo del sistema es que el líquido refrigerante llegue al módulo de condensación con la misma temperatura con la cual sale del módulo de refrigeración termoeléctrico. Esto se expone en la Ilustración 42.



**Ilustración 42.** Módulo de refrigeración termoeléctrica y módulo de filtros, fuente: propia

La unidad de enfriamiento consta de 2 placas Peltier de referencia TEC-12715 las cuales se encargan de enfriar 8 litros de líquido refrigerante hasta los 0°C como puede verse en la Ilustración 43. Este proceso tarda 16 horas, con un consumo aproximado de 154 Vatios.



**Ilustración 43.** Módulo de enfriamiento termoeléctrico, fuente: Propia

#### 4.2 Modulo de condensación

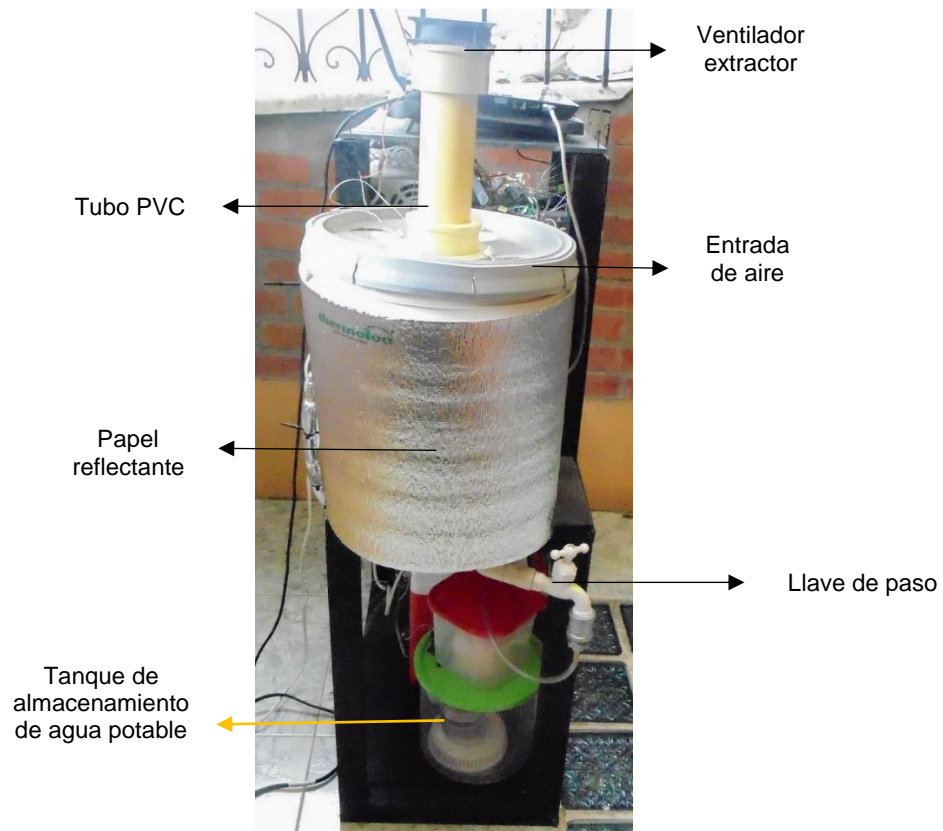
En la Ilustración 44 se expone el serpentín de cobre dentro del módulo de condensación, además se puede observar las láminas de Poliestireno expandido que se han implementado en el mismo.



**Ilustración 44.** Serpentín en módulo de condensación, fuente: propia

El serpentín de cobre se expone en la Ilustración 43. Cabe mencionar que de los 8 metros que mide este serpentín, 3 metros son de tubería con un diámetro de 3/8" y 5 metros son de 3/16".

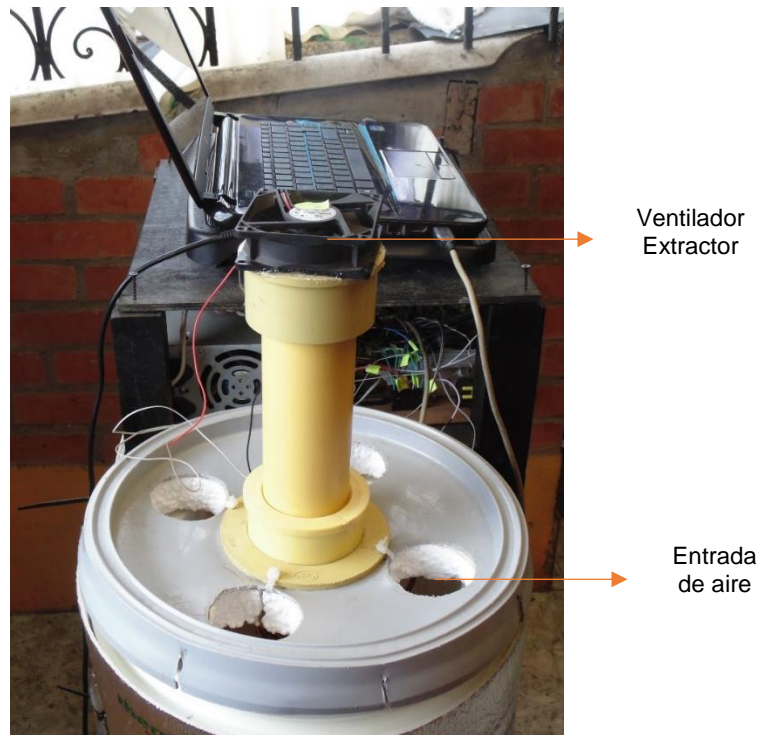
En la Ilustración 45 se presenta la implementación del módulo de condensación, para esto se utiliza un recipiente plástico de 18.5 litros de capacidad, en cuyo interior se encuentra el serpentín de cobre y las paredes están cubiertas de Poliestireno expandido. En la parte superior del módulo de condensación se encuentra un tubo de PVC con un extractor que aspira aire hacia el interior en donde el serpentín estará a una temperatura inferior a la de rocío y se producirá condensación. A medida que se condensa el vapor de agua presente en el aire atmosférico, van a caer gotas d agua que pasan al sistema de filtros para potabilizarla.



**Ilustración 45.** Módulo de condensación, fuente: propia

Es importante resaltar que el aire atmosférico ingresa por las cuatro entradas que tiene el módulo de condensación y lo que permite que el aire fluya a través de este

módulo es un ventilador el cual se encuentra en la parte superior del mismo como puede observarse en la Ilustración 46.



**Ilustración 46.** Módulo de condensación visto desde arriba, fuente: propia

Para poder realizar la conexión de la llave de paso con la manguera transparente que transporta el agua condensada hacia los filtros de agua se requiere de tres acoples, el primero es un buje de 3/4" a 3/4" hembra - hembra, un buje reductor de 3/4" a 1/2" y por ultimo un buje reductor de 1/2" a 3/8" el cual es el diámetro de la manguera transparente. Estos elementos se exponen en la Ilustración 47.

En la Ilustración 48 se exponen las mangueras con material reflectante las cuales conectan el módulo de enfriamiento termoeléctrico con el módulo de condensación, además de otros elementos como por ejemplo las fuentes de alimentación y el cableado pertinente de los sensores.





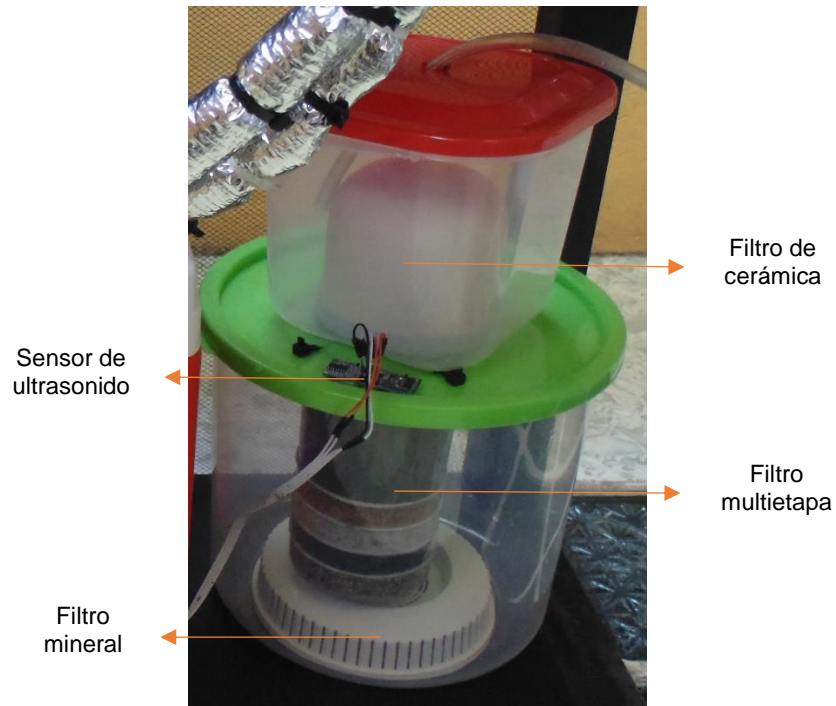
**Ilustración 47.** Acople en llave de paso, fuente: propia



**Ilustración 48.** Comunicación entre módulo de enfriamiento termoeléctrico y módulo de condensación, fuente: propia

### 4.3 Filtros de agua para potabilizar humedad atmosférica

El filtro está constituido por tres partes como se explicó en la sección 3.4, los cuales permiten potabilizar el agua una vez se ha condensado en el generador atmosférico de agua. Lo anterior se observa en la Ilustración 49.



**Ilustración 49.** Filtros para potabilizar agua, fuente: propia

### 4.4 Estructura del Generador de Agua Potable

Según el diseño propuesto en el Capítulo III el Generador Atmosférico se construyó de tal forma que cuente con: módulo de enfriamiento termoeléctrico, sistemas de filtros de agua, panel de mando y módulo de condensación tal y como puede verse en la Ilustración 50.



**Ilustración 50.** Generador atmosférico de agua implementado, fuente: propia

#### **4.5 Software y panel de mando**

Como se describe en la sección 3.6 en el panel de mando se implementaron 4 display siete segmentos de 2.1" de tamaño, al igual que 1 botón para resetear la Arduino y como el módulo de circuitos utiliza 2 fuentes se instaló un doble switch para encender y apagar las 2 fuentes de alimentación, la implementación se presenta en la Ilustración 51.



**Ilustración 51.** Panel de mando implementado, fuente: propia

El software desarrollado para el generador atmosférico de agua se constituye de una interfaz de usuario que permite visualizar las mediciones que realizan los múltiples sensores a través de una tarjeta Arduino Mega conectada a un computador. Los datos que se pueden visualizar son los provenientes de los sensores:

- Sensor de temperatura ambiente
- Sensor de humedad relativa ambiente
- Sensor de presión atmosférica
- Sensor de temperatura del módulo de refrigeración termoeléctrica
- Sensor de ultrasonido
- Sensor de flujo

Se implementaron características en la interfaz de usuario que permiten visualizar el estado de la comunicación con la tarjeta Arduino Mega, el nivel del tanque de agua potable y el estado del clima. También se muestran datos relevantes como la temperatura de rocío, humedad absoluta, humedad de saturación, entre otros. la interfaz principal de la aplicación se muestra en la Ilustración 52.



**Ilustración 52.** Interfaz gráfica de usuario desarrollada en Visual Studio, fuente: propia

Además, se implementó una característica que permite al usuario exportar los datos de las últimas 24 horas hacia un archivo Excel de extensión .xls para realizar gráficos y análisis de estos datos. Los datos que se pueden exportar son:

Hora	Temperatura Ambiente	Humedad ambiente	Temperatura del Tanque	Punto rocío	Flujo Aire	Nivel del tanque	Humedad absoluta

Para poder realizar esta acción el usuario se debe dirigir al menú archivo – Guardar y se generara automáticamente un archivo con extensión .xls en la carpeta en donde se tenga instalada la aplicación.

Para poder saber el estado del clima la interfaz debe hacer uso del sensor de presión atmosférica. Este sensor le entrega a la tarjeta Arduino un valor de presión atmosférica en unidades de HPa. Ahora bien, ese valor se compara con la presión atmosférica de la ubicación de la máquina. Este valor lo debe suministrar el usuario, de lo contrario esta funcionalidad no va a entregar valores correctos. El usuario ingresa un valor de altura de su ubicación en unidades métricas como se ve en la Ilustración 53 y mediante un cálculo se halla la presión atmosférica en HPa correspondiente a la altura que ha ingresado el usuario. Si al restar estos valores de presión atmosférica se obtiene un resultado entre 0 y 2.5 el clima es **soleado**, entre 0 y -6 el clima es **parcialmente nublado** y por ultimo si se obtiene un valor inferior a -6 el clima es **lluvioso**.



**Ilustración 53.** Ingreso de altura en interfaz gráfica de usuario, fuente: propia

En la interfaz de usuario correspondiente a la Ilustración 52, se muestra la temperatura y humedad relativa del ambiente. Resulta importante resaltar que los colores que ahí aparecen corresponden a diferentes tipos de ambientes. En la Ilustración 54 se puede observar que el color rojo corresponde a un ambiente cálido y seco, el color verde a un ambiente templado y el color azul a un ambiente frío y húmedo. Si el color del valor correspondiente a la temperatura es rojo y para la humedad relativa es azul, por ejemplo, esto significaría que el ambiente es cálido y húmedo. Un ambiente cálido y húmedo es ideal para el generador atmosférico de agua potable.



**Ilustración 54.** Significado de colores en temperatura y humedad relativa, fuente: propia

Cuando se necesite realizar cálculos a partir de datos concretos, se puede utilizar la herramienta calculadora, esta interfaz permite mediante el ingreso de un valor de temperatura y un valor de humedad relativa calcular humedad de saturación, humedad absoluta y por último el punto de rocío. Por ejemplo, para una temperatura de 18.7°C y una humedad relativa del 80% además de una presión atmosférica de 820 HPa la interfaz mediante una clase interna en donde realiza todos los cálculos respectivos, entrega como resultado una humedad absoluta de  $12.83 \frac{g}{m^3}$ , una humedad de saturación de  $16.04 \frac{g}{m^3}$  y una temperatura de rocío de 15.2 °C. Este ejemplo se puede ver en la Ilustración 55 (a).



(a) Calculadora simple



(b) Calculadora expandida

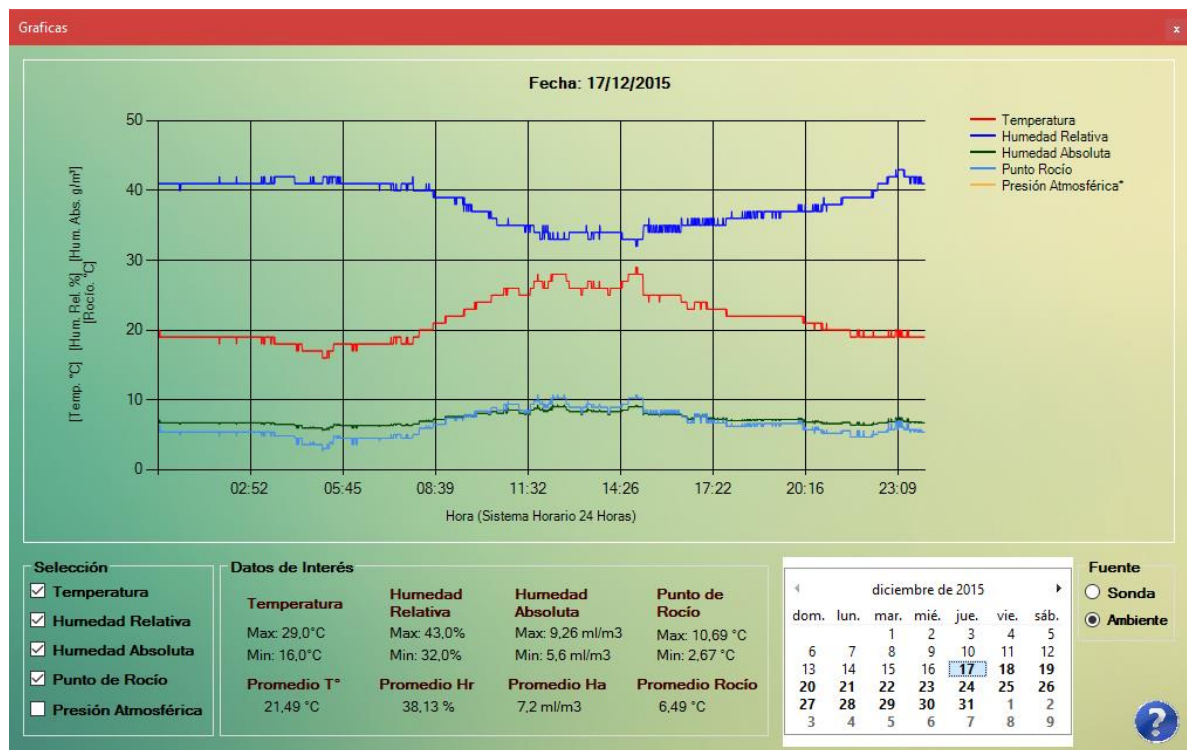
**Ilustración 55.** Calculadora simple y expandida, fuente: propia

Como el programa solo permite hacer cálculos con unidades que son los grados Celsius y Hecto pascales, se diseñó e implemento una extensión de la misma interfaz en donde se pueden hacer conversiones entre unidades. Para la temperatura se pueden hacer conversiones entre grados Celsius, grados Fahrenheit y grados kelvin. Para la presión atmosférica se pueden hacer conversiones entre atmosferas, bar, torr, pascal y PSI. Un ejemplo práctico se puede ver en la Ilustración 55 (b).

Una parte importante que se diseñó e implemento en la interfaz gráfica de usuario es un módulo que permite la visualización de datos como lo son la temperatura ambiente, humedad relativa, presión atmosférica, humedad absoluta y punto de rocío. Cabe resaltar que estos datos se toman durante todo el día y en total en este proyecto de registraron más de 100 días. Para ello en la tarjeta de desarrollo se diseñó e implemento un registrador de datos.



En la Ilustración 56 se expone el día 17 de diciembre de 2015. En Colombia en el mes de diciembre de 2015 se presentaba el fenómeno del niño y es por ello que se registró un día muy caluroso y seco [65]. Estas graficas son de vital importancia para analizar y sacar tantos datos de ellas como se desee. Se puede observar temperaturas máximas durante el día, temperaturas mínimas, humedad relativa promedio, presión atmosférica, punto de rocío promedio, humedad absoluta promedio, entre otros datos más.



**Ilustración 56.** Interfaz gráfica de usuario, graficas de un registrador de datos, fuente: propia

La interfaz cuenta con una alarma que se activa cuando la temperatura del sistema de refrigeración es superior a la temperatura de rocío puesto que si esto sucede no habrá condensación en el sistema. Esta alarma se puede desactivar en cualquier momento. El sistema de refrigeración debe bajar su temperatura hasta el punto de

rocío y cuando vuelva a aumentar por alguna falla el sistema o causas externas, la alarma se activa de nuevo.

Uno de los objetivos del sistema de condensación es obtener 2 litros de agua en un tiempo de 24 horas. El software cuenta con un temporizador el cual indicara al usuario este tiempo y la cantidad de agua que se ha logrado condensar. Una vez que el temporizador ha llegado a cero, el sistema activa un sonido de notificación.

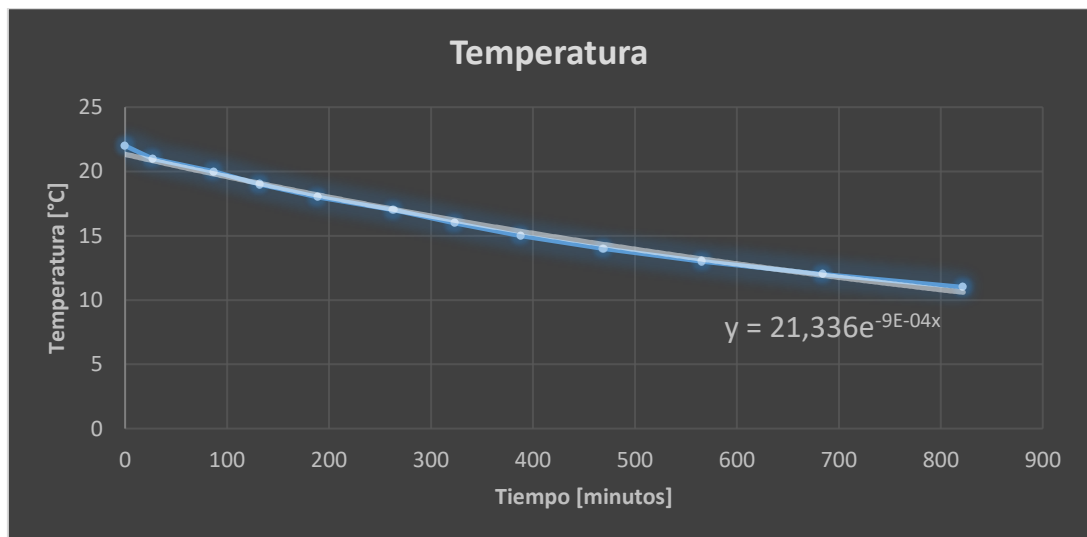
## CAPÍTULO V: RESULTADOS

### 5.1 Presentación de los resultados obtenidos en la investigación

Posterior al diseño e implementación de todos los componentes del generador atmosférico de agua potable, se realizaron diversas pruebas que incluyen el tiempo en que demoran las placas Peltier en enfriar el líquido refrigerante, observar la cantidad de agua que se condensa bajo diferentes condiciones climáticas, entre otras más.

### 5.2 Pruebas de enfriamiento del líquido refrigerante

Inicialmente se emplearon 2 litros de líquido refrigerante en la primera prueba de enfriamiento la cual se expone en la Ilustración 57. Se puede observar que el proceso tarda más de 13 horas para bajar la temperatura de 22°C hasta 11°C. Para esta prueba se utilizó una placa Peltier de referencia TEC1-12706.

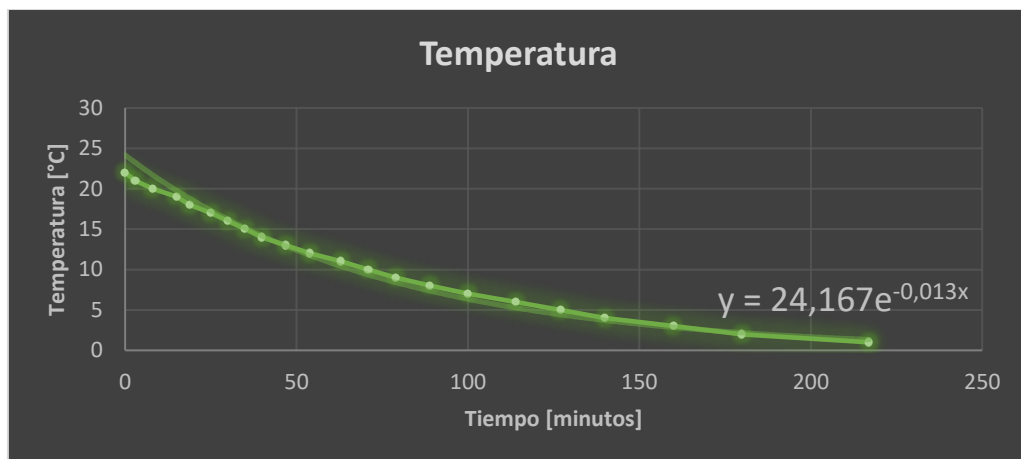


**Ilustración 57.** Resultados de enfriamiento de 2 litros de líquido refrigerante con una Peltier TEC1-12706, fuente: propia

Debido a este resultado se decidió descartar esta referencia de placas Peltier puesto que tardaban mucho tiempo en enfriar una cantidad pequeña de líquido refrigerante y además la temperatura del líquido no bajaba de los 11°C.

Es así como se realiza la adquisición de 2 placas Peltier de referencia TEC1-12715 las cuales presentan una mayor capacidad de extracción de calor que la referencia anteriormente mencionada.

La Ilustración 58 corresponde a una prueba que se realizó enfriando 2 litros de líquido refrigerante hasta una temperatura de 1°C utilizando las 2 placas Peltier de referencia TEC1-12715.

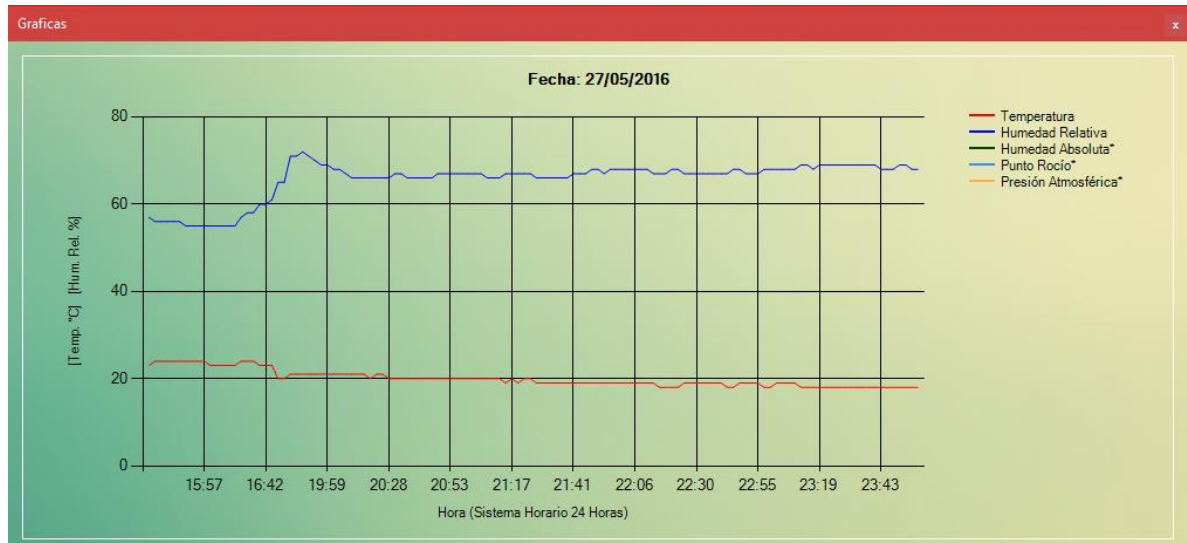


**Ilustración 58.** Resultados prueba de enfriamiento de líquido, fuente: propia

Se puede observar que la temperatura inicial es de 21°C y luego de 3.6 horas el líquido refrigerante se encuentra en 1°C.

Mediante el software implementado se puede ver en la Ilustración 59 las condiciones de temperatura y humedad relativa el día de la prueba, iniciando la misma a las 19:00 y finalizando a las 22:06. Puesto que en la noche la temperatura es más baja que durante el día, las placas Peltier enfrían un poco más rápido debido a que el ambiente está más fresco y el diferencial de temperatura es menor.

La temperatura ambiente influye de forma directa en el proceso de enfriamiento de las placas Peltier, cuando se registra una temperatura ambiente mayor a 24°C el sistema de refrigeración compuesto por disipador y ventilador ve afectado su funcionamiento lo que se traduce en un aumento del diferencial de temperatura evento que, aunque disminuye el desempeño de la maquina no la inutiliza.



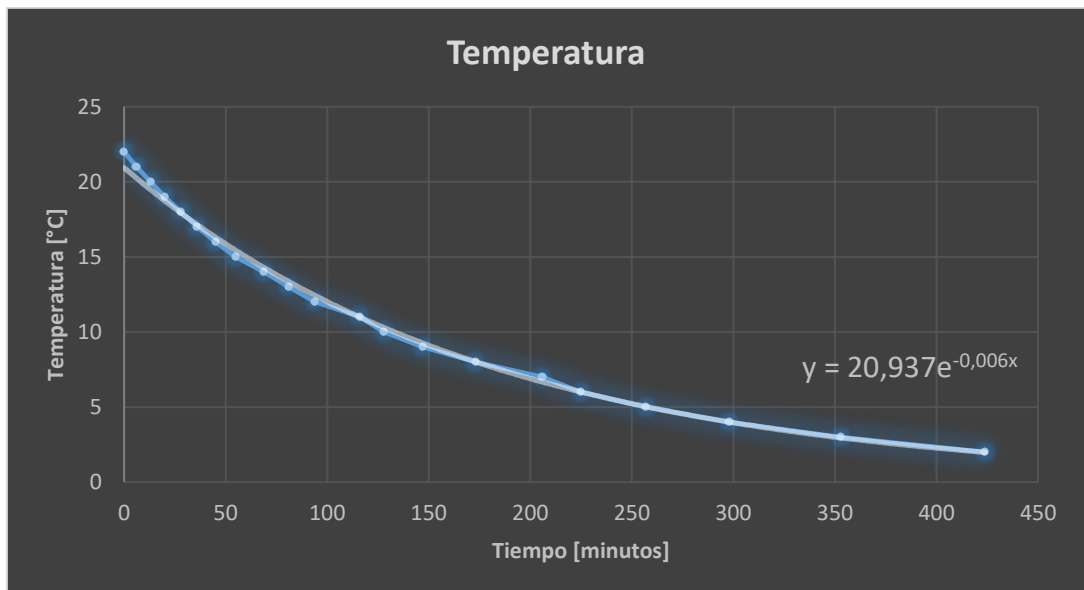
**Ilustración 59.** Condiciones climáticas para prueba con placas Peltier TEC1-12715, fuente: propia

Cuando el modulo termoeléctrico está en funcionamiento, se puede ver que por fuera de las mangueras que transportan el líquido refrigerante, al estar por debajo de la temperatura de rocío se produce condensación, lo anterior se puede apreciar en la Ilustración 60 (a) e Ilustración 60 (b). Para evitar este fenómeno se decide cubrir las mangueras con un aislante térmico para que la condensación suceda en el serpentín de cobre y no en las mangueras que transportan el líquido refrigerante hacia el módulo de condensación.

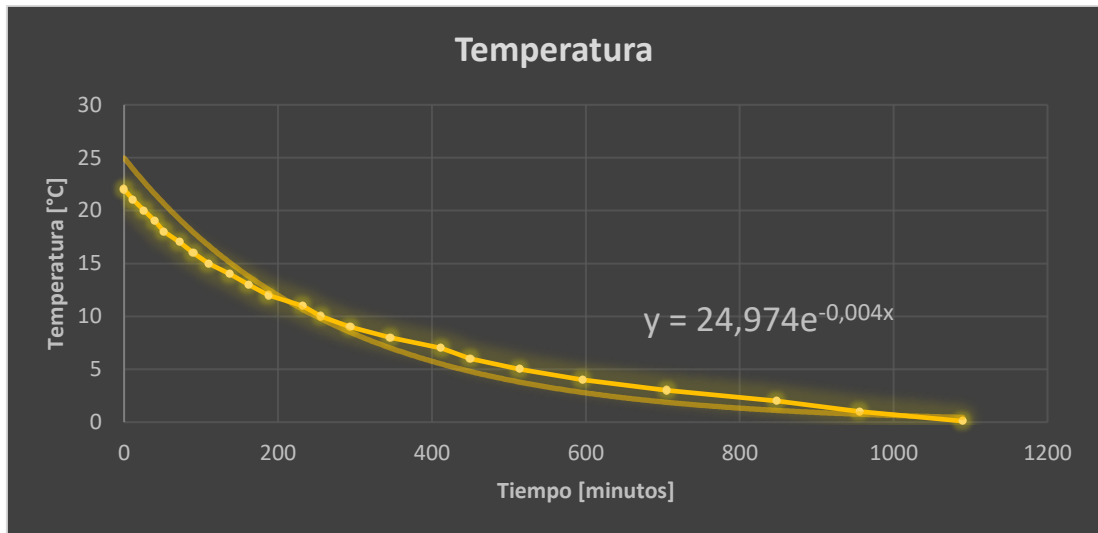


**Ilustración 60.** Manguera del modulo termoelectrico con rocío, fuente: propia

La Ilustración 61 corresponde al enfriamiento de 1 galón de líquido refrigerante, se observa que las placas Peltier tardan aproximadamente 7 horas en llevar la temperatura del mismo desde 22°C hasta 2°C. En la Ilustración 62, se evidencia que se requieren 18 horas para llevar a los 0°C 8 litros de líquido refrigerante, cantidad que será usada para el desarrollo del proyecto.



**Ilustración 61.** Resultados prueba de enfriamiento de líquido, fuente: propia



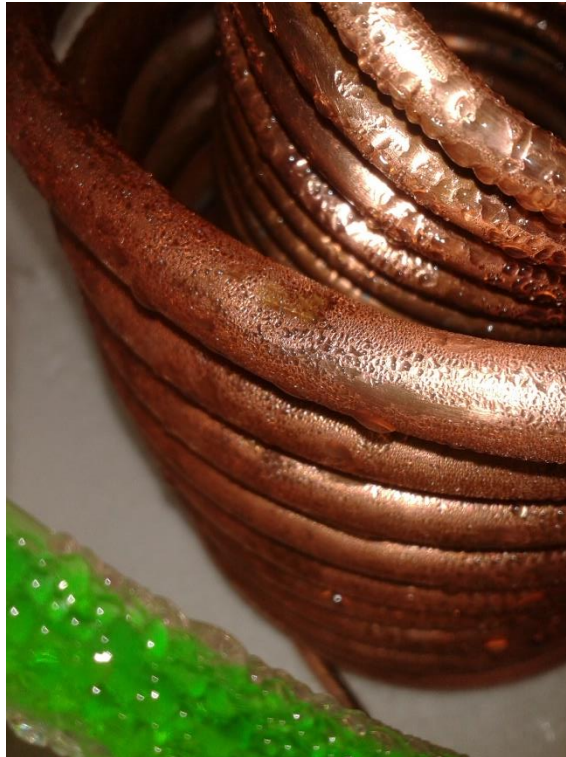
**Ilustración 62.** Resultados prueba de enfriamiento de líquido refrigerante, fuente: propia

### 5.3 Pruebas de condensación en serpentín de cobre

El proceso de condensación se caracteriza por la aparición de pequeñas gotas sobre una superficie. Con el tiempo, en el serpentín de cobre empiezan a aparecer estas gotas, que cada vez se hacen más grandes hasta formar una gota lo suficientemente pesada para que la gravedad pueda atraerla y caer a un recipiente, aunque muchas gotas diminutas quedan en el serpentín una vez se ha terminado el proceso. Dicho proceso termina cuando la temperatura del líquido refrigerante ha superado la temperatura de rocío, es aquí cuando se tiene que volver a enfriar el líquido refrigerante para repetir el ciclo.

En la Ilustración 63; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede ver el proceso anteriormente descrito. Este resultado se obtiene una vez se ha enfriado el líquido refrigerante hasta los 0°C y se hace fluir por el serpentín de cobre. Gracias a un sensor de flujo instalado en el sistema, se puede saber que en promedio el flujo es de  $160 \frac{l}{h}$ .

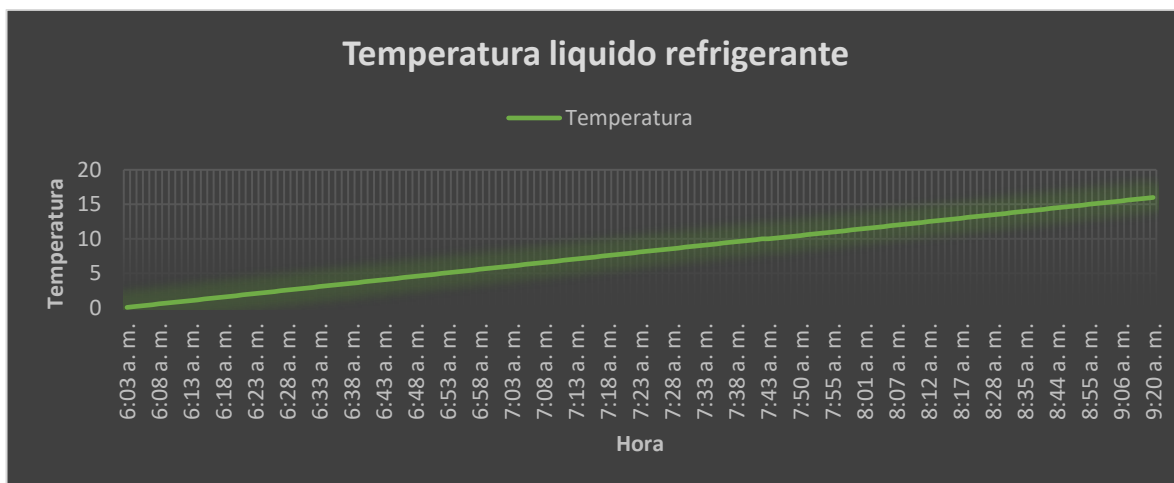
En la Ilustración 63 resulta interesante observar como en la tubería cuyo diámetro es de 3/16" se forman con mayor rapidez las gotas de lo que se forman en la tubería de diámetro de 3/8", esto sucede porque entre más pequeño sea el diámetro del serpentín de cobre más rápido se puede enfriar.



**Ilustración 63.** Diferentes diámetros del serpentín en proceso de condensación, fuente: propia

En la Ilustración 64 se observa como al hacer circular el líquido refrigerante, por el serpentín de cobre, este va aumentando su temperatura y al cabo de aproximadamente 3 horas la temperatura del líquido llega a un nivel tal que no sirve para condensar por lo que las placas Peltier deben enfriar el líquido para que se repita el ciclo.





**Ilustración 64.** Temperatura del líquido refrigerante en proceso de condensación, fuente: propia

A continuación, se muestran las pruebas más relevantes que se realizaron y la cantidad de agua que se obtuvo mediante condensación del aire atmosférico. Cabe resaltar que el proceso de enfriamiento del líquido requiere de **18 horas para llegar hasta los 0°C** y la condensación toma **3 horas** de acuerdo a la Ilustración 64.

### 5.3.1 Prueba 1

Se obtuvo **90ml** de condensado bajo las siguientes condiciones:

Humedad Relativa (%)	Humedad Absoluta (ml/m <sup>3</sup> )	Temperatura de Rocío (°C)	Temperatura Ambiente (°C)
42.9	8.63	9.3	23

### 5.3.2 Prueba 2

Se obtuvo **105ml** de condensado bajo las siguientes condiciones:

Humedad Relativa (%)	Humedad Absoluta (ml/m <sup>3</sup> )	Temperatura de Rocío (°C)	Temperatura Ambiente (°C)
52.9	9.52	10.68	21

### 5.3.3 Prueba 3

Se obtuvo **110ml** de condensado bajo las siguientes condiciones:

Humedad Relativa (%)	Humedad Absoluta (ml/m <sup>3</sup> )	Temperatura de Rocío (°C)	Temperatura Ambiente (°C)
63.7	12.1	14.4	21.89

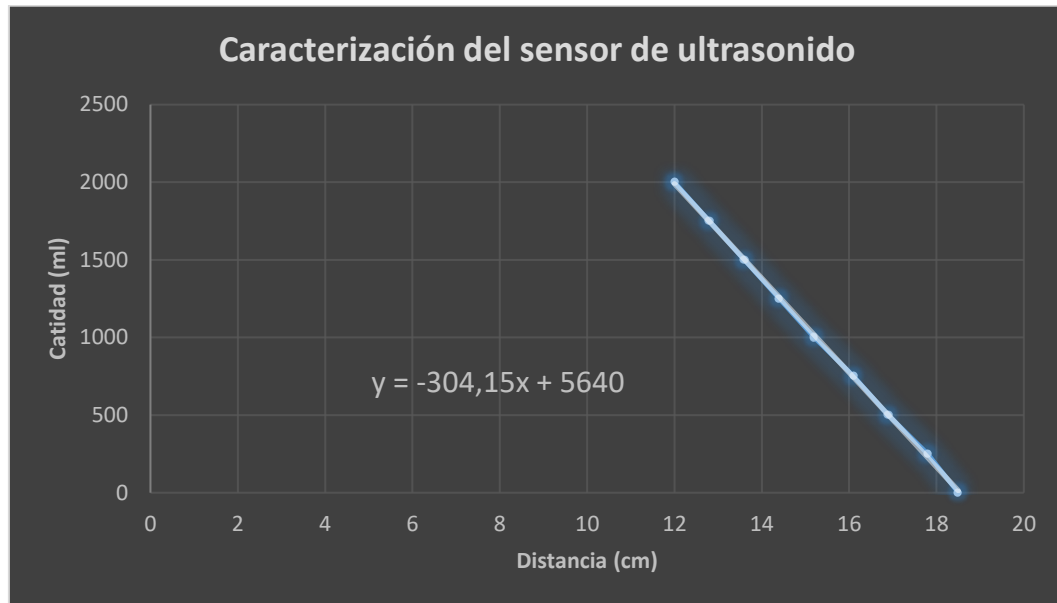
### 5.3.4 Prueba 4

Se obtuvo **130ml** de condensado bajo las siguientes condiciones:

Humedad Relativa (%)	Humedad Absoluta (ml/m <sup>3</sup> )	Temperatura de Rocío (°C)	Temperatura Ambiente (°C)
71.9	12.7	15	20.6

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas 1, 2, 3 y 4 se puede decir que la humedad relativa y la humedad absoluta influyen de forma directa en la cantidad de agua que se obtiene con el generador atmosférico de agua potable, en donde un aumento del 167% en la humedad relativa y 147% de la humedad absoluta representa un aumento del 144% en el agua potable obtenida.

## 5.4 Controlador de nivel



**Ilustración 65.** Caracterización de sensor de ultrasonido, fuente: propia

El sensor de ultrasonido implementado en el tanque de almacenamiento de agua potable funciona bajo la ecuación 55, este tiene como función apagar el sistema una vez se supere el punto de referencia que son 2 litros de agua lo que es igual a una distancia de 12 cm desde el sensor hasta el nivel agua, de lo contrario, el sistema deberá estar encendido, condensando vapor de agua contenido en el aire atmosférico.

$$Cantidad(ml) = -304.15 * Distancia(cm) + 5640 \quad (55)$$

## 5.5 Consumo de energía de los elementos

El precio kilovatio hora en Colombia se encuentra en **274.9 pesos colombianos** para el mes de noviembre de 2016 [66]. Así que la maquina al estar encendida durante 18 horas enfriando el líquido consume una energía de 2.56kwh y al condensar 3 horas consume 0.0895 kWh. El costo durante el día es de **728.3 pesos colombianos**.

La alimentación mediante paneles solares requiere de un panel solar de 200w y un regulador de 20 amperios. Un banco de baterías puede ser usado y su capacidad debe ser de al menos **220 Ah**.

<b>Elemento</b>	<b>Corriente (mA)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Vatios (W)</b>
Arduino	110	5.0	0.55
Baquelas	390	11.9	4.6
Ventiladores	800mA	11.9	9.5
Bomba DC	1400	11.9	16.6
Peltier	15400	10.3	158.3
Bombas AC	-	-	15
<b>Total</b>	-	-	189.5

**Tabla 7.** Consumo energético de los componentes, fuente: propia

### 5.6 Análisis del agua

Con el objetivo de verificar que el agua obtenida por el generador atmosférico de agua potable sea realmente potable se realizan análisis de laboratorio con el apoyo del ingeniero de la facultad de ambiental Arnol Arias Hoyos y la colaboración de la Fundación Universitaria de Popayán sede los Robles con equipo de laboratorio. Para efectuar los análisis se usaron dos muestras almacenadas en recipientes plásticos a temperatura de 4°C; la primera muestra corresponde al agua que se condensa de la atmosfera sin haber pasado por el sistema de filtros y la segunda muestra corresponde al agua una vez ha pasado por el sistema de filtros que permiten potabilizarla.

Se realizaron varias pruebas, la más importante que se realizó es el análisis microbiológico del agua con el objetivo de determinar los microorganismos presentes en las dos muestras de agua anteriormente mencionadas obteniendo el resultado expuesto en la Tabla 7. Aunque se nota la presencia de una colonia de

bacterias tanto en la Ilustración 66 como en la Ilustración 67, **estas no son coliformes.**

Esta prueba se realizó sobre un medio de cultivo EMB Agar, en donde después de dejar la muestra 24 horas a una temperatura de 30°C arrojando un resultado de ausencia de coliformes totales y fecales confirmando que el agua es potable.

Además de la prueba microbiológica se realizó la prueba de conductividad, para ello se emplea un instrumento llamado conductímetro el cual mide la resistencia eléctrica que ejerce el volumen de una solución entre los dos electrodos que tiene el mismo, en donde se obtiene como resultado el expuesto en la Tabla 7.

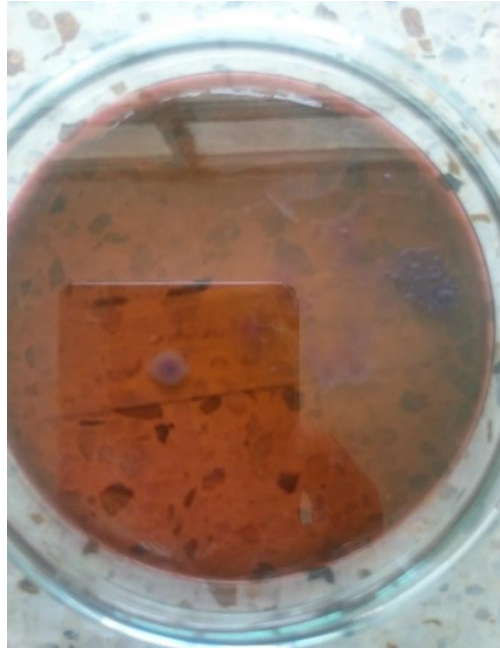
Otra prueba necesaria para indicar la potabilidad del agua es la que indica el grado de acidez o alcalinidad de las muestras, esta se tomó con un pH-metro y determinó un resultado alcalino, el agua que se obtiene después de pasar por el sistema de filtros es un poco más alcalina que el agua que se obtiene del aire atmosférico sin haber pasado por el sistema de filtros del generador atmosférico de agua potable como se expone en la Tabla 7.

Para poder medir las partículas suspendidas en las dos muestras de agua se empleó un turbidímetro. La muestra de agua que había pasado por el sistema de filtros tenía un mejor aspecto que la muestra que no había pasado por el sistema de filtros. El resultado se expone en la Tabla 7.

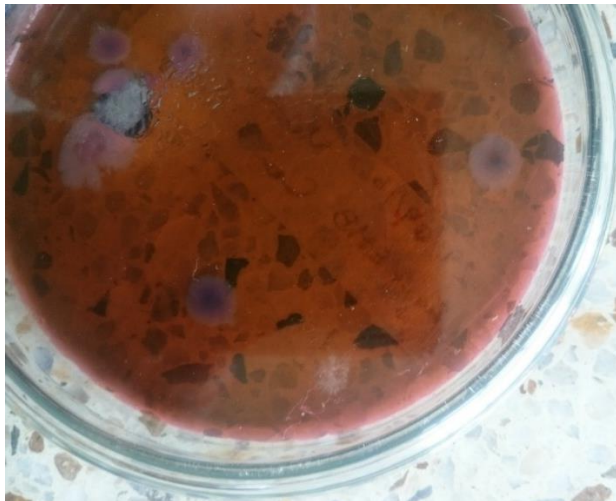
El color real es causado por compuestos disueltos en el agua y este se mide con un instrumento llamado colorímetro. Para realizar esta prueba al igual que todas las pruebas mencionadas, se debe limpiar el recipiente con agua destilada. Los resultados obtenidos se exponen en la Tabla 7.

La dureza del agua es la concentración de compuestos minerales. El agua "dura" es comúnmente alcalina, el agua se filtra lentamente hacia abajo a través de los filtros, es por esto que es más "dura". Para poder medirla se requiere de un kit en donde se obtuvo como resultado un agua "blanda" según la escala de dureza del agua la cual es la siguiente, muy blanda (0-70 mg/l), blanda (70-150 mg/l),

ligeramente dura (150-250 mg/l), moderadamente dura (250-320 mg/l), dura (320-420 mg/l) y muy dura (420 mg/l y superior). Este resultado se expone de igual forma en la Tabla 7.



**Ilustración 66.** Ausencia de coliformes fecales en muestra de agua sin filtros, fuente: propio



**Ilustración 67.** Ausencia de coliformes fecales en muestra de agua con filtro, fuente: propio

<b>MUESTRA 1</b>	<b>SIN FILTRACIÓN</b>	<b>CON FILTRACIÓN</b>	<b>NORMA</b>
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	330 us/cm	603 us/cm	-
<b>PH</b>	7,89 Und. de pH	8,46 Und. de pH	6.5 – 8.5 unidades de pH
<b>COLIFORMES FECALES</b>	Ausencia	Ausencia	-
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	Ausencia	Ausencia	1000 microorganismos /100 ml
<b>TURBIEDAD</b>	7,39 NTU	2,37 NTU	10 Unidades Jackson de Turbiedad, UJT
<b>COLOR</b>	330 UPC	71 UPC	20 UPC
<b>FOSFATOS(PO4)</b>	0,5 mg/L	2 mg/L	-
<b>DUREZA TOTAL(CACO3)</b>	120 mg/L	140 mg/L	-
<b>AMONIACO(NIT4-3)</b>	0 mg/L	0 mg/L	1.0 mg/L
<b>NITRITOS(NO2-1)</b>	0 mg/L	0 mg/L	1.0 mg/L
<b>NITRATOS(NO3-1)</b>	0 mg/L	0 mg/L	10.0 mg/L

**Tabla 8.** Resultados de análisis del agua, fuente: propia

El Decreto 1594 de 1984 Nivel Nacional, habla sobre la reglamentación en cuanto a usos del agua y residuos líquidos, en ella se establecen los valores para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico que se exponen en la Tabla 8 la cual muestra que el agua obtenida en el proyecto cumple con los valores que indica la normatividad colombiana.

De acuerdo a esta normatividad colombiana [67] se indica que para su potabilización se requiere sólo desinfección. Para realizar este procedimiento se necesita **Hipoclorito de Sodio** en donde se debe colocar en un recipiente. Una vez el agua este en un recipiente limpio, entonces debe agregarse el cloro líquido, en la cantidad que indica la siguiente formula:

$$v = \frac{V * D}{C * 10} \quad (56)$$

En donde:

v: volumen de solución de hipoclorito requerido en mililitros

V: volumen de agua a desinfectar en litros

D: dosis a lograrse en  $\frac{mg}{l}$

C: concentración % de cloro disponible en la solución de hipoclorito

10: valor constante

Por ejemplo, para desinfectar 1 litro de agua con hipoclorito de sodio al 1.2% y una dosis de  $1.5 \frac{mg}{l}$ , se obtiene el siguiente resultado:

$$v = \frac{1 * 1.5}{1.2 * 10} \quad (57)$$

$$v = \frac{1.5}{12} \quad (58)$$

$$v = 0.125ml \quad (59)$$

La ecuación (59) da como resultado que, por cada litro de agua obtenida por el generador atmosférico de agua potable, una vez haya pasado por el sistema de filtros, se necesitan 2 gotas y media de hipoclorito de sodio al 1.2 % **para potabilizarla**. Una vez hecho este procedimiento se puede consumir, es decir, **el agua es potable**.



## CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

### Conclusiones

El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de obtener agua potable en zonas residenciales en la ciudad de Popayán, en el desarrollo de este trabajo se llegan a las siguientes conclusiones:

- La eficiencia de la maquina depende de las condiciones ambientales en las que esté operando, a mayor humedad relativa y temperatura mayor cantidad de agua se condensará para el consumo humano.
- Según la ecuación (39) a temperaturas altas y humedades relativas altas se pueden obtener cantidades mayores a las obtenidas en el presente proyecto. Por lo que el generador atmosférico de agua potable funcionará de forma óptima en lugares que cumplan con estas condiciones.
- Las pruebas de funcionamiento permiten concluir que la eficiencia de las celdas Peltier está directamente relacionada con la cantidad de agua que se puede potabilizar en un día.
- Mediante la condensación de vapor de agua presente en el aire es posible obtener agua apta para el consumo humano lo que convierte al generador atmosférico de agua potable en un mecanismo útil y necesario para la humanidad.
- Se logró diseñar un controlador ON/OFF para el manejo del nivel de tanque de almacenamiento de agua potable Sin embargo es recomendable la implementación de otro tipo de controlador en el que el flujo de llenado sea inversamente proporcional al nivel del tanque.

- Para implementar el generador atmosférico de agua potable se usó la plataforma Arduino, esta plataforma al ser tan asequible hace de este proyecto una alternativa practica para las comunidades que no cuentan con fácil acceso al agua potable.

### **Trabajos futuros**

- Implementar un sistema de refrigeración líquida para las placas Peltier
- Mejorar el diseño y tamaño del serpentín de cobre
- Utilizar paneles solares y hacer el circuito pertinente para la alimentación de los elementos.
- Crear un aplicativo web para ver los datos del generador atmosférico de agua a través de internet.
- Reemplazar la madera de la estructura por acero inoxidable.
- Utilizar un spray anticorrosión para aislar el circuito de la humedad y del polvo.
- Implementar un sistema de dispensación para que un usuario pueda servir agua una vez se haya condensado y purificado.
- En el módulo de condensación crear un sistema de baja presión.

## Bibliografía

- [1] INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM, «Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia,» Bogotá, 2007.
- [2] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD, «Plan Nacional de Contingencia ante el fenómeno del Niño 2014-2015,» 2014.
- [3] Procuraduría General de la Nación, «MINERÍA ILEGAL EN COLOMBIA».
- [4] Organización Mundial de la Salud, «Guías para la calidad del agua potable,» 2006. [En línea]. Available: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf). [Último acceso: Noviembre 2016].
- [5] N. E. S. M. Venera Yadira Carrillo, «Elaboración de un filtro a base de carbón activado obtenido del endocarpo de coco con el propósito de reducir la dureza en el agua potable,» San Salvador, El Salvador, Centroamérica, Diciembre, 2013.
- [6] L. R. B. SARABIA, «DISEÑO DE UN FILTRO CON PIROCLASTOS FINOS PARA LA PURIFICACIÓN DEL AGUA DE LA COMUNIDAD DE SAN FRANCISCO (BAÑOS-TUNGURAHUA),» Riobamba, Ecuador, Abril, 2012.
- [7] V. G. L. M. Lazo Calle Maritza Beatriz, «Evaluación de la eficiencia de los filtros durante el proceso de potabilización del agua mediante análisis físico y microbiológico en la Planta de Tratamiento Uchupucun de la ciudad de Azogues,» Cuenca, Ecuador, 2015.
- [8] Procuraduría General de la Nación, «El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo».
- [9] RAP-AL Uruguay, «Mercurio, cianuro, minería y contaminación,» [En línea]. Available: [http://www.rapaluguay.org/agrotoxicos/COPs/Prensa/Mercurio\\_cianuro\\_mineria\\_contaminacion.pdf](http://www.rapaluguay.org/agrotoxicos/COPs/Prensa/Mercurio_cianuro_mineria_contaminacion.pdf). [Último acceso: Noviembre 2016].
- [10] J. A. Q. MORENO, «REVISIÓN DEL IMPACTO SOCIO AMBIENTAL POR LA MINERÍA EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ“CASO REGIÓN DEL SAN JUAN”,» Bogotá, 2015.
- [11] IDEAM, «IDEAM,» [En línea]. Available: [http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/HR\\_Anuual.pdf](http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/HR_Anuual.pdf). [Último acceso: Noviembre 2016].

- [12] L. F. J. N., Secado, procesamiento y almacenamiento de semillas forestales, 1997, pp. 28-29.
- [13] L. M. Sánchez, «Análisis de los deshumidificadores con rueda desecante,» Madrid, España.
- [14] M. A. R. SERRANO, DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAJE DE PUROS HABANOS CONTROLANDO TEMPERATURA Y HUMEDAD MEDIANTE TERMOELECTRICIDAD, pp. 47-48.
- [15] Thermonamic, «Specification of Thermoelectric Module TEC1-12715».
- [16] Gobierno de Aragón, «EVOLUCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO,» [En línea]. Available: [http://www.aragon.es/estaticos/ImportFiles/06/docs/%C3%81reas/Atm%C3%B3sfera/InvrEmis/InventarioEmisionesAtmosferaComuniddAragon2006/Inventario/CAPITULO\\_12\\_EVOLUCION\\_GASES\\_EFECTO\\_INVERNADERO.pdf](http://www.aragon.es/estaticos/ImportFiles/06/docs/%C3%81reas/Atm%C3%B3sfera/InvrEmis/InventarioEmisionesAtmosferaComuniddAragon2006/Inventario/CAPITULO_12_EVOLUCION_GASES_EFECTO_INVERNADERO.pdf) . [Último acceso: Noviembre 2016].
- [17] J. J. A. Giner, «Medidas de parámetros termoeléctricos en un dispositivo constituido por dispositivos Peltier Seebeck,» Cataluña, España, 2013.
- [18] R. H. P. MADRID, «CLIMATIZACIÓN MEDIANTE CÉLULAS PELTIER,» Septiembre de 2008.
- [19] C. Á. Martínez, «DISEÑO, ANÁLISIS, CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE UN RECINTO CLIMATIZADO CON TECNOLOGÍA PELTIER,» Madrid, 2016.
- [20] R. M. Atta, «Solar water condensation using thermoelectric coolers,» pp. 142-145, 2011.
- [21] g. R. maria m y b. a, «lectura complementaria parte II. El aire humedo y calculo de las variables que determinan su estado,» universidad Politecnica de Cartagena, españa.
- [22] O. F. F. CASCANTE, *generador de agua atmosferico, un caso particular: propuesta de metodo de prediccion de masa condensada e indice de aprovechamiento energetico*, 2014: universidad de costa rica .
- [23] j. l. g. montes, «condensador para obtener agua de la atmosfera por enfriamiento radiativo,» *anales de mecanica y electricidad* , pp. 44-48, 2010.
- [24] M. D. T. Carbonell -Morales, «Influencia de las condiciones ambientales en el comportamiento de un deshumidificador desecante. Parte I,» *ingenieria mecanica* , vol. 12, nº 1, pp. 1-12, 2009.

- [25] Y. d. torres y J. p. Monteagudo, «Sistemas de climatización solar de absorción. Barreras y perspectivas.,» *Universidad Nacional de Colombia sede Manizales* , nº 43, pp. 31-43, 2014.
- [26] L. M. D. Guzman, «Impacto ambiental de los refrigerantes ecologicos,» *El cuaderno ciencias estrategicas* , vol. 2, nº 4, pp. 213-222, 2008.
- [27] J. L. T.-S. Ana L. Bautista-Olivas<sup>1</sup>, O. L. Palacios-Velez y O. R. Mancilla-Villa, «La humedad atmosférica como fuente opcional de agua para uso doméstico,» *Agrociencia* , vol. 45, nº 3, pp. 293-301, 2011.
- [28] A. L. B. OLIVAS, J. L. T. SALINAS, Ó. R. M. VILLA, H. M. FLORES, C. R. AYALA, R. A. RAMÍREZ y M. A. V. PEÑA, «Calidad microbiológica del agua obtenida por condensación de la atmósfera en Tlaxcala, Hidalgo y Ciudad de México,» *Revista internacional de contaminacion ambiental* , vol. 29, nº 2, pp. 167-175, 2013.
- [29] D. A. L. Arias, «Filtros Cerámicos, Una Alternativa De Agua Segura,» Pereira, Colombia.
- [30] C. A. V. M. Walter Enrique Rivera Ramírez, «ELABORACIÓN DE UN FILTRO DE APLICACIÓN DOMESTICA PARA LA REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO DEL AGUA, UTILIZANDO EL PROCESO DE AERIACION Y CONTACTO,» San Salvador, El Salvador, Centroamerica, Febrero, 2013.
- [31] G. -. S. M. Patterson, EFECTO PELTIER, Buenos Aires, 5 de Diciembre de 2007, p. 2.
- [32] Y. M. Galperin, Introduction To Modern Solid State Physics, Oslo, 2001, p. 107.
- [33] C. d. Llano, Física, vol. II, Mexico, D.F.: Progreso, Marzo, 2007, p. 280.
- [34] R. P. Areny, Adquisición y distribución de señales, Barcelona, España: marcombo, 1993, p. 78.
- [35] J. B. Gayé, Formalismo y metodos de la termodinámica, Barcelona, España: Reverté, 1998, pp. 886-888.
- [36] L. L. GARCÍA, «CLIMATIZACIÓN MEDIANTE VENTANAS TERMOACTIVAS BASADAS EN CÉLULAS PELTIER,» Madrid, España, Junio, 2009.
- [37] D. M. Rowe, Thermoelectrics Handbook:Macro to Nano, Taylor & Francis, 2006.
- [38] H. J. Goldsmid, Theory of Thermoelectric Refrigeration and Generation, Springer, 2010.

- [39] R. G. Carolina Meruane, «Determinacion de humedad en la atmosfera,» chile, 2006.
- [40] F. j. Bueche y E. Hetch, *Fisica general schaum*, Mexico: McGrawHill, 2007, p. 407.
- [41] R. Nelson, *El Ciclo del agua*, Lerner , 2003.
- [42] B. J. Nebel y R. T. Wright, *Ciencias ambientales. Ecología y desarrollo sostenible*, Pearson, 1999.
- [43] S. Burbano, C. G. Muñoz y E. B. Garcia, *Fisica General*, Madrid: Editorial Tebar,S.L.
- [44] J. F. Ferrer y M. P. Carrera, *Iniciacion a Fisica*, BARCELONA: Editorial Reverte S.A.
- [45] Á. B. V. F. Saborío, *Elementos de climatología su aplicación didáctica a costa rica*, Universidad Estatal a Distancia, p. 18.
- [46] J. D. Wilson y A. J. Buffa, «Calor latente,» de *Fisica* , Mexico, Pearson Educacion de mexico S.A, 2003, pp. 381-383.
- [47] G. M. Paul Allen Tipler, *Física para la ciencia y la tecnología*, vol. 1C, New York : Reverté, 2003, pp. 521-523.
- [48] E. Harper, *Manual de instalaciones electromecánicas en casas y edificios hidráulicas, sanitarias, aire acondicionado, gas, eléctricas y alumbrado*, Mexico, D.F.: Limusa, 2003, p. 227.
- [49] R. A. Serway y J. S. Faugh, «Calor especifico,» de *Fisica*, Mexico, Pearson Educacion Mexico,5ta edicion, 2001, p. 342.
- [50] A. Chicago Blower, «Chicago Blower,Argentina,» 2006. [En línea]. Available: [http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria\\_de\\_los\\_ventiladores.htm](http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria_de_los_ventiladores.htm). [Último acceso: once noviembre 2015].
- [51] Wikiwand, «Wikiwand,» [En línea]. Available: [http://www.wikiwand.com/en/Water\\_cooling](http://www.wikiwand.com/en/Water_cooling). [Último acceso: 18 05 2016].
- [52] SIMONIZ, «SIMONIZ,» [En línea]. Available: <http://www.simonizauto.com/productos/temperatura/refrigerantes-para-radiador/110-refrigerante-frioxide-extra.html>. [Último acceso: Noviembre 2016].
- [53] HT PUMPS, «HT NINGBO YINZHOU H.T.INDUSTRY CO.LTD HENGTAI INTERNATIONAL CO. LTD,» HT NINGBO YINZHOU H.T.INDUSTRY CO.LTD HENGTAI INTERNATIONAL CO. LTD, [En línea]. Available:

[https://onedrive.live.com/embed?cid=E008CFEE8A9B3856&resid=E008CFEE8A9B3856%2127684&authkey=ALFa\\_2e0FoNfMbo&em=2](https://onedrive.live.com/embed?cid=E008CFEE8A9B3856&resid=E008CFEE8A9B3856%2127684&authkey=ALFa_2e0FoNfMbo&em=2). [Último acceso: Noviembre 2016].

- [54] P. M. Solà, Metales resistentes a la corrosión, Barcelona: MARCOMBO, 1990, p. 5.
- [55] Organización Mundial de la Salud, Lucha contra Las enfermedades transmitidas por el agua en Los hogares, p. 25.
- [56] Escuela Politécnica Superior Universidad de Sevilla, «Manual del Carbón Activo».
- [57] C. C. Lugo, Remoción de Hierro y Manganeseo en Aguas Naturales por Adsorción-Oxidación Sobre Zeolita Natural Tipo Clinoptilolita, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2008, pp. 5-6.
- [58] UNIVERSIDAD DE CUENCA, «FILTROS LENTOS DE ARENA,» [En línea]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/751/1/ti878.pdf>. [Último acceso: Noviembre 2016].
- [59] JAMECO ELECTRONICS, «L7800 series,» [En línea]. Available: <http://datasheet.octopart.com/L7805CV-STMicroelectronics-datasheet-7264666.pdf>. [Último acceso: 2016 Noviembre].
- [60] ST, «HCF4094,» [En línea]. Available: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet2/6/0eye8pajut3r2idq1s5jxd249pky.pdf>. [Último acceso: Noviembre 2016].
- [61] Toshiba, «Adafruit,» [En línea]. Available: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ULN2803A.pdf>. [Último acceso: Noviembre 2016].
- [62] C. B. Gómez, Álgebra booleana. Aplicaciones tecnológicas, Universidad de Caldas, 2005, p. 122.
- [63] CYTRON TECHNOLOGIES, «Product User's Manual – HC-SR04 Ultrasonic Sensor,» [En línea]. Available: [https://docs.google.com/document/d/1Y-yZnNhMYy7rwhAgyL\\_pfa39RsB-x2qR4vP8saG73rE/edit](https://docs.google.com/document/d/1Y-yZnNhMYy7rwhAgyL_pfa39RsB-x2qR4vP8saG73rE/edit). [Último acceso: Noviembre 2016].
- [64] M. E. P. I. Elsa Madhí Santes Paredes, «Implementación de un control de temperatura usando un controlador On-Off y tecnología integrada,» Tuxpan, Mexico, 2007.

- [65] O. CIUDADES, «Mitad de las regiones del país, en riesgo por el fenómeno de El Niño,» *El Tiempo*, 6 enero 2015.
- [66] Compañía energética de Occidente, «TARIFAS (\$/kWh) PARA EL MERCADO REGULADO DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA,» Noviembre 2016. [En línea]. Available: [http://www.energeticadeoccidente.com/downloads/tarifas/Nov\\_2016.pdf](http://www.energeticadeoccidente.com/downloads/tarifas/Nov_2016.pdf). [Último acceso: Noviembre 2016].
- [67] Alcaldía de Bogotá, «DECRETO 1594 DE 1984,» [En línea]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>. [Último acceso: Noviembre 2016].
- [68] DANE, «DANE,» [En línea]. Available: <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/proyecciones-de-poblacion>. [Último acceso: 18 Enero 2016].
- [69] IDEAM, «IDEAM,» [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>. [Último acceso: 21 Mayo 2016].
- [70] E. Morales, «Partes de un refrigerador,» Junio 2012. [En línea]. Available: <http://partesdeunrefrigerador.blogspot.com.co/2012/06/partes-de-un-refrigerador-manejo-de.html>. [Último acceso: 25 Abril 2016].
- [71] IDEAM, «humedad y temperatura de popayan,» Popayan, 2015.
- [72] E. A. Puerto, «DIPAC,» 26 Febrero 2011. [En línea]. Available: <https://efrainpuerto.wordpress.com/2011/02/26/f1-2/>. [Último acceso: 15 05 2016].



## Anexos

### Anexo A. Información de consumo promedio en la ciudad de Popayán

#### Habitantes y consumo Popayán

La ciudad de Popayán cuenta con 250.043 habitantes en su cabecera y 30.011 en el resto [68].

Ahora bien, el ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN pudo establecer que a 31 de diciembre del año 2015 se encuentran activos 76.746 usuarios de acueducto, cuyo consumo durante todo el año fue de 1.135.000 metros cúbicos de agua. Teniendo en cuenta estas cifras para el año 2015, el consumo promedio mensual para la ciudad de Popayán por suscriptor se encuentra en 15 metros cúbicos aproximadamente, con estas cifras no es posible determinar el consumo por persona o grupo familiar, ya que este depende del uso que internamente se dé al servicio, el cual es registrado por el medidor.

Aunque no es posible determinar el consumo por persona o grupo familiar lo que sí se puede hacer es una aproximación. Teniendo en cuenta el número de habitantes de la ciudad y el número de suscriptores de acueducto. Se puede señalar que el promedio por persona es de 125 litros al día.

Total, habitantes:	280.053 Habitantes
Número de suscriptores:	76.746 Suscriptores
Consumo mensual:	15 Metros cúbicos
Promedio mensual por persona:	3.750 Litros de agua al mes
Promedio diario por persona:	125 litros diarios

Si toda la ciudad de Popayán está suscrita al acueducto, en promedio son 4 personas por suscriptor, lo cual da como resultado que una persona en promedio consume 3.750 litros al mes o 125 litros de agua al día.



**ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A. E.S.P.**

NIT 891.500.117-1  
NUIR 1-19001000 -1 SSPD

Popayán, 17 FEB 2016

AIS- 1580

Señor (a)  
**WILLIAM ANDRES OVIEDO JIMENEZ**  
Dirección: Calle 11A # 19C-20  
Teléfono: 836 99 22  
Email: [williamwzd@hotmail.com](mailto:williamwzd@hotmail.com)  
Popayán

Asunto: Solicita información relacionada con el consumo promedio diario  
Control 181250

Cordial saludo

En atención a su solicitud radicada el día 29 de enero de 2016, respetuosamente me permito informarle que según información originada en los indicadores de gestión de la oficina Comercial de la Sociedad Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. para el año 2015, se pudo establecer que a 31 de diciembre se encuentran activos 76.746 usuarios de acueducto, cuyo consumo durante todo el año fue de 1.135.000 metros cúbicos de agua. Teniendo en cuenta estas cifras para el año 2015, el consumo promedio mensual para la ciudad de Popayán por suscriptor se encuentra en 15 M<sup>3</sup> aproximadamente, con estas cifras no es posible determinar el consumo por persona o grupo familiar, ya que este depende del uso que internamente se dé al servicio, el cual es registrado por el medidor.

Para cualquier inquietud, favor dirijase con la Oficina de la División Comercial, o comunicarse al teléfono 8321000 ext. 120, o 121, donde con gusto se le atenderá.

De usted, atentamente,

**PATRICIA PIAMBA ARCOS**  
División de Atención Integral al Suscriptor

Proyecto: Jhon J.

Calle 3 No 4 - 29  
Conmutador: (2) 8321000 FAX: 824 20 14 - 824 04 66 - 831 81 02  
[www.acueductopopayan.com.co](http://www.acueductopopayan.com.co) e-mail: [contactenos@acueductopopayan.com.co](mailto:contactenos@acueductopopayan.com.co)



SG-CER134925



CO-SG-CER134925



GP-CER135217

**Anexo B.** Información relacionada con el número de habitantes de la ciudad de  
Popayán

\*20164480002121\*

**contestar por favor cite estos datos:**

Radicado No.: **20164480002121**

Fecha: martes, 09 de febrero de 2016

4.4.2 – 128 – 02

Señor

**WILLIAM ANDRES OVIEDO JIMENEZ**

Documento de Identidad No. 1061745505

Dirección de Notificación: calle 11a #19c-20

Teléfono: 3146048662

Correo electrónico: [williamwzd@hotmail.com](mailto:williamwzd@hotmail.com)

Popayán (C)

Cordial Saludo

Con el fin de dar respuesta a su requerimiento, me permito informarle que las Proyecciones de Población con corte a junio 30, para el Municipio de Popayán al año 2016 es la siguiente:

<b>Cod_Mpio</b>	<b>Nom_Mpio</b>	<b>Total</b>	<b>Cabecera</b>	<b>Resto</b>
19 – 001	Popayán	280.054	250.043	30.011

<http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/proyecciones-de-poblacion>

Espero que esta información sea de mucha utilidad.

**Nuevo: [www.dane.gov.co/geoportal/Importante](http://www.dane.gov.co/geoportal/Importante) por favor colabórenos con esta información.**

Con el fin de mejorar nuestro servicio y conocer su opinión al respecto, le agradecemos el diligenciamiento de la Encuesta de Satisfacción en el siguiente link: <http://www.dane.gov.co/encuestas/satisfaccion/start.php?tipo=2> esta información es de suma importancia para nuestra entidad y será totalmente confidencial.

Cordialmente,

**JOVANNA CORREA IBAÑEZ**

Profesional Universitario

Tel: (2) 6618717, Pbx, 6618844 Ext. 116

Av. 6 B Norte No. 26N-55 Brio Santa Mónica Residencial

Cali – (V)

[bdatoscali@dane.gov.co](mailto:bdatoscali@dane.gov.co)

[www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)

Anexos: (Ninguno)

Copias: Ninguna

Antecedente: 20163130006002

Proyectó: JECorreal

Revisó: JECorreal



*Este mensaje de correo electrónico es propiedad de DANE, puede contener información privilegiada o confidencial. Por tanto, usar esta información y sus anexos para propósitos ajenos al DANE, divulgarla a personas a las cuales no se encuentre destinado este correo o reproducirla total o parcialmente, se encuentra prohibido en virtud de la legislación vigente. La Entidad no asumirá responsabilidad sobre información, opiniones o criterios contenidos en este correo que no estén directamente relacionados con el DANE. Si usted no es el destinatario autorizado o por error recibe este mensaje, favor borrarlo inmediatamente y notificar al remitente.*

*This document is property of DANE; it may contain privileged confidential information. Therefore, using this information and its annexes for purposes different from those of DANE, distributing said information to people who are not among those for which this email was intended, or reproducing it partially or totally is prohibited in accordance with the law available. The organization will not assume the responsibility around the information, opinions or criteria contained in this email, if not directly related to DANE. If you are not the authorized recipient, or you receive this message by mistake, please delete it immediately and notify to sender.*

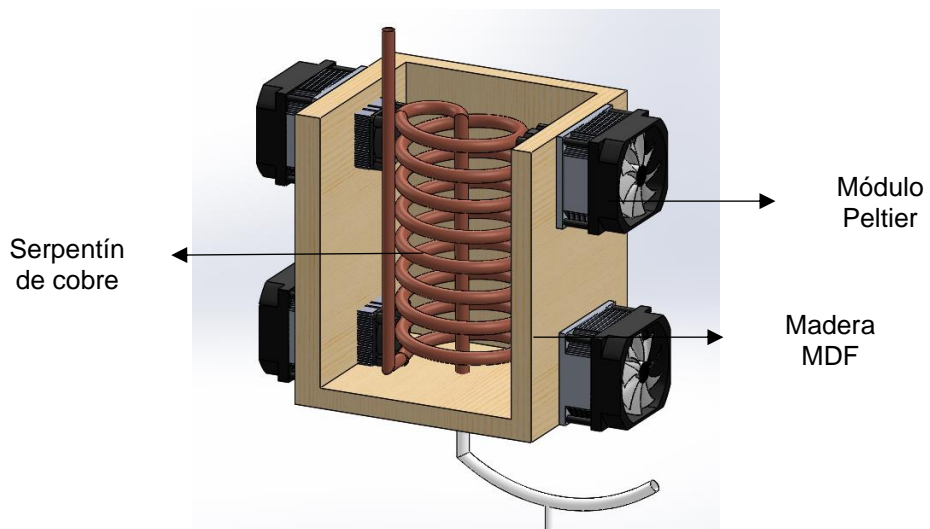
## **Anexo C. Diseño e implementación de un prototipo que permite condensar humedad atmosférica**

### **Diseño CAD**

Como se muestra en la imagen 1 se tiene una estructura en madera MDF. Las placas termoeléctricas en su lado caliente pueden llegar hasta los 50°C y su lado frío dependiendo de su diferencial de temperatura puede llegar a los -15°C. Para aislar esta diferencia de temperatura se separaron con madera MDF de 1cm de grosor.

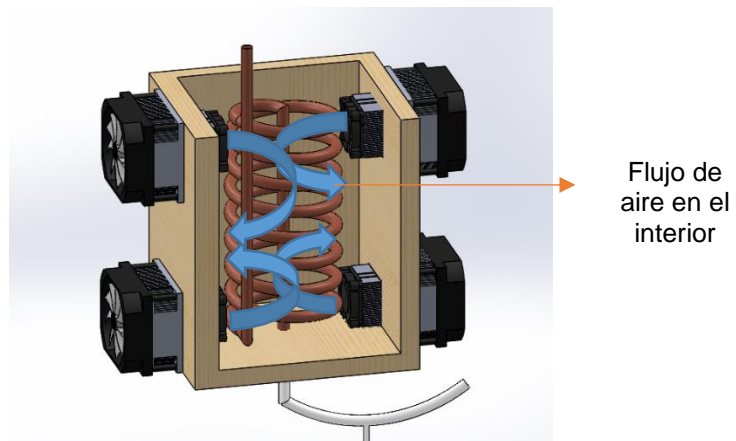
El volumen total del interior de la estructura es de aproximadamente 3 litros. Es decir que, este volumen de aire es el encargado de enfriar el serpentín que está en su interior cuya longitud es aproximadamente 8 metros de los cuales 3 metros son de tubería con un diámetro de 3/8" y 5 metros de tubería con diámetro de 3/16". El diseño necesita mínimo de 4 placas termoeléctricas de referencia TEC1-12706 y un compresor con un motor DC a 12v para poder hacer fluir aire a través de dicho sistema.

Las placas Peltier van a enfriar el líquido refrigerante hasta los 0°C y una vez se haya llegado hasta esta temperatura un compresor con un motor de 12V DC hace circular aire dentro del serpentín de cobre.



**Imagen 1.** Diseño CAD, vista lateral derecha, fuente: Propia.

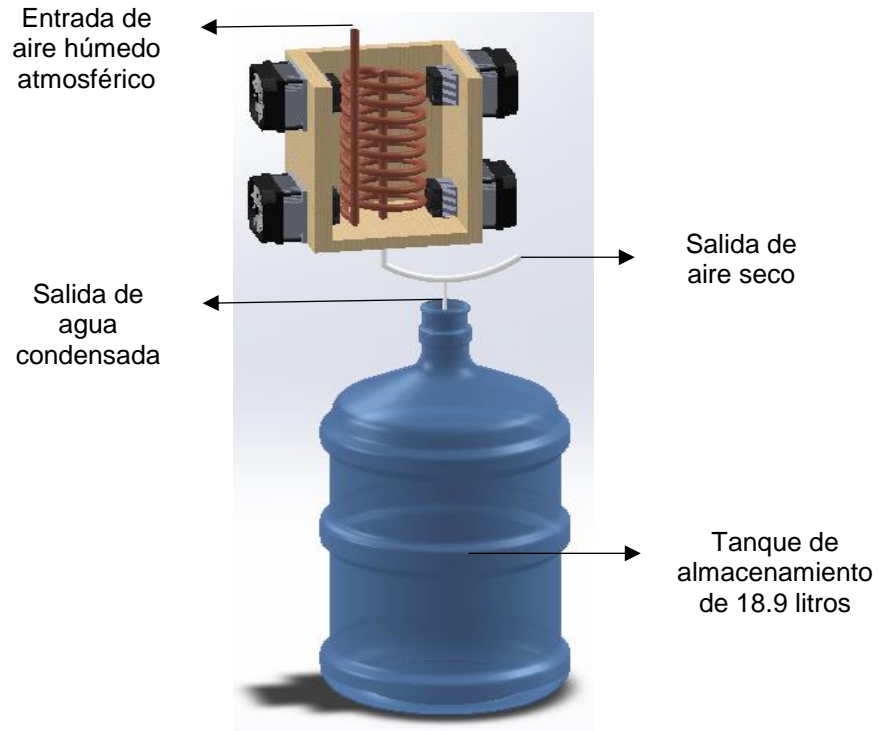
Una vista lateral permite ver el sistema desde un ángulo diferente como se expone en la Imagen 2 en donde las placas Peltier son las encargadas de enfriar un volumen de aire de  $0.003 \text{ m}^3$ . Cabe resaltar que este volumen de aire es el que enfría el serpentín de cobre.



**Imagen 2.** Diseño CAD, vista lateral izquierda, fuente: propia

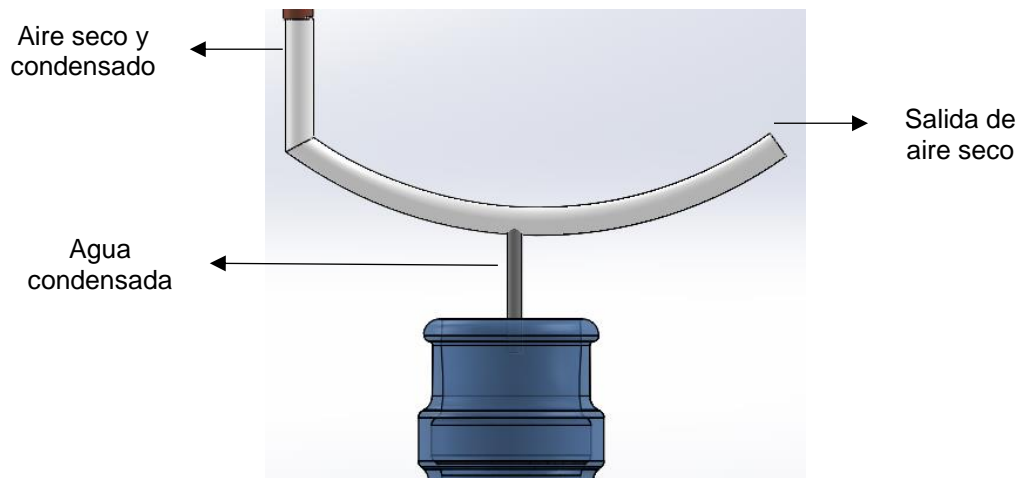
Para recolectar el vapor de agua que se condensa del aire atmosférico, en la parte inferior se dispone de un tanque que tiene una capacidad de 18.5 litros de agua

como se puede ver en la Imagen 3. El tanque puede almacenar el agua condensada por largos periodos de tiempo.



**Imagen 3.** Diseño CAD vista frontal con tanque de almacenamiento de 18.9 litros, fuente: Propia.

El flujo de aire idealmente debe ser de  $29m^3/h$  aunque para el proyecto el flujo que se registro fue de  $0.85 m^3/h$ , el cual pasa por el interior del serpentín de cobre que se encuentra a una temperatura de rocío de  $0^{\circ}C$ . Al pasar por la tubería, sale a una última etapa que tiene la forma de imagen 4 la cual permite que el aire escape por la parte superior y condensado empieza a filtrarse por la tubería inferior.



**Imagen 4.** Diseño CAD de una tubería en "U", Fuente: Propia

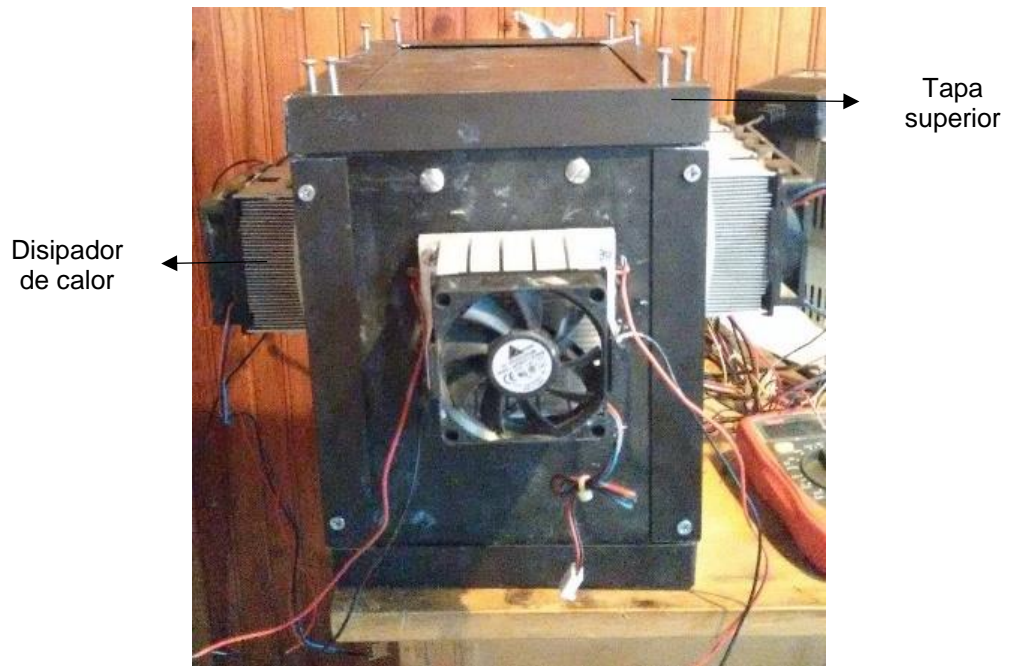
### **Implementación**

Se implementó la estructura anteriormente mencionada en madera MDF como se muestra en la Imagen 5 e Imagen 6.

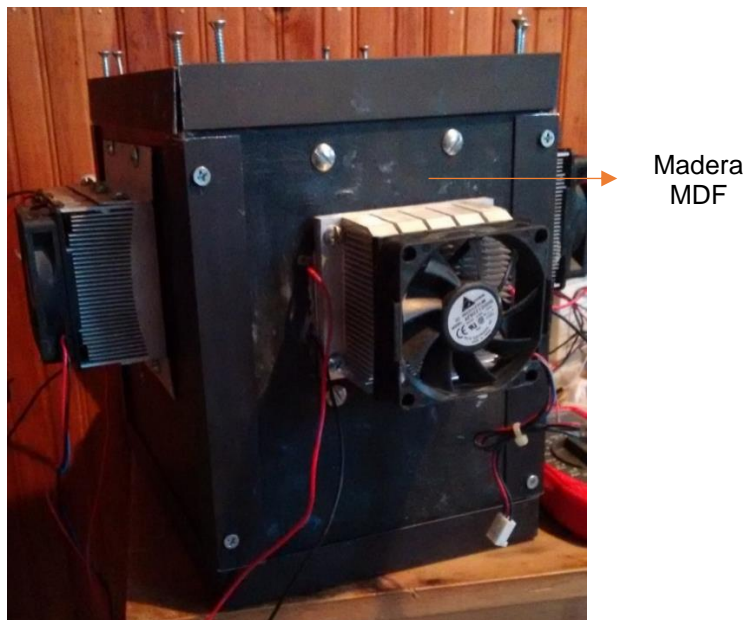
Las paredes de la estructura se cubrieron con papel aluminio como puede verse en la Imagen 7. De igual forma, se implementaron también las placas Peltier junto con los disipadores de aluminio.

Debido a que la estructura de la Imagen 5 presentó múltiples fugas de líquido refrigerante, se estropeó y no se pudo continuar con el prototipo por lo cual no se pudo medir la temperatura del serpentín una vez el aire empezó a fluir y el sistema empezaba a funcionar.





**Imagen 5.** Implementacion de un prototipo para condensar humedad atmosferica, fuente: propia



**Imagen 6.** Implementacion de un prototipo para condensar humedad atmosferica, vista lateral, fuente: propia

Los disipadores de la Imagen 7 están unidos a las placas Peltier por medio de pasta térmica la cual asegura un mejor contacto y transferencia de temperatura. Los dos tipos de pasta térmica más comunes son las siguientes:

- Pasta térmica cerámicas, se caracterizan por tener un color blanquecino. Su composición se basa en polvo de cerámica en suspensión sobre una mezcla de líquido, generalmente una especie de silicona. Se trata de una pasta térmica económica y básica.
- Pasta térmica metálica, al igual que la cerámica, se parte de una base de una especie de silicona a la que se le añaden metales como aluminio o plata que ofrecen una conductividad térmica mucho mayor que la cerámica. Son más costosas, pero ideales para soportar las altas temperaturas como el calor que genera el lado caliente de la placa termoeléctrica. Lo ideal es utilizar este tipo de pasta térmica para asegurar un mejor resultado en el prototipo.



**Imagen 7.** Vista interior del prototipo, fuente: propia



**Imagen 8.** Vista interior del prototipo, fuente: propia



**Imagen 9.** Vista interior del prototipo, fuente: propia

La temperatura más baja que se registró de las placas termoeléctricas fue de  $0^{\circ}\text{C}$ , lo cual permite condensar vapor de agua en ambientes que se describen a continuación, en la Tabla 9:

T(°C)	HR (%)	P. Rocío(°C)	T(°C)	HR (%)	P. Rocío(°C)
11	46	0	21	24	0
12	43	0	22	23	0
13	40	0	23	21	0
14	40	0	24	20	0
15	36	0	25	19	0
16	33	0	26	18	0
17	31	0	27	17	0
18	29	0	28	16	0
19	27	0	29	15	0
20	26	0	30	14	0

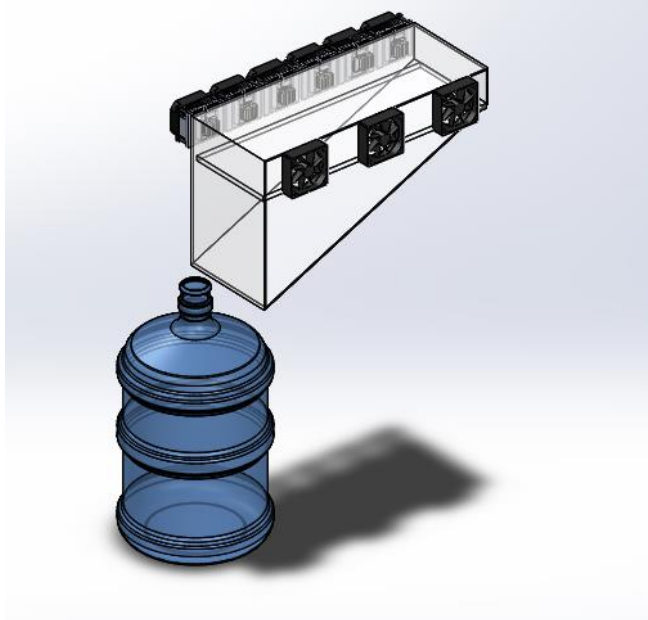
**Tabla 9.** Valores mínimos de temperatura y humedad relativa para condensación de agua con temperatura de rocío de 0°C, fuente: propia

En la Tabla 9 se describe la temperatura y humedad relativa mínima para que exista la condensación con el prototipo anteriormente descrito. Estos valores surgen tomando la temperatura de rocío de 0°C, es decir que, si el aire que empieza a fluir por el serpentín no cumple con las condiciones mínimas que se exponen en la tabla anterior, al final se obtendrá aire frío sin ningún tipo de condensación. Por ejemplo, la temperatura promedio de la ciudad de Popayán es de 18.7°C [69], si el aire a esa temperatura fluye por el serpentín de cobre la humedad relativa mínima que se necesita para que haya condensación del vapor de agua es del 28.4%.

**Anexo D.** Diseño CAD de un segundo prototipo para la condensación de humedad atmosférica, fuente: propia

Este diseño consta de colocar seis placas termoeléctricas como se muestra en la Imagen 10 al igual que tres ventiladores los cuales proporcionan un flujo constante

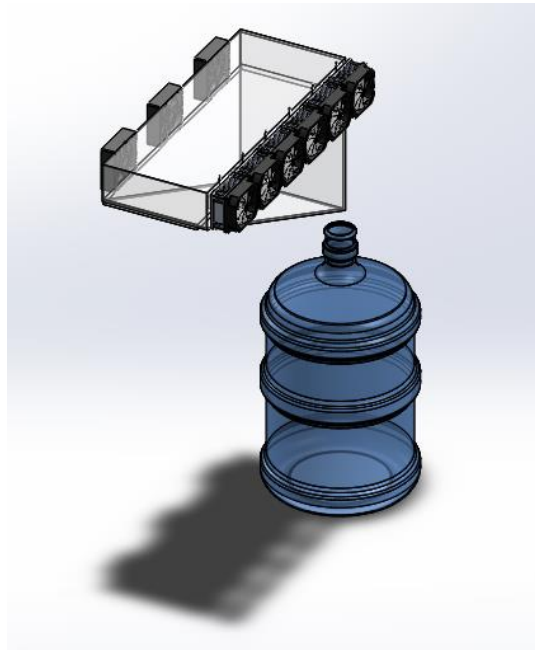
hacia el sistema. Las placas termoelectricas reciben dicho flujo de aire, condensando la humedad presente en él.



**Imagen 10.** Diseño CAD de un segundo prototipo, fuente: propia

Con este diseño se logró obtener según las condiciones de temperatura y humedad entre 500ml hasta un máximo de 953ml, puesto que se realizó en el mes de noviembre que presenta una humedad relativa mayor en comparación con el resto del año en la ciudad de Popayán [69].

De igual forma en la Imagen 11 se puede observar que se ha propuesto un tanque de 18.9 litros o un garrafón de agua en donde se almacenará el vapor de agua que se condense del aire atmosférico.



**Imagen 11.** Diseño CAD de un segundo prototipo, visto desde atrás, fuente: propia

La implementación es como se muestra en la Imagen 12. Como se ha mencionado antes, se utilizaron seis placas, las cuales solo en la noche lograban congelarse, en cambio en el día, sobretodo en días soleados, las placas simplemente condensaban el agua en forma líquida, aunque con poco condensado.

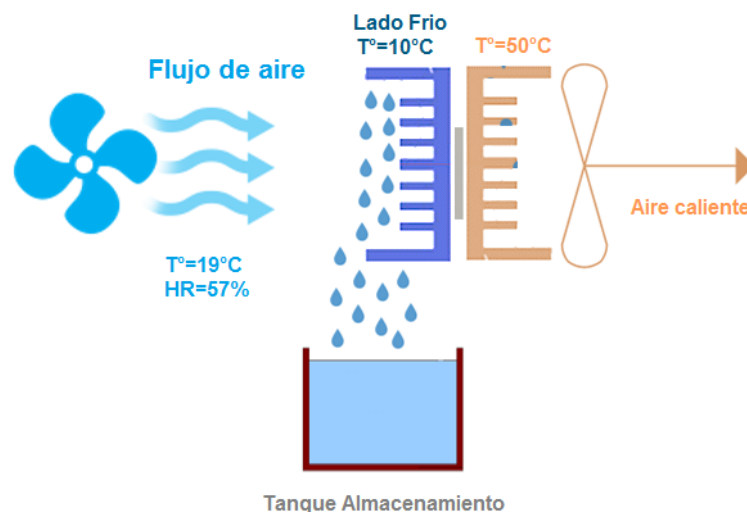


**Imagen 12.** Placa termoelectrica congelada, fuente: propia

## Flujo de aire

Los ventiladores que se utilizaron para este experimento presentaron un flujo de  $69m^3/h$  y en total se usaron 3 ventiladores para un total de  $207m^3/h$ . Es decir que, cada intervalo de 24 horas, por el sistema pasan aproximadamente  $5000 m^3$  de aire. En cuanto a la temperatura de los disipadores, se mantenían en  $10^{\circ}C$  puesto que el flujo de aire incide en ellos de forma directa.

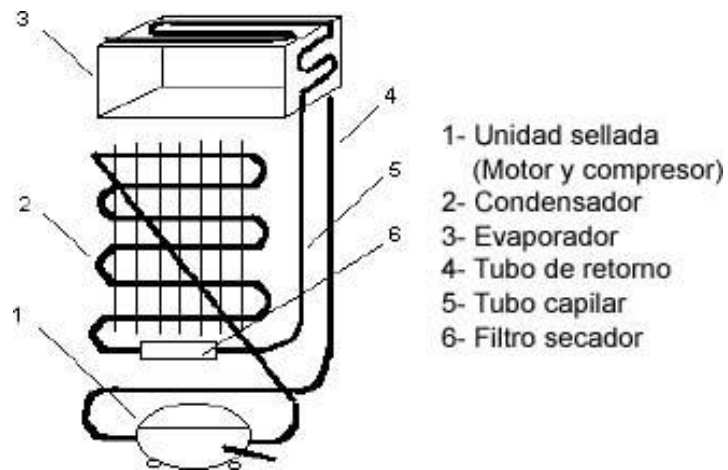
En la imagen 13 se muestra el funcionamiento general del segundo diseño que se propone en este documento. Cabe resaltar que el lado frío de la placa termoelectrica llega a los  $0^{\circ}C$ , pero debido a que el flujo de aire incide de forma directa sobre este disipador su temperatura aumenta hasta los  $10^{\circ}C$ . El flujo de aire es de  $69m^3/h$  y con una sola placa termoelectrica se pueden obtener 130ml de agua en 24 horas. Este diseño se puede convertir en un producto comercial por su portabilidad, diseño simple y minimalista además de que es un sistema muy silencioso comparado con sistemas de compresión y descompresión.



**Imagen 13.** Funcionamiento segundo diseño. Fuente: Propia

**Anexo E.** Implementación de un generador atmosférico de agua utilizando un sistema de refrigeración con compresor

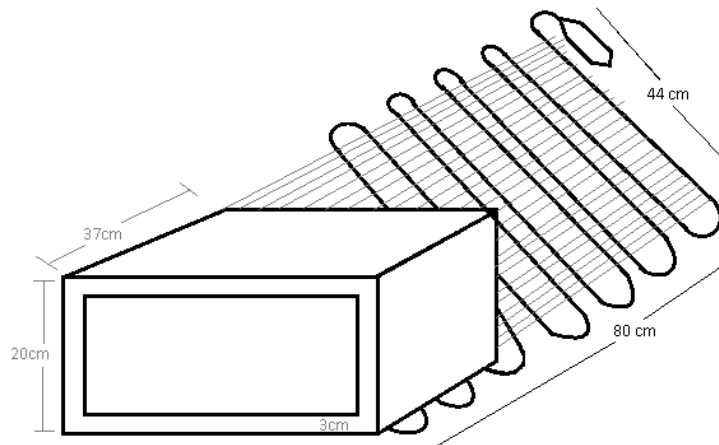
Un prototipo más que se implementó utiliza un sistema de refrigeración por compresión. Sus partes se exponen en la Imagen 14 en donde un compresor es el encargado de hacer cambiar de estado un gas y hacerlo circular por todo el circuito. Este circuito se compone además de un compresor, un condensador en el cual el gas refrigerante pasa de estado gaseoso a líquido y es en este punto en donde cede temperatura al ambiente y posteriormente por medio de un tubo capilar pasa al evaporador logrando temperaturas muy por debajo de los 0°C. El gas refrigerante vuelve nuevamente al compresor donde se repite este ciclo.



**Imagen 14.** Sistema de refrigeración con compresor, fuente: tomado de [70]

El sistema que se implementó tiene las medidas descritas a continuación en la Imagen 15.





**Imagen 15.** Medidas del sistema de refrigeración con compresor, fuente: propia

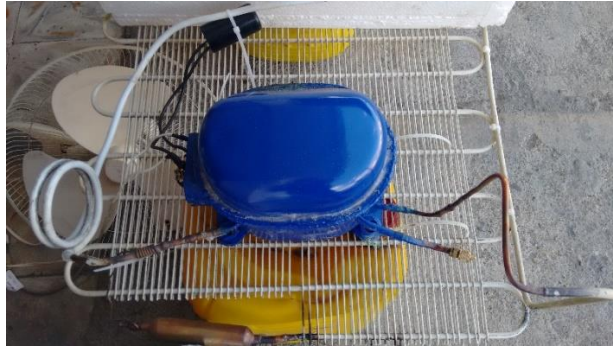
El sistema tiene 15 espirales, además, el compresor consume 2 amperios con un voltaje de 110v AC lo que da como resultado un consumo de aproximadamente 220 vatios.

El compresor se debe apagar cuando la temperatura sea igual o superior a 107°C. también se debe tener en cuenta que no se deben exceder de 30 a 40 encendidos en 24 horas. Y por último el compresor debe esperar 10 Minutos entre encendido. Su implementación se expone a continuación en la imagen 16.



**Imagen 16.** Generador atmosférico de agua con refrigeración por compresión, fuente: propia

El compresor implementado en el generador atmosférico se expone a continuación en la imagen 17.



**Imagen 17.** Compresor utilizado en el generador atmosférico de agua, fuente: propia

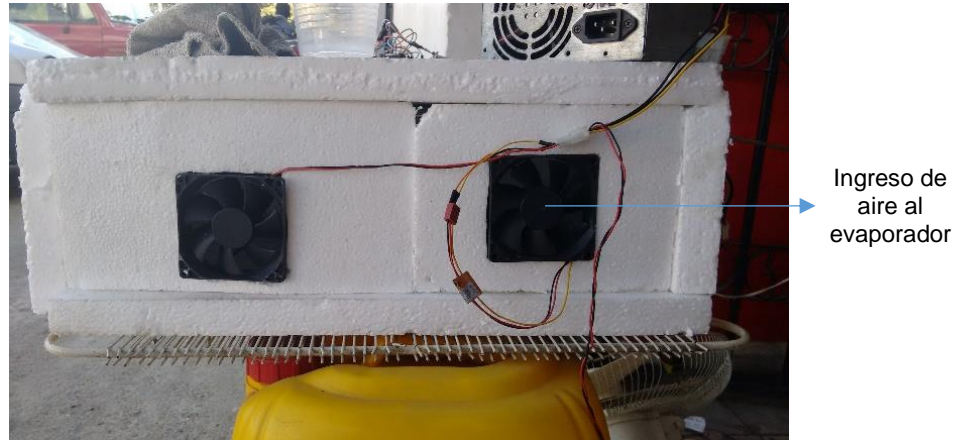
El evaporador es donde se da el proceso de condensación, como se muestra en la imagen 18 se debe cubrir con un material aislante, en este caso se utilizó Poliestireno expandido de 3cm de grosor.



**Imagen 18.** Evaporador en generador atmosférico de agua, fuente: propia

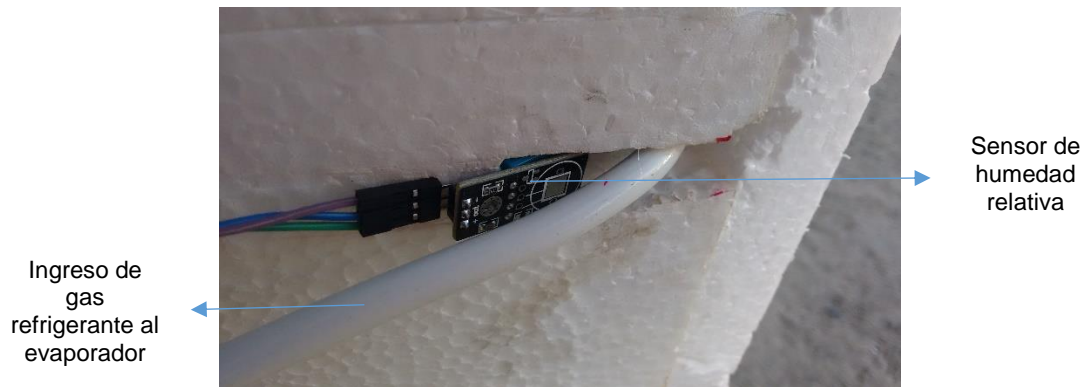
Para hacer circular el aire del ambiente se utilizaron dos ventiladores como se expone en la imagen 19 en donde el aire se aspira del ambiente y luego se hace

circular por el evaporador que está a una temperatura por debajo de los 0°C y aire seco sale por la parte posterior del evaporador.



**Imagen 19.** Ingreso de aire por medio de ventiladores, fuente: propia

Para medir la temperatura y humedad relativa que sale una vez el vapor de agua se ha condensado en el evaporador se utilizó un sensor de humedad y temperatura de referencia DHT11. Su implementación se muestra en la imagen 20.



**Imagen 20.** Sensor de humedad en salida de aire del generador atmosférico de agua, fuente: propia

Este sistema no es viable energéticamente con energías renovables ya que se necesitan varias baterías de ciclo profundo para su funcionamiento además de que presenta gases contaminantes y el arranque del compresor necesita costosos

inversores que soporten esta corriente de arranque que es de aproximadamente 16 amperios.

#### **Anexo F. Condiciones climáticas de la ciudad de Popayán obtenidas mediante el registrador de datos implementado**

Es importante conocer las condiciones climáticas en la ciudad de Popayán puesto que es el lugar en donde se desarrolló el presente proyecto.

#### **Graficas de las condiciones climáticas IDEAM**

En la Imagen 21 se muestran las condiciones climáticas de Popayán [65]. Donde se puede observar que la temperatura más baja es 12°C y la temperatura más alta que se presenta es 25 °C.

Para la ciudad de Popayán, las horas donde hay mayor humedad relativa son entre las 4:00am y 5:00am, y las horas donde hay menor humedad relativa son entre las

11:00am y las 12:00pm. En la Imagen 22

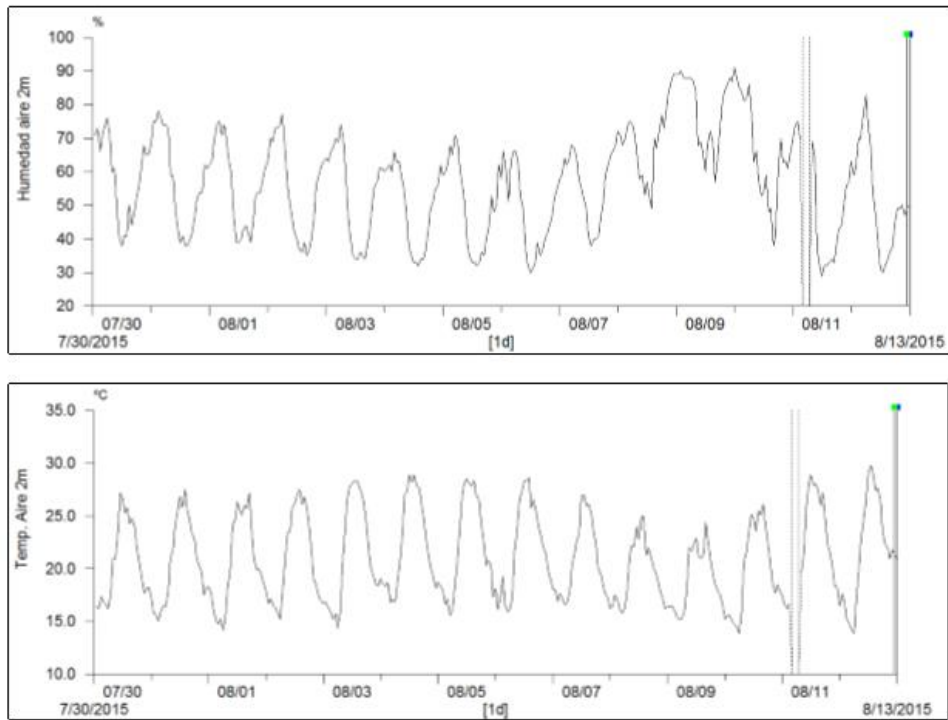
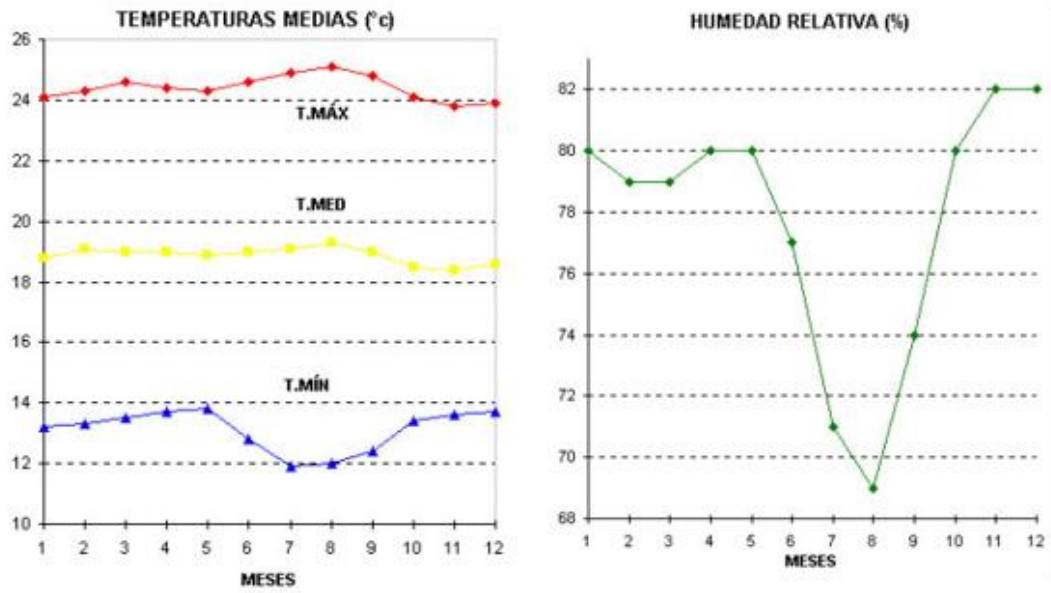


Imagen 22., se muestra una gráfica del comportamiento de la humedad relativa en Popayán del mes de julio y agosto de 2015.



**Imagen 21.** Temperatura y humedad relativa promedio en Popayán, fuente: IDEAM

La grafica del comportamiento de la temperatura que se muestra en la Imagen 23

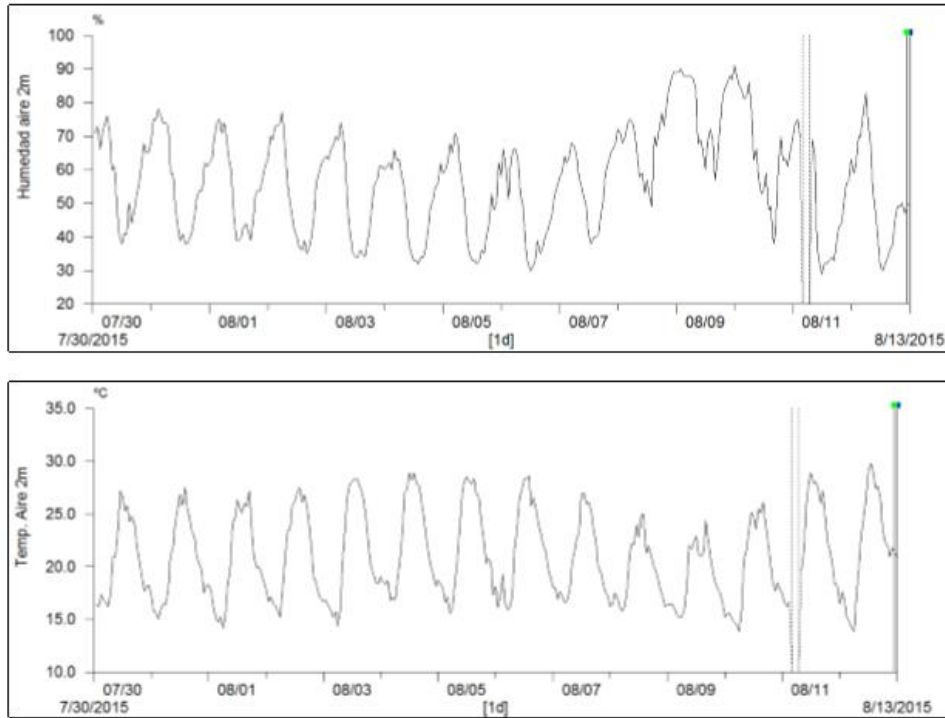


Imagen 22.Imagen 22 presenta un comportamiento sinodal. Esto da paso a la siguiente ecuación:

$$T_{horaria} = T_{media} + AT \cdot \sin(Wrad \cdot t + \Phi) \quad (60)$$

En donde:

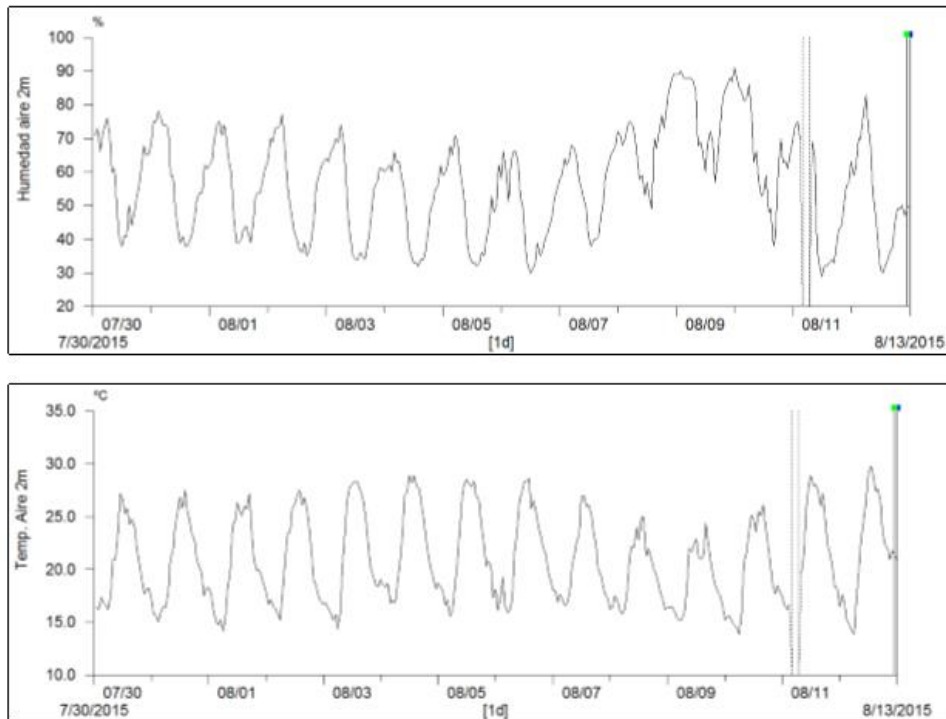
t: Tiempo hora militar [0:24]

$\Phi$ : Angulo de desfase

Wrad: Frecuencia angular,  $\omega = 2\pi F$ ,  $F = 1/24$

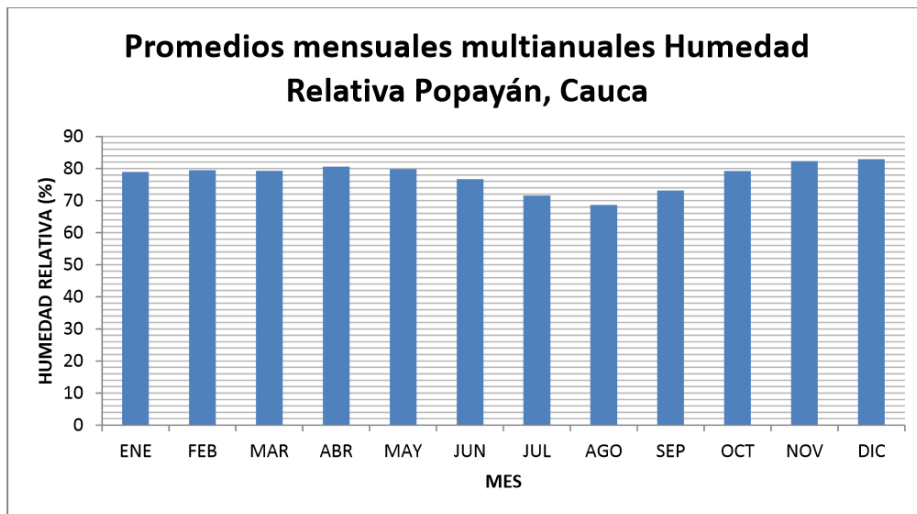
Tmedia: Temperatura media del día  $\frac{T_{Max} + T_{Min}}{2}$

AT: Amplitud  $\frac{T_{Max} - T_{Min}}{2}$



**Imagen 22.** Comportamiento de la temperatura y humedad relativa en la ciudad de Popayán en el mes de julio y agosto de 2015, fuente: IDEAM

**Muestreo IDEAM**



**Imagen 23.** Promedios mensuales de humedad relativa en la ciudad de Popayán, fuente: IDEAM



Las gráficas que se muestran en la Imagen 21, Imagen 22 e Imagen 23 fueron proporcionadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) sin embargo se desarrolló una pequeña aplicación de escritorio en el lenguaje C# el cual permite ver valores históricos de temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío y presión atmosférica presentes en el ambiente.

### Graficas de condiciones climáticas en el lugar de estudio

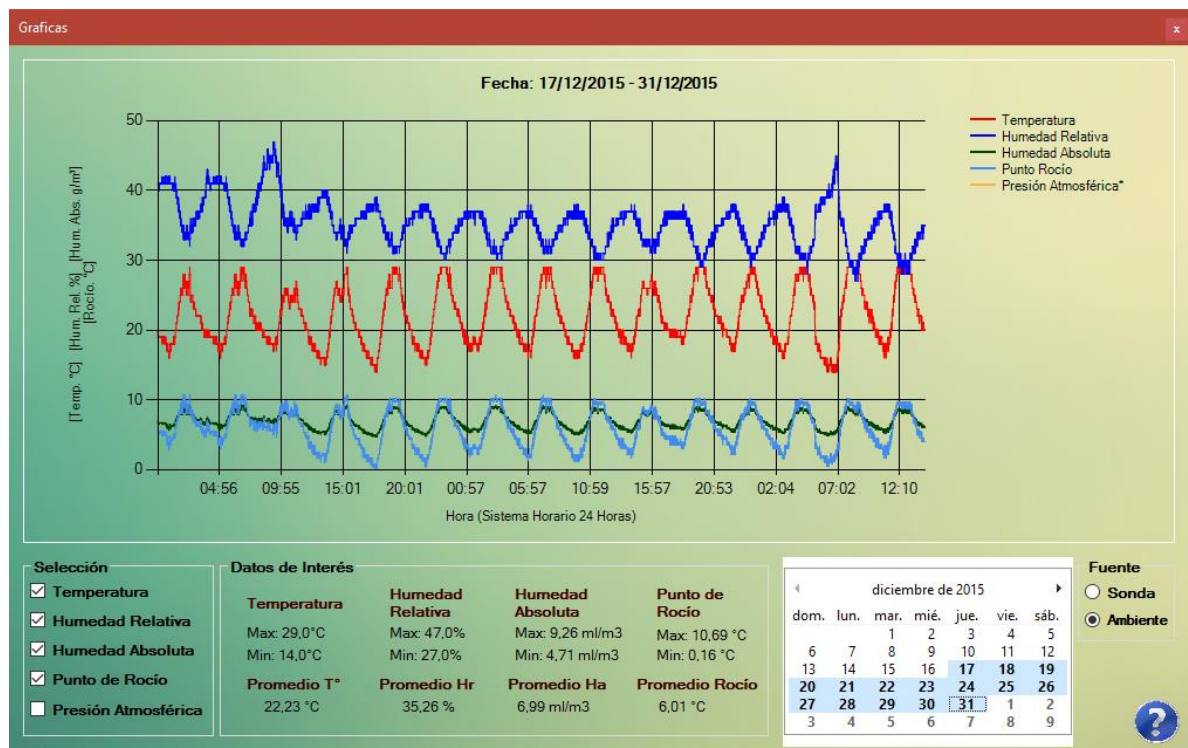


Imagen 24. Diciembre 17 a diciembre 31 de 2016, fuente: propia

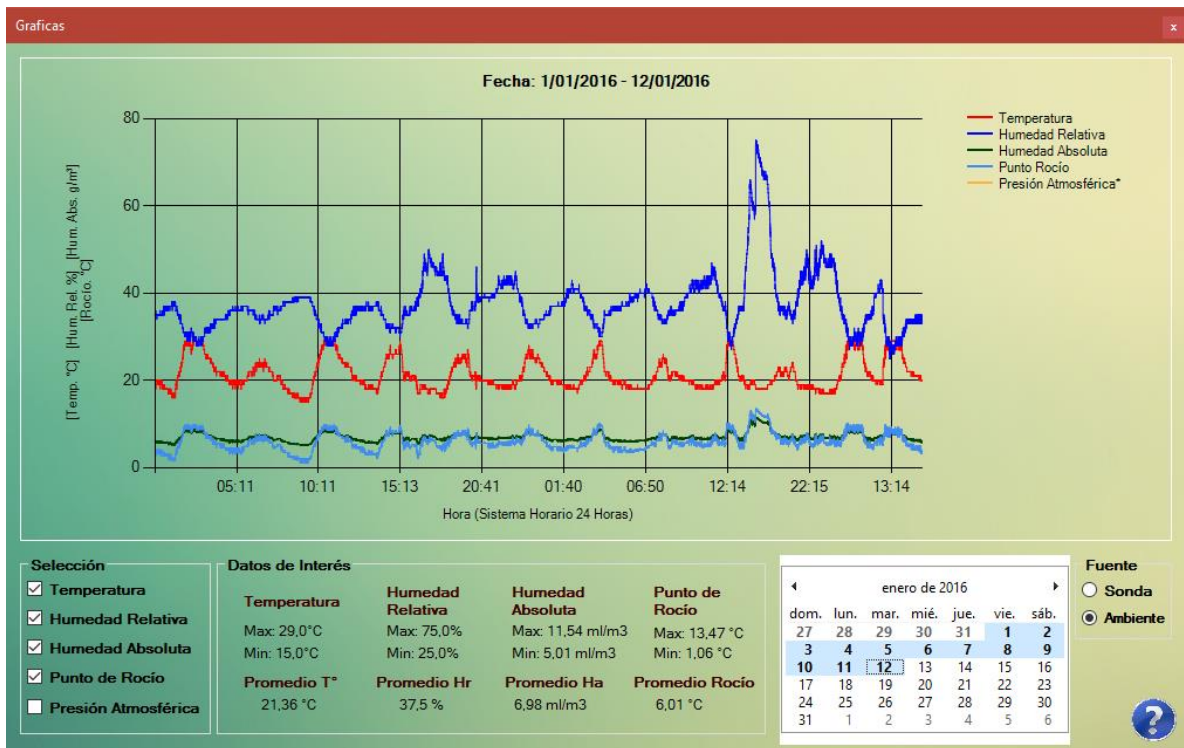


Imagen 25. Enero 1 a enero 12 de 2016, fuente: propia

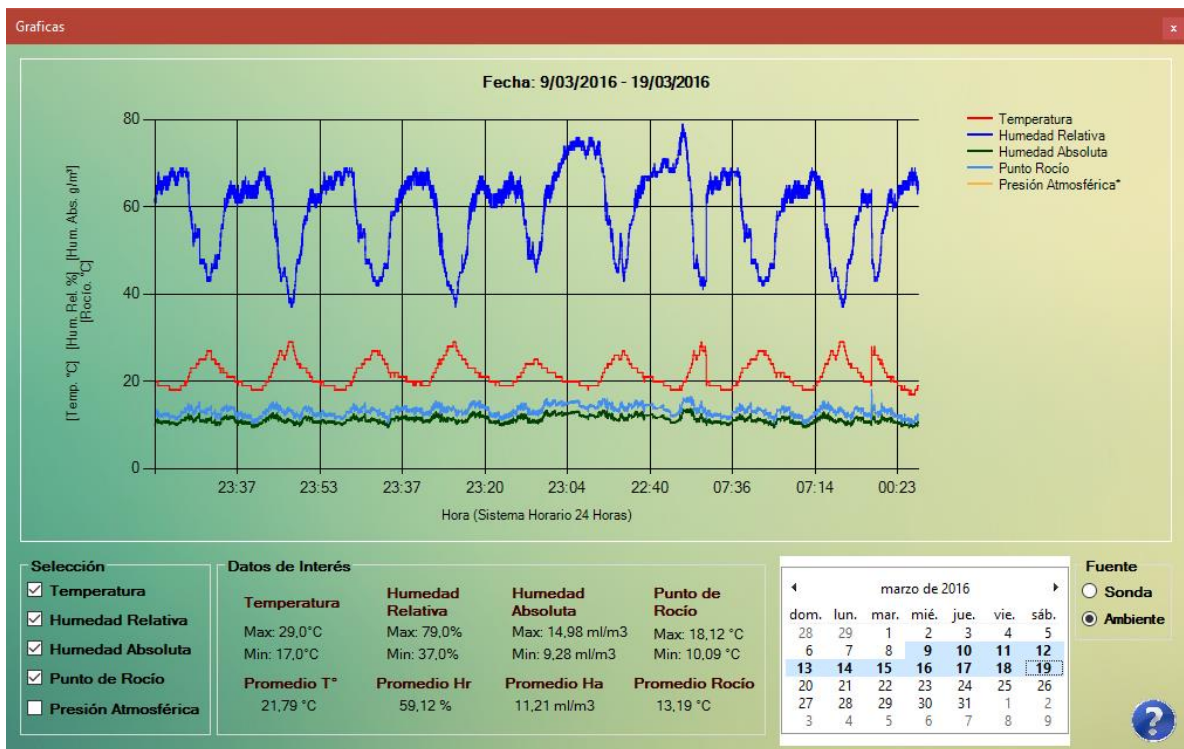


Imagen 26. Marzo 9 a marzo 19 de 2016, fuente: propia

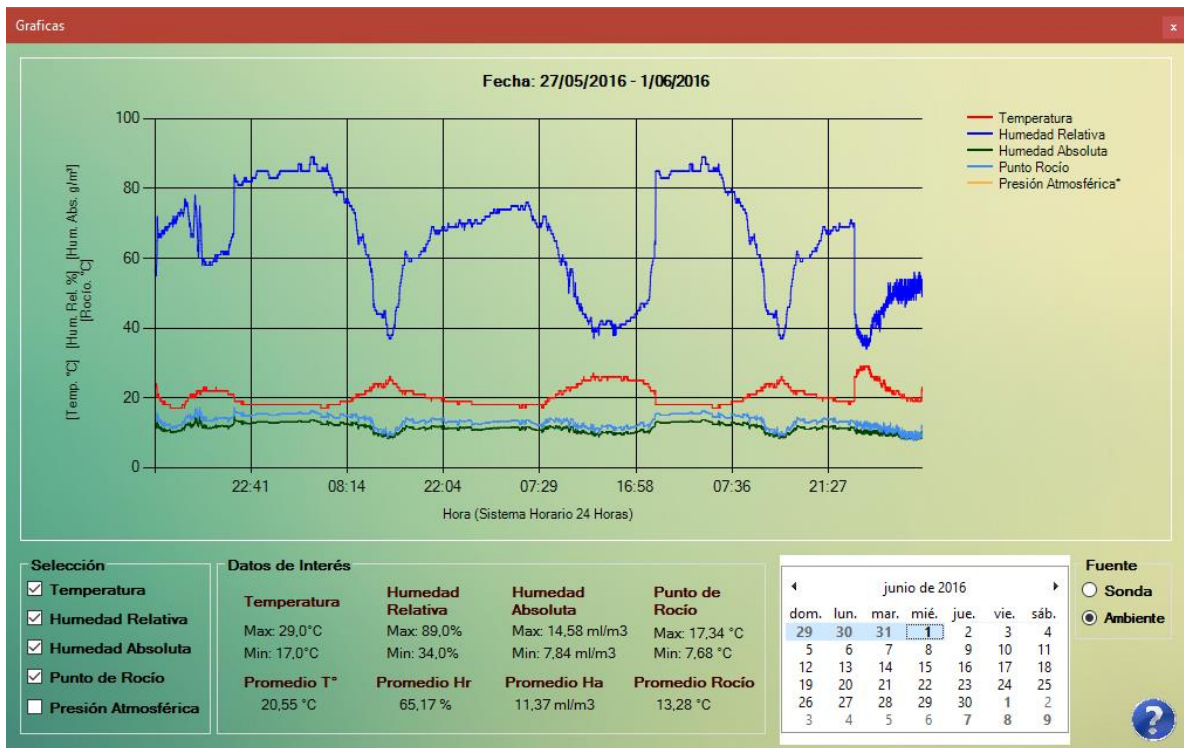


Imagen 27. Mayo 27 a junio 1 de 2016, fuente: propia

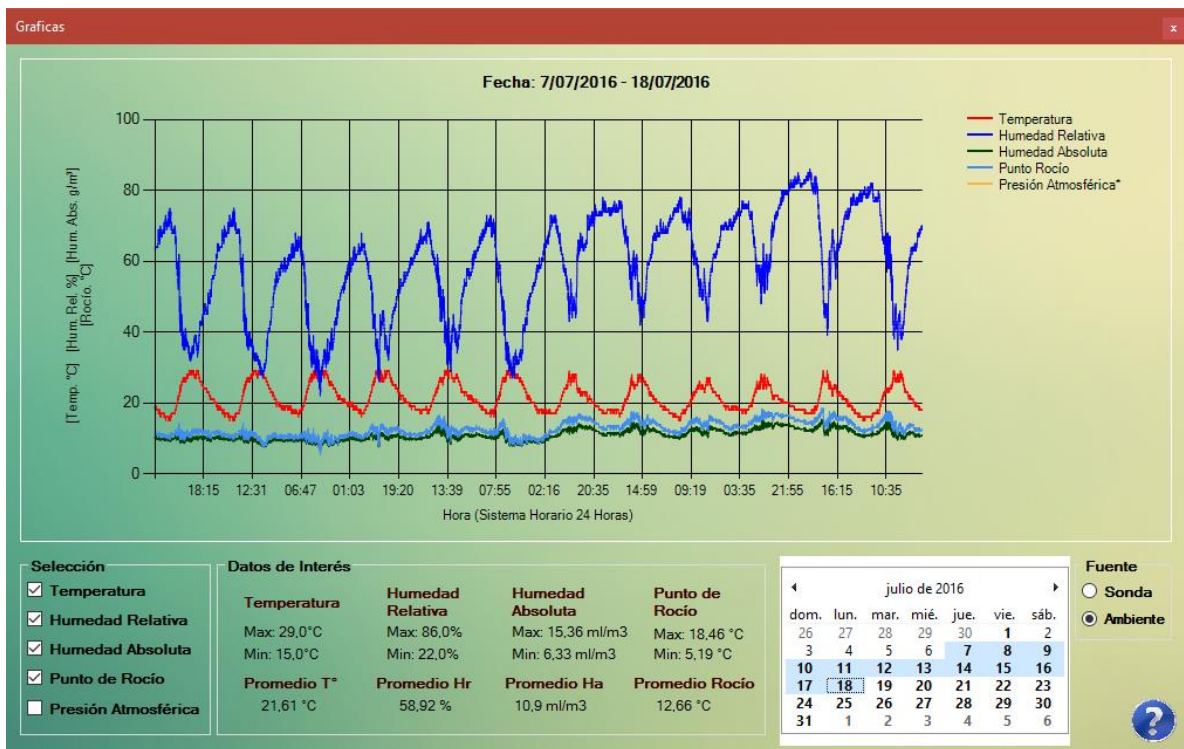


Imagen 28. Julio 7 a julio 18 de 2016, fuente: propia

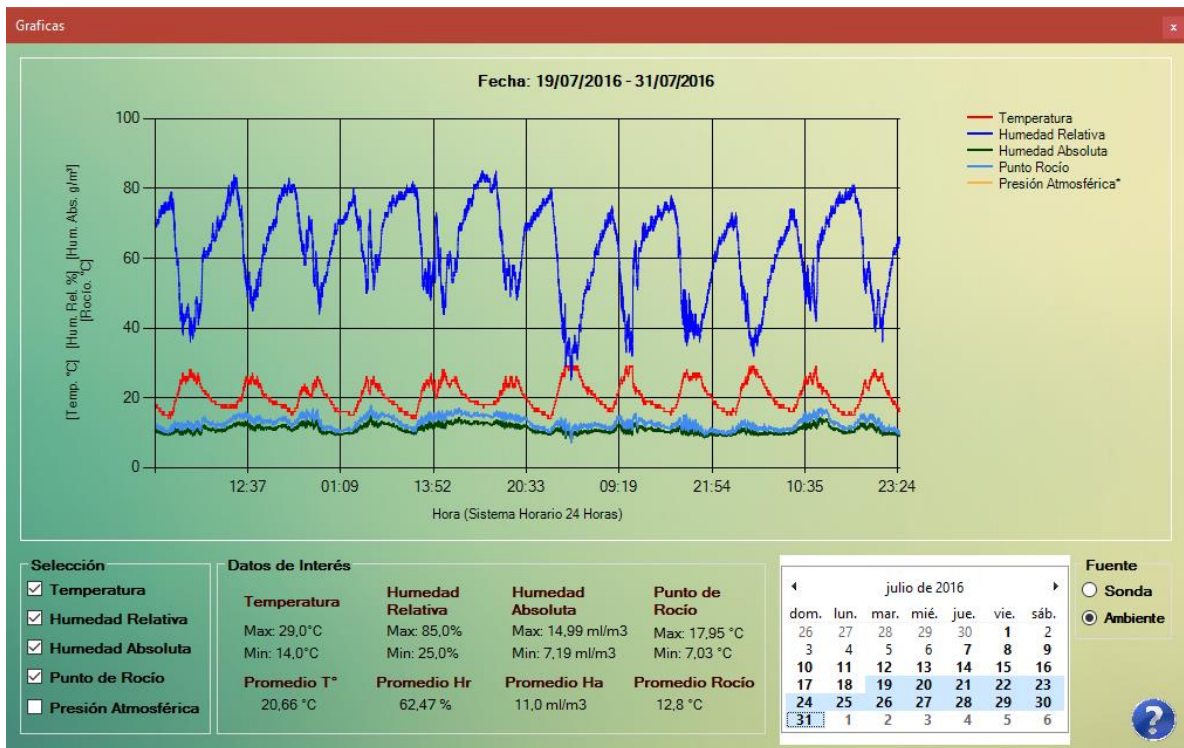


Imagen 29. Julio 19 a julio 31 de 2016, fuente: propia

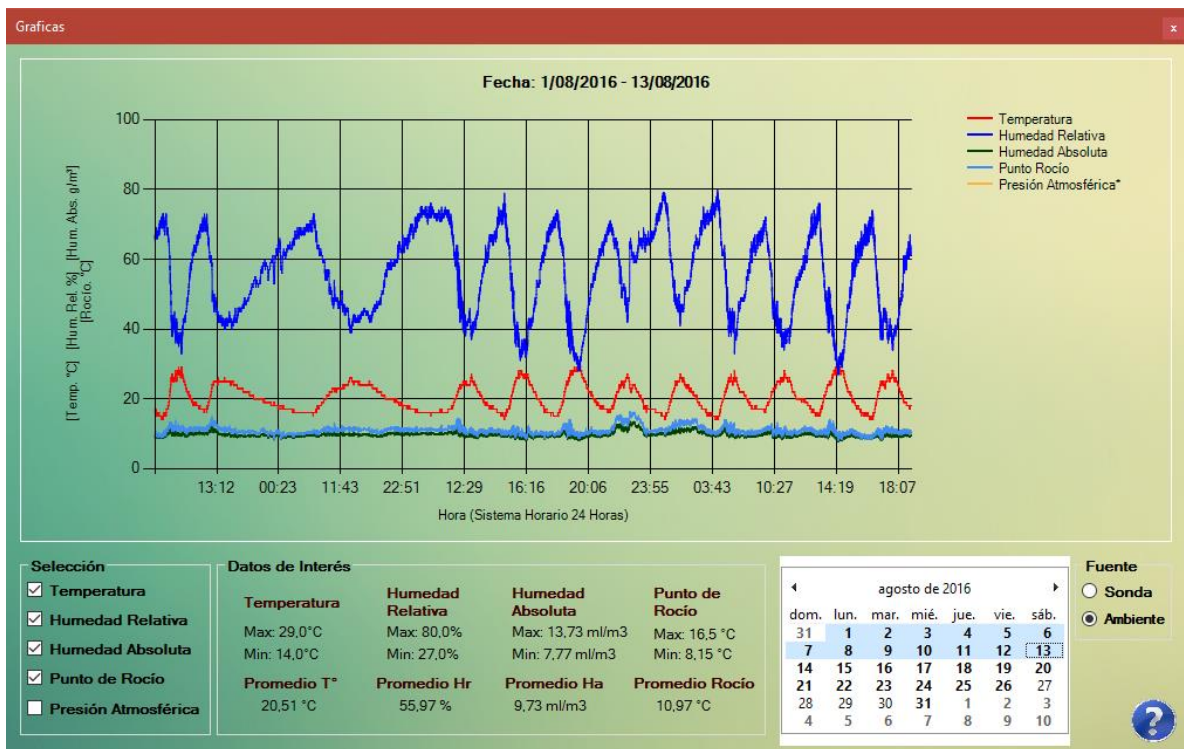


Imagen 30. Agosto 1 a agosto 13, fuente: propia

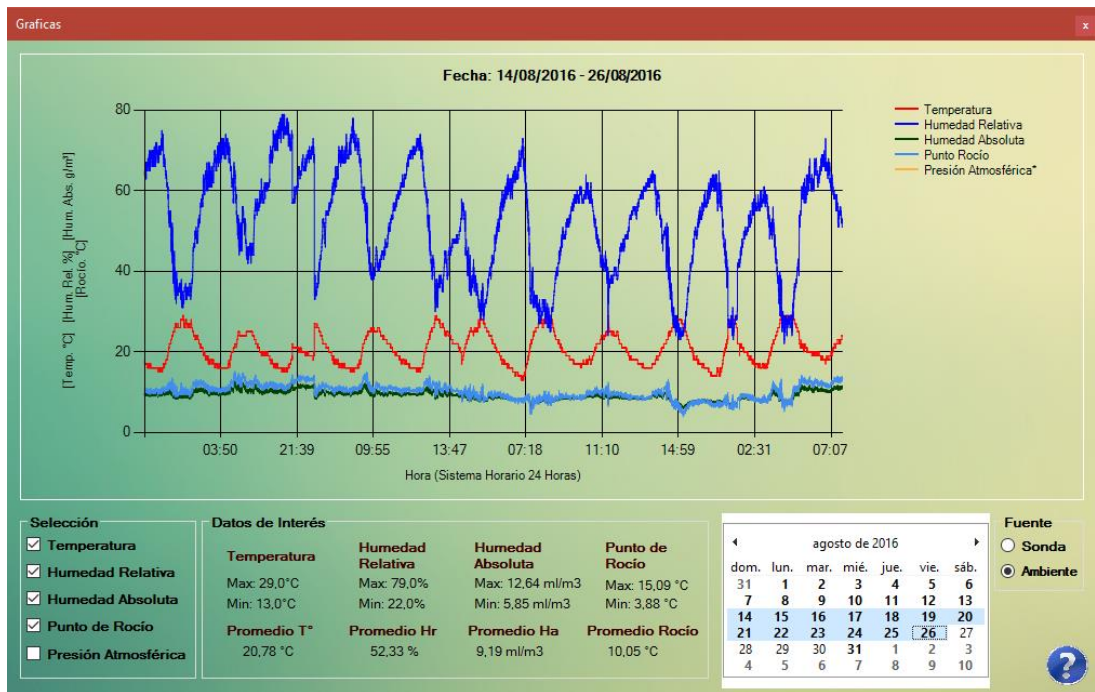


Imagen 31. Agosto 14 a agosto 26, fuente: propia

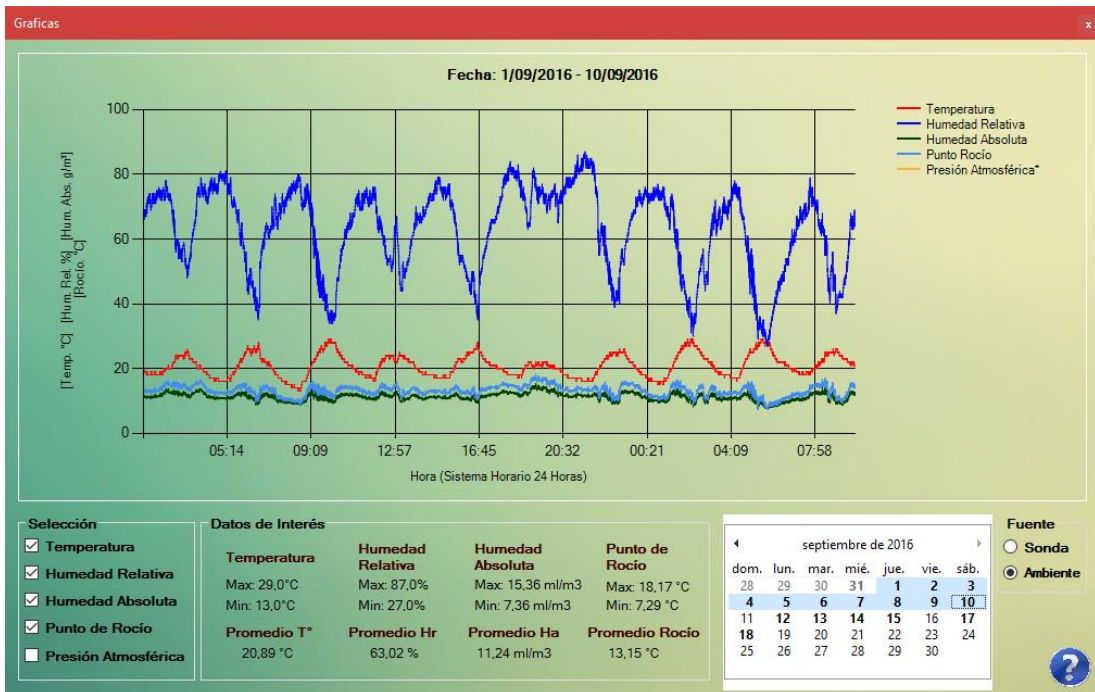


Imagen 32. Septiembre 1 a septiembre 10, fuente: propia

Se observó que un horario ideal para iniciar el proceso de funcionamiento del generador atmosférico de agua es a las 17:20 puesto que es en esta hora que empieza a bajar la temperatura ambiente y la humedad relativa empieza a aumentar paulatinamente.

En cuanto a la presión atmosférica se tiene que para la ciudad de Popayán es de 800 HPa con una altura de 1760 m.s.n.m. [72] aunque en el lugar en donde se realizó el proyecto presenta una altura de 1722 m.s.n.m. por lo que la presión es ligeramente mayor y ésta depende del clima, en días calurosos y muy soleados es de 822 HPa y en días fríos y lluviosos es de 831 HPa.

Las coordenadas de la residencia en donde se realizaron las diversas pruebas expuestas en el capítulo 5 son las siguientes: Latitud: 2.440284 Longitud: -76.619015 Popayán, Cauca, Colombia.

### **Anexo G. Diseño software en Arduino**

Para el correcto funcionamiento del sistema se ha diseñado un software en Arduino el cual se explica en detalle a continuación.

El software presenta variables globales, las cuales son importantes para un correcto funcionamiento del mismo. El diagrama de flujo correspondiente a estas variables se expone en la Imagen 33.

Dentro de las variables globales se encuentran objetos que son instanciados para manejar algunos sensores, como por ejemplo la sonda de temperatura, el sensor de humedad relativa, presión atmosférica, temperatura ambiente, entre otros.

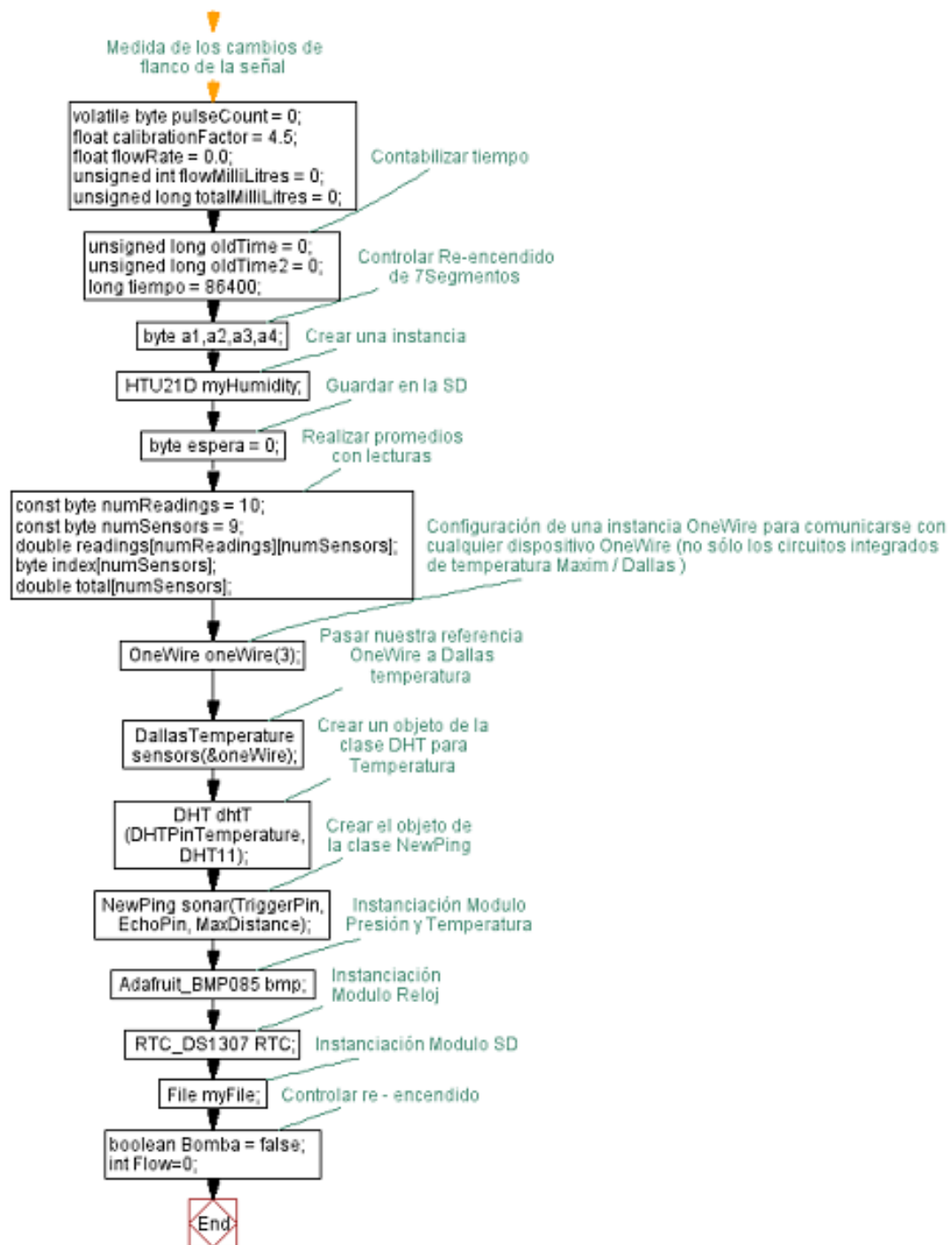
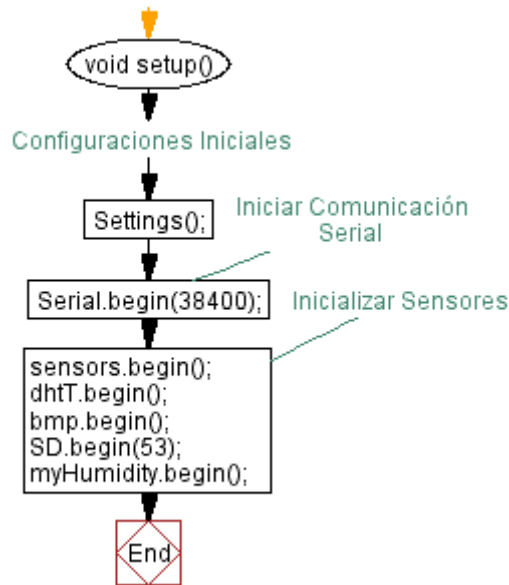


Imagen 33. Diagrama de flujo variables globales en Arduino, fuente: propia

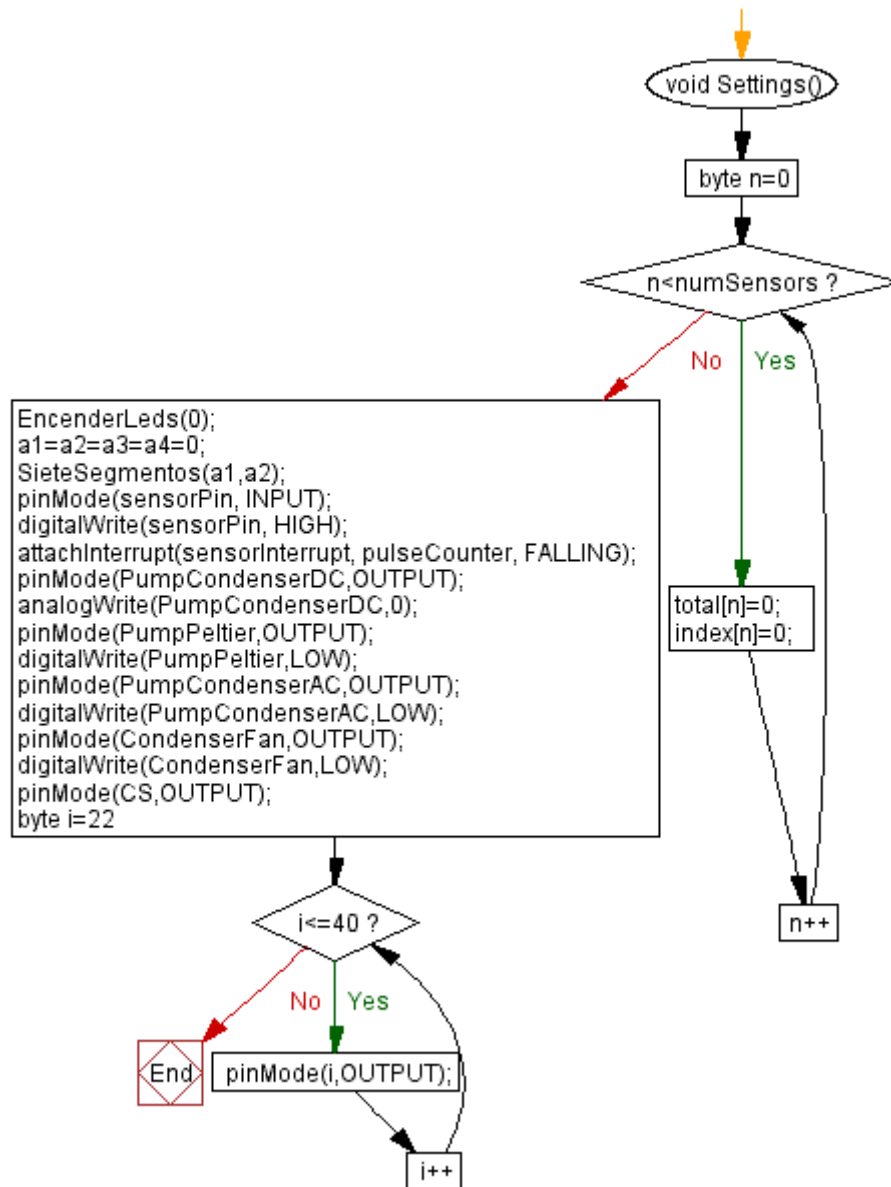
Arduino inicia con la función *Setup* en donde se definen parámetros iniciales como por ejemplo inicializar una comunicación serial o sensores. En la Imagen 34 se expone el diagrama de flujo de esta función.



**Imagen 34.** Diagrama de flujo de función *Setup* en Arduino, fuente: propia

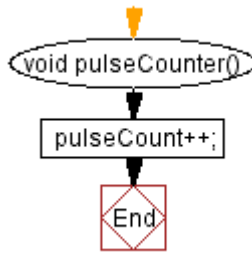
Dentro de la función *Setup* se encuentra una función llamada *Settings* la cual se encarga de definir parámetros iniciales como se muestra en la Imagen 35. Esta función es la encargada de apagar todos los actuadores a excepción de la bomba de agua que hace fluir el líquido refrigerante por el sistema de enfriamiento termoeléctrico. Además de definir los pines correspondientes como entradas o salidas. Por último, se encarga de apagar los leds que indican el nivel de agua potable y mostrar ceros en los 7 segmentos.





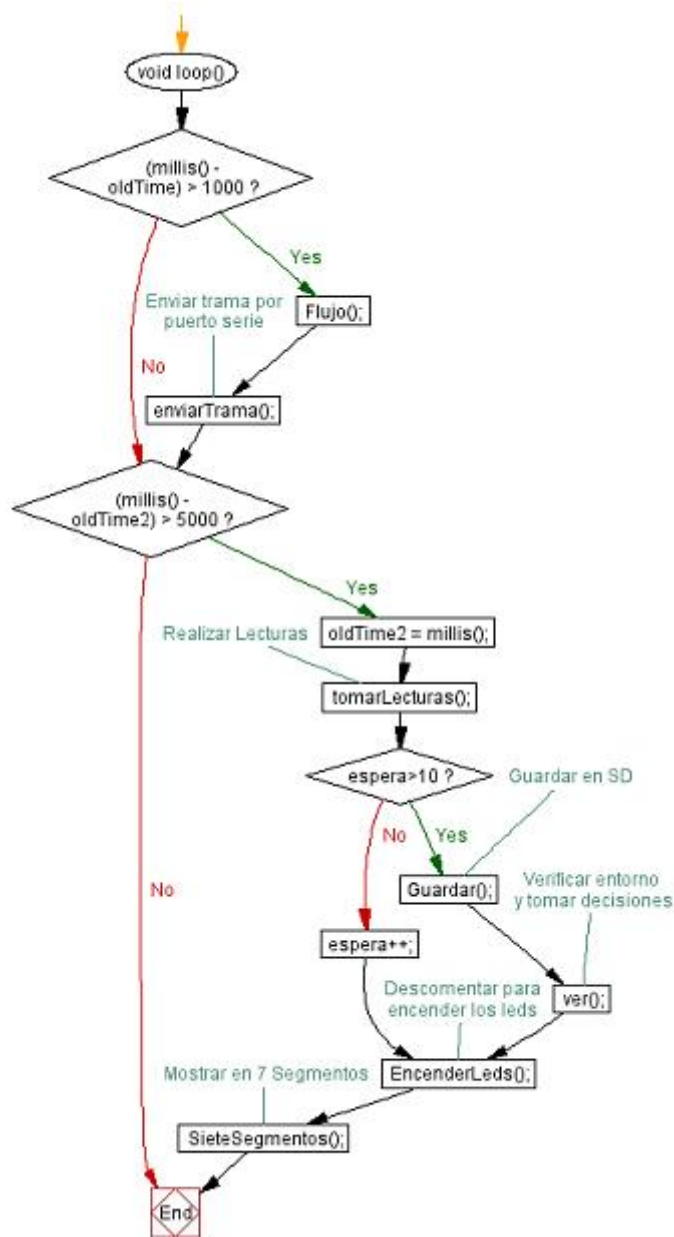
**Imagen 35.** Diagrama de flujo de la función *Settings* en Arduino, fuente: propia

Existe una función la cual permite contar los pulsos de señal ascendente del sensor de flujo. El diagrama de flujo se presenta en la Imagen 36.



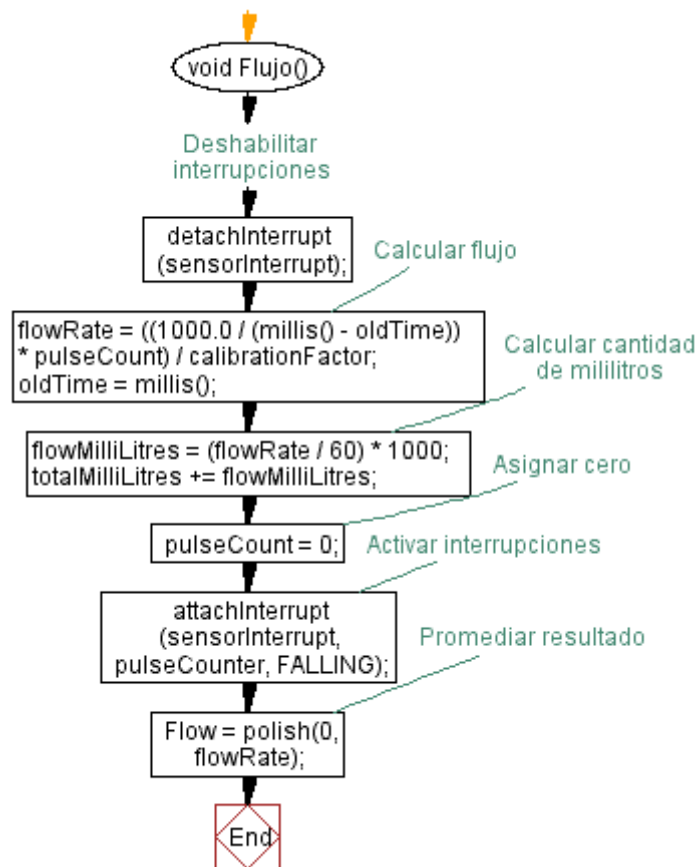
**Imagen 36.** Diagrama de flujo de la función *PulseCounter* en Arduino, fuente: propia

La función *loop* se ejecuta de forma cíclica, lo que facilita que el programa esté respondiendo continuamente ante los eventos que se produzcan en la placa. En esta función, deben ir las funciones que se requiera se ejecuten de forma cíclica, como las lecturas de los sensores, esenciales para el controlador, encender los leds de acuerdo al nivel que presente el tanque de agua potable, desplegar información como la temperatura y humedad relativa en el panel de mando, entre otros. su diagrama de flujo se presenta en la Imagen 37.



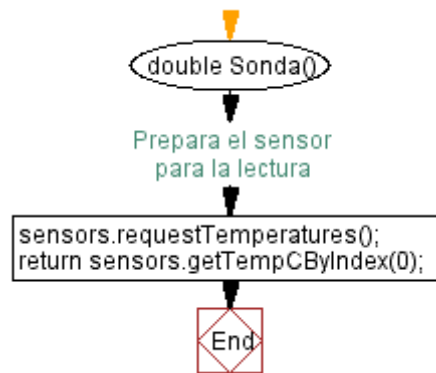
**Imagen 37.** Diagrama de flujo de la función *loop* en Arduino, fuente: propia

La función que permite calcular el flujo por medio del sensor correspondiente se expone en el diagrama de flujo en la Imagen 38.



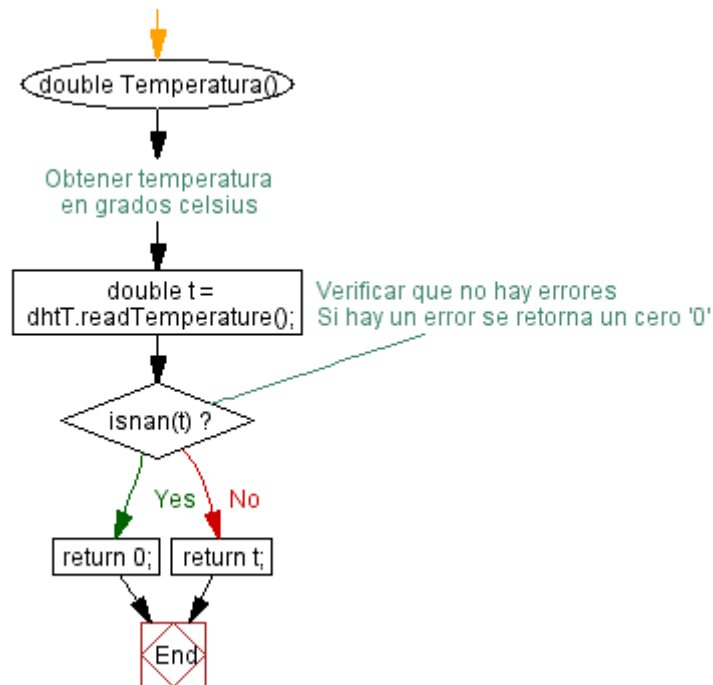
**Imagen 38.** Diagrama de flujo de la función Flujo en Arduino, fuente: propia

El diagrama de flujo de la función que se encarga de realizar lecturas de la sonda de temperatura la cual se encuentra en el tanque de enfriamiento termoeléctrico se expone en la Imagen 39.



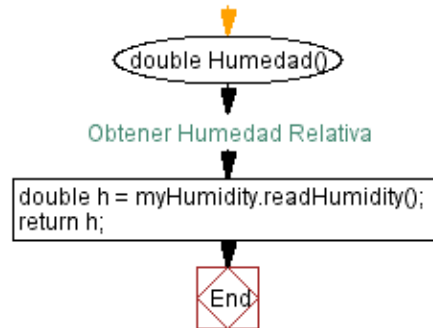
**Imagen 39.** Diagrama de flujo de la función Sonda, fuente: propia

Para obtener un valor de temperatura ambiente se expone el diagrama de flujo de la función que se encarga de realizar esta lectura por medio del sensor DHT11 en la Imagen 40.



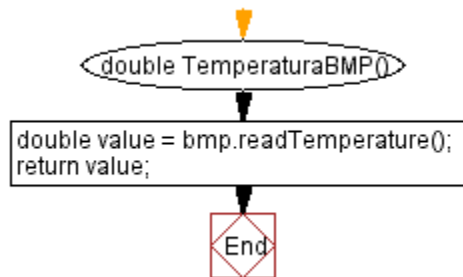
**Imagen 40.** Diagrama de flujo de la función Temperatura, fuente: propia

De igual forma en la Imagen 41;**Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se expone el diagrama de flujo correspondiente a la función que permite realizar lecturas de humedad relativa por medio del sensor de referencia HTU21D.



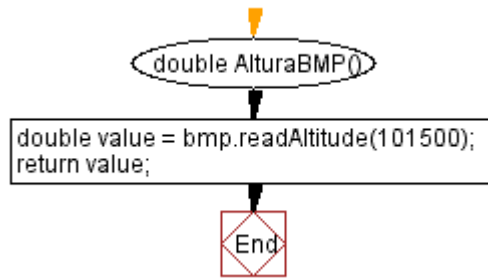
**Imagen 41.** Diagrama de flujo de la función que permite obtener lecturas de humedad relativa, fuente: propia

Para poder realizar lecturas de temperatura por medio del sensor BMP085 se presenta en la Imagen 42 el diagrama de flujo correspondiente a la función que permite realizar dicha lectura.



**Imagen 42.** Diagrama de flujo de la función TemperaturaBMP, fuente: propia

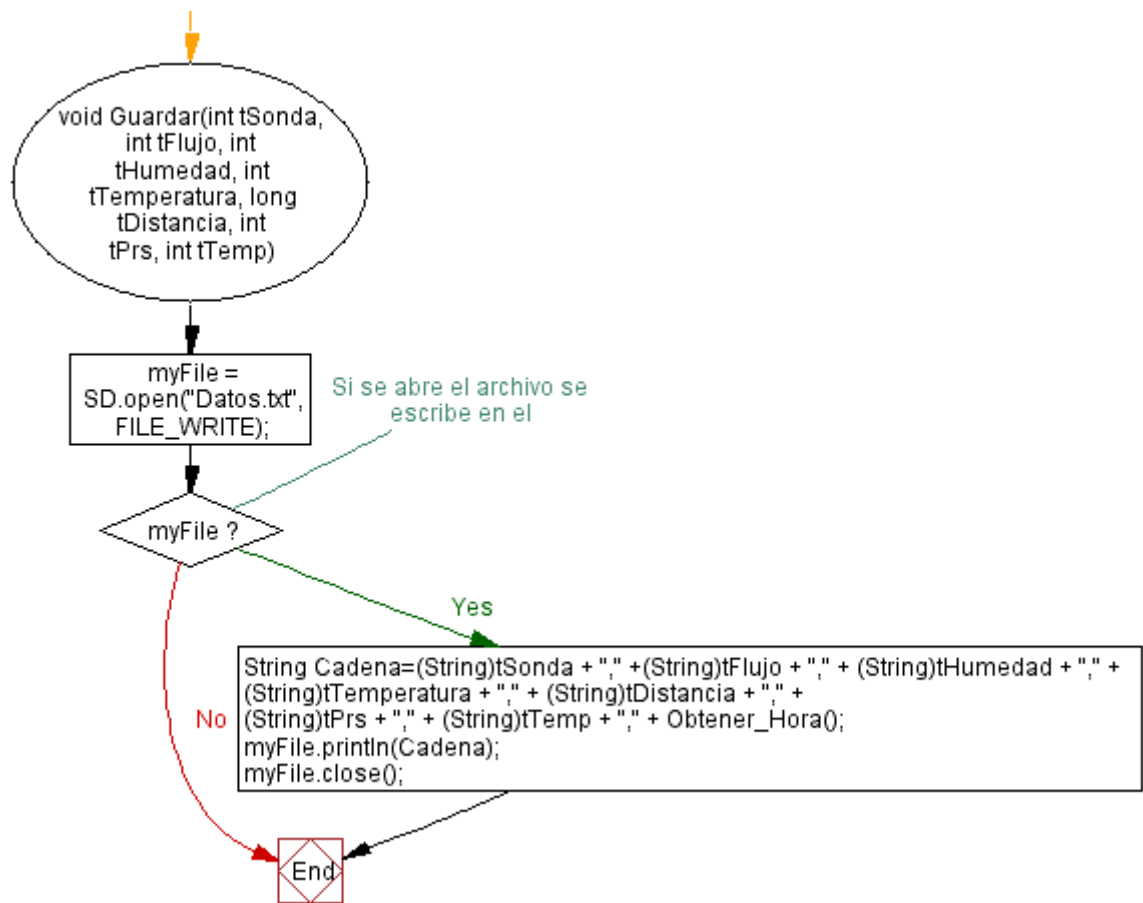
De igual forma este sensor es capaz de entregar la altura sobre el nivel del mar en metros. Para ello se presenta en la Imagen 43 el diagrama de flujo de la función *AlturaBMP* la cual obtiene el resultado del sensor en cuestión.



**Imagen 43.** Diagrama de flujo de la función AlturaBMP, fuente: propia

Para guardar información en la tarjeta SD se presenta en la Imagen 44 el diagrama de flujo correspondiente a la función que realiza esta acción. Los valores que se guardan en la SD son los siguientes:

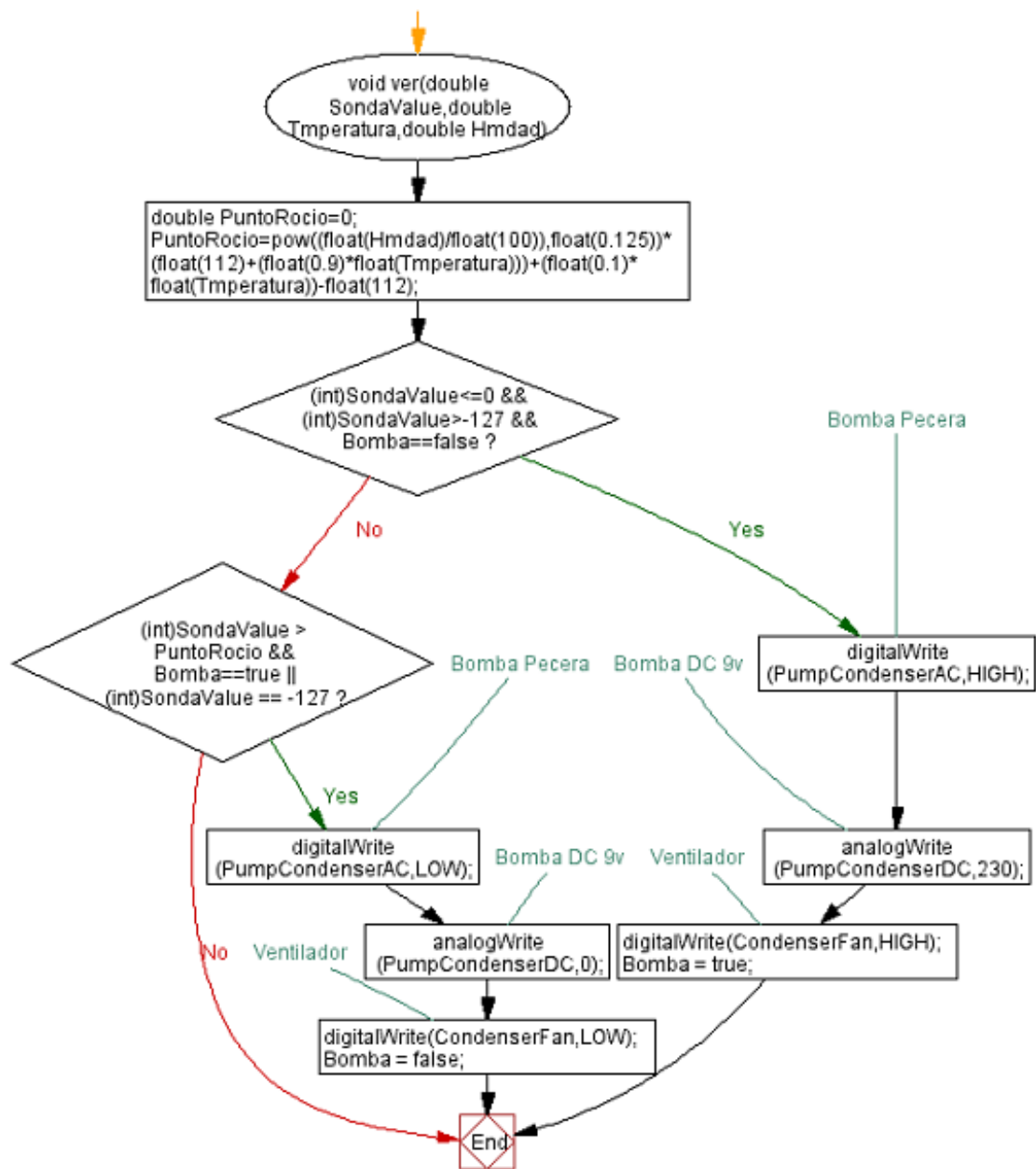
Temperatura del tanque	Flujo	Humedad Relativa	Temperatura Ambiente 1	Valor de ultrasonido	Presión Atmosférica	Temperatura Ambiente 2
------------------------	-------	------------------	------------------------	----------------------	---------------------	------------------------



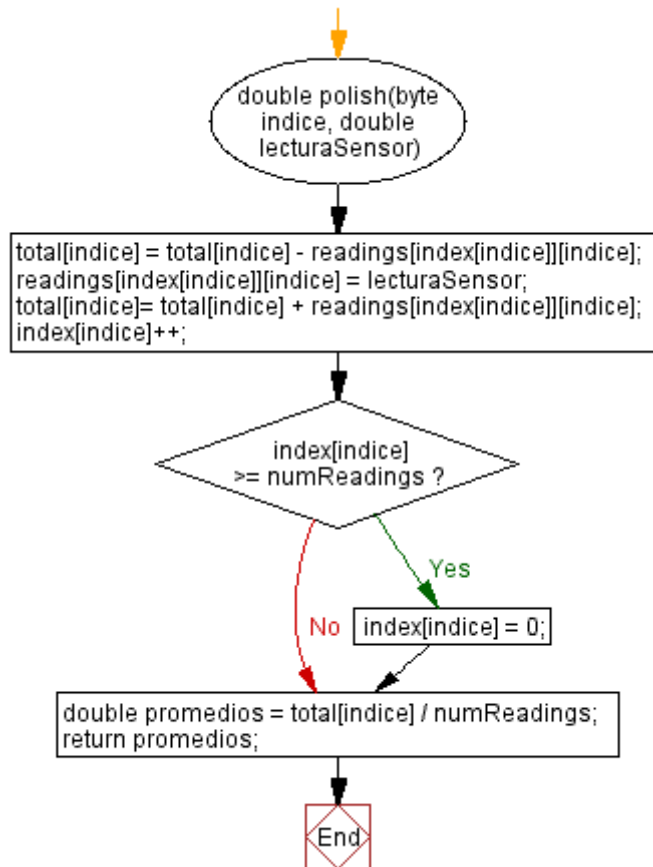
**Imagen 44.** Diagrama de flujo de la función para guardar en la memoria SD en Arduino, fuente: propia

En la Imagen 45 se presenta la función que permite al generador atmosférico condensar el vapor de agua presente en el aire cuando el líquido refrigerante haya llegado a los 0°C y mientras que el líquido se encuentre a una temperatura inferior a la temperatura de rocío. Cuando el líquido refrigerante supera la temperatura de rocío el sistema vuelve y lo enfría para repetir el proceso.





**Imagen 45.** Diagrama de flujo de la función que permite poner en funcionamiento el generador atmosférico de agua, fuente: propia



**Imagen 46.** Diagrama de flujo de la función *Polish* la cual permite promediar valores de los sensores, fuente: propia

Por último, se tiene el diagrama de flujo de la función que permite obtener valores del sensor de ultrasonido el cual se encarga de medir el nivel del tanque de agua potable para posteriormente mostrarse en los leds implementados en el panel de mando. Este diagrama se puede ver en la Imagen 47.

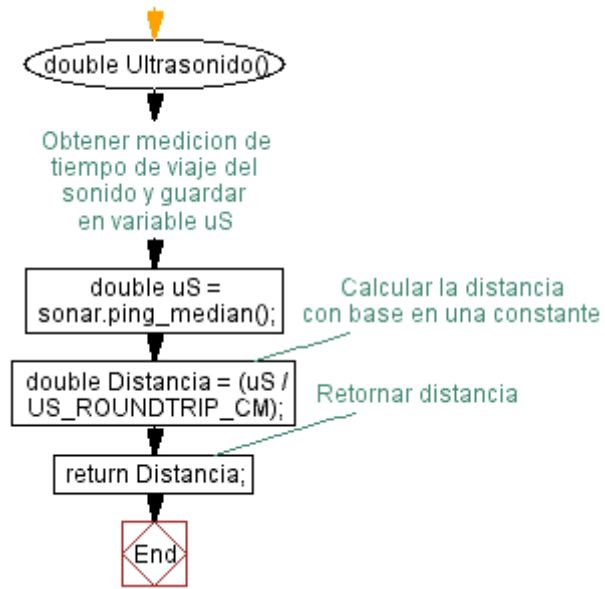


Imagen 47. Diagrama de la función que permite obtener el valor del nivel de tanque de agua potable, fuente: propia