**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE MECATRÓNICA**

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE POR CONDENSACIÓN DE LA HUMEDAD DEL AIRE EN LA PARROQUIA DE LLOA

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniera en Mecatrónica

**AUTORA:** KATHERINE ELIZABETH ANDRANGO MIRANDA

**TUTOR:** RENÉ PATRICIO QUITIAQUEZ SARSOZA

**Quito - Ecuador**

**2023**

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Katherine Elizabeth Andrango Miranda con documento de identificación N. 1725611923 manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 14, de febrero del 2023

Atentamente,

Katherine Elizabeth Andrango Miranda

1725611923

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Katherine Elizabeth Andrango Miranda, con documento de identificación No.-1725611923, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Dispositivo Tecnológico: "Diseño e Implementación de un Prototipo para la Obtención de Agua Potable por Condensación de la Humedad del Aire en la Parroquia de Lloa", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia a lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 14 de febrero del 2023

Katherine Elizabeth Andrango Miranda

1725611923

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, René Patricio Quitiaquez Sarsoza, con documento de identificación No. 1710597269, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE POR CONDENSACIÓN DE LA HUMEDAD DEL AIRE EN LA PARROQUIA DE LLOA, realizado por Katherine Elizabeth Andrango Miranda con documento de identificación No.1725611923, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Dispositivo Tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 14 de febrero del 2023

Ing. René Patricio Quitiaquez Sarsoza

1710597269

## DEDICATORIA

A mi madre, María Miranda, quien ha sido mi mayor bendición; una mujer fuerte, luchadora y decidida, que me ha dado su total apoyo y amor incondicional a lo largo de mi vida, demostrándome que con valentía y carácter soy capaz de alcanzar mis metas.

A mi familia y mi pareja, quienes son un pilar fundamental y me impulsan a superarme cada día.

Katherine Andrango Miranda

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la oportunidad de cumplir mi meta y ser motivo de orgullo para mis seres queridos.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por abrirme sus puertas durante mi formación académica.

A mi madre, por estar siempre presente en mi vida, por formarme como una persona con principios y valores e impulsarme a ser mejor cada día.

A mi familia, por confiar en mis capacidades y brindarme su apoyo fraterno.

A mi pareja, por su amor, confianza y apoyo constante.

Katherine Andrango Miranda

**Índice**

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN ..... I
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ..... II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN ..... III
DEDICATORIA ..... IV
AGRADECIMIENTO ..... V
Índice ..... VI
Índice de Figuras ..... IX
Índice de Tablas ..... XII
RESUMEN ..... XIII
ABSTRACT ..... XIV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... XV
JUSTIFICACIÓN ..... XVI
OBJETIVOS ..... XVII
OBJETIVO GENERAL ..... XVII
OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... XVII
METODOLOGÍA ..... XVIII
HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN ..... XIX
HIPÓTESIS GENERAL ..... XIX
HIPÓTESIS ESPECÍFICAS ..... XIX
PÚBLICO OBJETIVO ..... XIX
CAPÍTULO I ..... 21
MARCO TEÓRICO ..... 21
1.1. Psicometría ..... 21
1.2. Composición del aire ..... 21
1.3. Parámetros Ambientales ..... 22
1.3.1. Temperatura ..... 22
1.3.2. Condensación del agua ..... 22
1.3.3. Humedad Relativa ..... 22
1.3.4. Punto de rocío ..... 23
1.4. Termoelectricidad ..... 24
1.4.1. Transferencia de calor por conducción ..... 24

1.5. Efectos Termoeléctricos ..... 24
1.5.1. Efecto Seebeck ..... 24
1.5.2. Efecto Peltier ..... 25
1.5.3. Efecto Thompson ..... 26
1.5.4. Efecto Joule ..... 26
1.6. Dispositivos Termoeléctricos ..... 26
1.6.1. Módulos Termoeléctricos (TEM) ..... 27
1.7. Métodos de potabilización del agua ..... 27
1.8. Teoría de Control ..... 27
1.8.1. Control ON/OFF ..... 28
1.8.1.1. Características del sistema de control ON/OFF: ..... 28
1.8.1.2. Ventajas del Control ON/OFF ..... 29
1.8.1.3. Desventajas del sistema de control ON/OFF ..... 29
1.9. Antecedentes del uso de las celdas Peltier como condensadores de agua ..... 29
CAPÍTULO II ..... 31
DISEÑO DEL PROTOTIPO ..... 31
2.1. Descripción ..... 31
2.2. Alternativa 1 ..... 31
2.3. Alternativa 2 ..... 33
2.4. Alternativa 3 ..... 34
2.5. Análisis de Alternativas ..... 36
2.6. Diseño del Prototipo ..... 37
2.6.1. Sistema de obtención de agua ..... 37
2.6.2. Sistema de recolección y purificación del agua ..... 40
2.6.3.1. Materiales para la construcción del mueble de soporte ..... 44
2.6.3.2. Análisis de la estructura del sistema de soporte ..... 45
2.6.4. Elementos del mecanismo para el control del dispositivo ..... 48
2.6.5. Sistema electrónico ..... 51
CAPÍTULO III ..... 55
IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO ..... 55
3.1. Sistema de generación de agua por condensación ..... 55
3.2. Sistema de recolección y purificación ..... 56
3.2.1. Proceso de Filtrado ..... 58
3.3. Sistema de soporte y disposición de los elementos del sistema ..... 59
3.4. Sistema electrónico y de control ..... 62

3.4.1. Implementación del circuito electrónico ..... 62
3.4.2. Implementación final..... 65
3.4.2. Diagrama de flujo del circuito de control para el prototipo generador de agua ..... 68
3.5. Proceso de obtención de agua potable con el prototipo implementado ..... 70
CAPÍTULO IV ..... 73
ANÁLISIS DE RESULTADOS..... 73
4.1. Obtención de datos..... 73
4.2. Discusión de resultados ..... 76
4.3. Análisis del volumen de agua recolectado..... 84
4.4. Transferencia de calor y consumo de energía..... 85
4.5. Prueba de hipótesis ..... 87
4.6. Análisis Económico ..... 89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 92
Conclusiones ..... 92
Recomendaciones ..... 94
BIBLIOGRAFÍA ..... 95
ANEXOS ..... 98
ANEXO I. Ubicación geográfica de la Parroquia de Lloa en la Provincia de Pichincha ..... 98
ANEXO II. Temperatura promedio de la Parroquia de Lloa..... 98
ANEXO III. Humedad promedio de la Parroquia de Lloa ..... 99
ANEXO IV. Mapa de temperatura de la Parroquia de LLoa..... 99
ANEXO V. Plano de diseño del sistema de soporte y distribución de los elementos del mecanismo ..... 100
ANEXO VI. Código del control ON/OFF del prototipo ..... 101
ANEXO VII. Manual de operación del prototipo..... 104
ANEXO VIII. Ficha de mantenimiento preventivo del prototipo ..... 105
ANEXO IX. Pruebas de funcionamiento..... 106

## Índice de Figuras

Figura 1. Efecto Seebeck [9] ..... 25

Figura 2. Efecto Peltier [9] ..... 25

Figura 3. Control de temperatura ON/OFF [12] ..... 28

Figura 4. Prueba con seis celdas Peltier ..... 32

Figura 5. Prueba con seis celdas y sensor LM35. ..... 32

Figura 6. Prueba con ventilación forzada. ..... 34

Figura 7. Prueba con tres celdas Peltier ..... 35

Figura 8. Celda Peltier TEC-12706 ..... 38

Figura 9. Disipador de aluminio ..... 38

Figura 10. Ventilador de 12V ..... 39

Figura 11. Fuente conmutada de 12 Voltios y 30 Amperios ..... 39

Figura 12. Tanque de recolección ..... 40

Figura 13. Filtro cerámico ..... 40

Figura 14. Filtro de cartucho ..... 41

Figura 15. Filtro de piedra mineral ..... 41

Figura 16. Tanque inferior ..... 42

Figura 17. Llave dispensadora de agua ..... 42

Figura 18. Esquema del diseño del mueble de soporte del sistema. ..... 43

Figura 19. Distribución interna ..... 44

Figura 20. Sensor termopar tipo K y driver MAX6675 ..... 49

Figura 21. Sensor DHT22 ..... 49

Figura 22. Microcontrolador Arduino Mega 2560 ..... 50

Figura 23. HMI TFT de 3.5" ..... 50

Figura 24. Módulo de relés ..... 51

Figura 25. Esquema electrónico general del prototipo ..... 52

Figura 26. Esquema de conexión de las celdas Peltier y los ventiladores ..... 53

Figura 27. Esquema de conexión del sensor termopar tipo K y el sensor DHT22 ..... 54

Figura 28. Esquema de conexión de la pantalla de 3.5´´ al Arduino Mega ..... 54

Figura 29. Acople de celdas Peltier, disipador y sensor tipo K. ..... 56

Figura 30. Acople del sistema de ventilación. ..... 56

Figura 31. Base - tanque inferior y dispensador. ..... 57

Figura 32. Filtro de piedra mineral. ..... 57

Figura 33. Filtro de cartucho. ..... 58

Figura 34. Purificador de agua completo ..... 58

Figura 35. Construcción del mueble de soporte. ..... 60

Figura 36. Sistema de transporte y frenado. ..... 60

Figura 37. Vista superior sistema recolección. ..... 60

Figura 38. Vista frontal del sistema de soporte ..... 61

Figura 39. Vista posterior del sistema de soporte ..... 61

Figura 40. Vista lateral del sistema de soporte ..... 62

Figura 41. Distribución del sistema de generación. ..... 62

Figura 42. Sensor DHT22 ..... 63

Figura 43. Termopar tipo K ..... 63

Figura 44. Conexión HMI. ..... 64

Figura 45. Conexión de actuadores. ..... 64

Figura 46.Sección 1. celdas Peltier y ventiladores. ..... 65

Figura 47. Sección 2 - sistema de recolección y purificación. ..... 65

Figura 48. Sección 3: microcontrolador y HMI ..... 66

Figura 49. Sección 4. Sistema de alimentación. ..... 66

Figura 50. Sección 5. Almacenamiento. ..... 67

Figura 51. Visto frontal prototipo terminado ..... 67

Figura 52. Prototipo final. Secciones ..... 68

Figura 53- Sistema de control del prototipo ..... 69

Figura 54. Sistema de control del prototipo, continuación ..... 70

Figura 55. Temperatura del disipador 29 de enero, de 18:00 a 18:30 ..... 76

Figura 56. Volumen agua recolectada 21 enero de 2023 ..... 77

Figura 57.Volumen agua recolectada 29 enero de 2023 ..... 78

Figura 58. Agua generada del 18 al 22 de enero de 2023. Horario de noche ..... 79

Figura 59. Agua generada del 18 al 22 de enero de 2023. Horario de día. ..... 79

Figura 60. volumen vs temperatura del 18 al 22 de enero de 2023 ..... 80

Figura 61. volumen vs temperatura del 25 al 29 enero de 2023 ..... 80

Figura 62. volumen vs humedad del 18 al 22 de enero de 2023 ..... 81

Figura 63. volumen vs humedad del 25 al 29 enero de 2023 ..... 81

Figura 64.Humedad relativa vs. temperatura del 18 al22 enero de 2023 ..... 82

Figura 65.Humedad relativa vs. temperatura del 25 al 29 enero de 2023 ..... 82

Figura 66. Punto de rocío vs. temperatura ..... 83

Figura 67. Punto de rocío vs. humedad ..... 83

Figura 68. Batería recargable 12 V - 500 Ah. [30] ..... 88

## Índice de Tablas

Tabla 1. Selección de alternativa de diseño ..... 36

Tabla 2. Materiales para la construcción del mueble de soporte ..... 44

Tabla 3. Propiedades físico mecánicas del MDF melamina [20] ..... 46

Tabla 4. Aspectos físicos considerados para el análisis ..... 73

Tabla 5 Cantidad de agua recolectada 18 al 22 enero 2023. ..... 74

Tabla 6. Cantidad de agua recolectada 25 al 29 enero 2023 ..... 74

Tabla 7. Temperatura del disipador día 21 de enero ..... 75

Tabla 9. Análisis de costos del sistema de soporte ..... 90

Tabla 10. Análisis de costos sistema electrónico ..... 90

Tabla 11. Análisis costo sistema de purificación ..... 91

Tabla 12. Análisis de costos mano de obra ..... 91

Tabla 13. Costo Total del proyecto ..... 91

# RESUMEN

El presente trabajo de titulación es una propuesta enfocada a brindar una alternativa para la obtención de agua potable, en sectores cuyo abastecimiento es insuficiente y sus condiciones climáticas pueden ser aprovechadas. Para lograr este objetivo, se plantea el diseño y construcción de un prototipo para la obtención de agua mediante la condensación de la humedad del aire.

Un análisis de los principios físicos y termodinámicos correspondientes dirige el enfoque del proyecto hacia el uso de celdas Peltier, mediante un sistema de control automatizado para captar el agua del ambiente. La cantidad de líquido recolectado depende de las condiciones de temperatura y humedad existentes en la zona de pruebas, factores que también son monitoreados y permiten realizar la retroalimentación del sistema. El agua recolectada es sometida posteriormente a un proceso de purificación mediante el método de filtración, de esta manera se consigue que sea apta para el consumo humano.

El diseño e implementación del prototipo fue realizado en tres etapas secuenciales. La primera etapa comprende el sistema de generación de agua, en el cual se plantearon diferentes alternativas para el manejo de las celdas Peltier, hasta lograr que el modelo final funcione de manera óptima. La segunda etapa es el proceso de recolección y purificación del agua obtenida, es decir, desde que se capta el líquido de las celdas, hasta que está listo para su consumo. Finalmente, la tercera etapa implica el proceso de automatización del mecanismo, para que opere de manera eficiente y se convierta en un dispositivo amigable con el consumidor.



**Palabras clave:** Efecto Peltier, Humedad, Condensación, Potabilización, Automatización.

## ABSTRACT

This project is a proposal focused on providing an alternative for obtaining drinking water, in sectors whose supply is insufficient and its climatic conditions can be used. To achieve this objective, the design and construction of a prototype for obtaining water through the condensation of air humidity are proposed.

An analysis of the corresponding physical and thermodynamic principles, focus the project towards the use of Peltier cells, which through an automated control system are capable of capturing water from the environment. The amount of liquid collected depends on the existing temperature and humidity conditions in the test area, factors that are also monitored and allow feedback to the system. The collected water is subsequently subjected to a purification process using the filtration method, thus making it suitable for human consumption.

The design and implementation of the prototype was carried out in three sequential stages. The first stage includes the water generation system, in which different alternatives for the management of the Peltier cells were proposed, until the final model works optimally. The second stage is the process of collecting and purifying the water obtained, that is from the time the liquid is collected from the cells till it is ready for consumption. Finally, the third stage involves the process of automating the mechanism, so that it operates efficiently and becomes a consumer-friendly device.



**Keywords:** Peltier Effect, Humidity, Condensation, Purification, Automation.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los principales problemas medioambientales que enfrenta la sociedad actual es la limitada fuente de agua potable que existe en el planeta. A pesar de que el 70 % de la Tierra se encuentra cubierta de agua, tan sólo el 2.5% es dulce, es decir, apta para el consumo de los seres vivos [1]. Considerando el acelerado crecimiento poblacional en los últimos años se afirmaría que, para el año 2050, este recurso limitado necesitará satisfacer a una población proyectada de 9.7 billones; y para esa fecha, un estimado de 3.9 billones, o más del 40% de la población vivirá en cuencas fluviales gravemente afectadas por el agua. Por otro lado, existe consumo excesivo de este líquido vital en aquellos lugares que gozan del acceso al servicio.

Según Alarcón (2018), sólo en Ecuador, una persona consume aproximadamente 249 litros de agua por día, cifra que resulta excesiva si se compara con los 100 litros que, según la Organización Mundial de la Salud, son suficientes para satisfacer las necesidades básicas. Un ecuatoriano, además, eleva su consumo de agua 40% más que el promedio de la región [2]. Este consumo desmedido, así como la contaminación de los ríos y fuentes naturales de agua, ya sea de manera directa o como consecuencia de la sobreexplotación de los recursos naturales, son los principales detonantes que ponen en grave riesgo los recursos hídricos a nivel mundial [1]

El análisis de la Agencia de Regulación y Control del Agua del Gobierno del Ecuador en 2018 establece que el 83,7% del territorio nacional tiene cobertura de este servicio básico, y 15 de las 24 provincias del país se encuentran sobre la media nacional [3]. Si bien existen campañas de concientización, o propuestas de control poblacional, desde el punto de vista de la ingeniería, se plantea la necesidad de buscar alternativas para la obtención de agua potable que contribuyan a incrementar la esperanza de vida de una población.

## JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a lo estipulado en el artículo 38 de la Constitución de la República del Ecuador vigente, “El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos.”. Por lo tanto, es deber de toda la ciudadanía aprovechar este recurso con conciencia social, así como de los actores políticos procurar su distribución equitativa a todos los sectores urbanos y rurales del país. Sin embargo, la falta de recursos, la contaminación, los inconvenientes para terminar los proyectos y la distancia de los poblados están entre los problemas que tienen los Municipios para ampliar el servicio de agua potable.

Bajo esta premisa, surge la necesidad de nuevas estrategias que contribuyan a cumplir con el abastecimiento de este líquido vital a la población, en especial aquellas zonas que no cuentan con una red de distribución o cuyos suministros no son suficientes en comparación con la demanda, por lo que se sugiere un sistema de obtención y abastecimiento alternativo de agua, aprovechando la humedad del aire, mediante un método de condensación y posterior potabilización. En un principio se plantea el diseño y construcción de un prototipo cuya capacidad de generación sea de un litro diario de agua, considerando el nivel de humedad de la zona de pruebas, en este caso, la Parroquia de Lloa, la cual se localiza a 11.91 km en dirección sur oeste del Distrito Metropolitano de Quito, en el Valle homónimo ubicado en las faldas del Volcán Guagua Pichincha [4]. De forma adicional se estudia la posibilidad de funcionamiento del generador atmosférico de agua a base de baterías recargables, lo cual es un impacto positivo ya que se convierte en un dispositivo transportable pues no requiere conexión a la red eléctrica.

Como seres humanos es necesario preservar el medio ambiente y dejar un legado de conciencia y participación a las futuras generaciones. El presente proyecto plantea una

alternativa sustentable y menos contaminante que brinde apoyo a uno de los grandes problemas a nivel mundial: la escasez de agua potable. Es un planteamiento que busca aprovechar los recursos que brinda la naturaleza, a través del conocimiento y estrategias desde el punto de vista de la ingeniería, para satisfacer una necesidad básica y de bienestar común.

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un prototipo para la obtención de agua potable mediante la condensación del aire en la Parroquia de Lloa.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un equipo electromecánico con aplicación de transferencia de calor y termodinámica apoyado con sistemas electrónicos, para la obtención de agua potable mediante la captación por condensación del vapor de agua de la atmósfera.
- Seleccionar mediante cálculos y catálogos los componentes mecánicos, electrónicos y de control óptimos que requiere el dispositivo para la implementación del prototipo final.
- Verificar por medio de pruebas de funcionamiento la cantidad de agua obtenida por el mecanismo, para establecer la capacidad de generación del líquido en la zona, así como la calidad del mismo.

# METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente proyecto, se ha considerado un enfoque cuantitativo, ya que ofrece una serie de procesos secuenciales y demostrativos, obteniendo de esta manera un mayor número de resultados que contribuyan a evaluar la eficiencia y rentabilidad del proyecto. Por otro lado, el proceso de recolección de información se realizará mediante una metodología estadística, centrada en satisfacer los objetivos y preguntas derivadas de la problemática, tomando en cuenta las condiciones climáticas del lugar donde se aplicará el prototipo para la obtención de agua potable. En el diseño y construcción contará con una metodología analítica debido a que, para cada uno de los diferentes sistemas y mecanismos propuestos, se realizarán una serie de cálculos e investigaciones, con los cuales se pretende obtener análisis y criterios lógicos que ayuden a realizar una correcta selección de los sistemas a utilizar. Con la construcción del proyecto se pretende evaluar, mediante una metodología experimental de campo, si la máquina cumple las metas planteadas en cuestión de cantidad y calidad del producto final, en este caso, el agua potable. También se verificará si el proyecto ofrece una buena rentabilidad y, finalmente, se someterá a diferentes pruebas, con el fin de obtener una gran variedad de resultados y, mediante estos, analizar si su eficiencia y funcionamiento van de la mano con los objetivos planteados al inicio del proyecto.

# HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

## HIPÓTESIS GENERAL

Un prototipo cuyo diseño se basa en el principio de funcionamiento de las celdas Peltier permite la generación de agua mediante la condensación de la humedad del aire en la Parroquia de Lloa.

## HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Un arreglo con celdas Peltier que tras descender al punto de rocío consigan captar el agua existente en la atmósfera, puede ser automatizado mediante un sistema de enfriamiento que opere de forma segura por lapsos de tiempo determinados.
- El desarrollo de un sistema de control para el módulo de generación de agua, cuyo volumen depende de los factores ambientales de la Parroquia de Lloa, permite la optimización del proceso y reduce el riesgo de daños en los elementos del prototipo.
- El proceso de potabilización de agua mediante el método de filtración permite obtener agua pura, en condiciones aptas para el consumo humano.

## PÚBLICO OBJETIVO

El prototipo para la generación de agua está enfocado hacia la población que integra la parroquia de Lloa, la cual posee un área de 54725 km² y considerada la más extensa del Distrito Metropolitano de Quito, con una altura que varía entre 1800 y 4675 metros sobre el nivel del mar, lo que la convierte en un lugar propicio para gran diversidad de climas y paisajes, aunque la mayor parte de su territorio está constituido por un bosque primario [4]. Para comprender las condiciones climáticas de la Parroquia de Lloa, en el apartado

de anexos se pueden apreciar los mapas y esquemas obtenidos de fuentes oficiales, distribuidos de la siguiente manera:

- En el ANEXO I se presenta la ubicación geográfica de la Parroquia de Lloa
- El ANEXO II muestra la temperatura promedio de la Parroquia de Lloa
- EL ANEXO III ilustra la humedad promedio de la Parroquia de Lloa
- El ANEXO IV presenta un mapa de temperatura de la Parroquia de Lloa

# CAPÍTULO I

# MARCO TEÓRICO

El presente capítulo detalla la fundamentación teórica necesaria que permita al lector tener una idea clara de los principios y conceptos aplicados en el desarrollo del prototipo generador de agua.

## 1.1.Psicometría

La Psicrometría, según Simões y Hernández, es la ciencia del estudio de varias propiedades del aire, método para controlar su temperatura y contenido de humedad y su efecto en varios materiales y seres humanos. Esto permite comprender los diferentes componentes del aire y cómo se afectan entre sí, lo que a su vez revela varios misterios de la atmósfera y el medio ambiente. Algunas de estas propiedades son la composición de aire y el punto de rocío [5].

## 1.2. Composición del aire

En el trabajo de Gil y Olcina intitulado "Tratado de Climatología", plantean que el aire consiste en una mezcla de varios gases además de vapor de agua por lo que, el aire seco puro no existe en realidad; sin embargo, su concepto es muy importante para comprender cómo se producen varios cambios en el proceso de aire acondicionado. El aire está compuesto por varios gases, de los cuales el 78% corresponde al Nitrógeno y 21% de Oxígeno. El porcentaje restante de los gases incluye dióxido de carbono y cantidades muy pequeñas de gases inertes como hidrógeno, helio, neón y argón. El vapor de agua es también una pequeña parte del aire incluido entre el 1% restante de los gases [6].

La concentración de humedad en el aire es variable dependiendo de las condiciones atmosféricas de la zona

. Los lugares ubicados cerca del mar contienen más humedad, mientras que las zonas desérticas carecen de ésta. De manera similar, durante las estaciones de lluvia, el contenido de humedad del aire es alto, mientras que en verano e invierno es bajo. El aire contiene normalmente del 1% al 3% de humedad en masa. El enfriamiento del vapor de agua da como resultado su condensación [7].

## 1.3. Parámetros Ambientales

### 1.3.1. Temperatura

Variable que indica la dirección de desplazamiento del calor cuando dos cuerpos entran en contacto. La superficie que presenta mayor cantidad de temperatura siempre cede a la de menor valor, hasta que ambas estén en equilibrio y tengan la misma temperatura [7]. Es importante destacar que temperatura y calor no son lo mismo, pues la primera es una magnitud que determina la cantidad de calor de un cuerpo u objeto, mientras que el segundo corresponde a la energía calorífica presente en dichos cuerpos.

### 1.3.2. Condensación del agua

Proceso que consiste en la conversión del vapor de agua en líquido. Puede suscitarse de dos formas: el aire alcanza su punto de rocío debido al enfriamiento, o bien el vapor de agua presente en la atmósfera llega al punto máximo de saturación lo que le impide contener más líquido [8].

### 1.3.3. Humedad Relativa

La humedad se define como la cantidad de agua presente en el aire que guarda una relación inversamente proporcional con la temperatura del lugar, esto es, a mayor temperatura la humedad disminuye y viceversa. De acuerdo con Segura, el término humedad relativa (HR) se acuña a la cantidad de humedad presente en la atmósfera, en un momento preciso. Es decir, corresponde a la proporción real de vapor de agua presente

en el aire, en contraste con el vapor requerido para alcanzar el punto de saturación, considerando la temperatura del ambiente. La humedad relativa se mide en porcentaje, donde la máxima concentración equivale al cien por ciento. Si el aire no es capaz de contener la humedad presente en el medio, esta pasa a estado líquido, al condensarse como rocío [7].

### 1.3.4. Punto de rocío

Punto umbral de temperatura a la cual el aire no es capaz de soportar la humedad y como consecuencia se produce el fenómeno de condensación, es decir, es la cantidad de agua que se ha condensado de la atmósfera. La temperatura del aire en forma natural es capaz de alcanzar el punto de rocío o caer por debajo de éste, como sucede a menudo durante la noche. Esto también ocurre cuando el aire caliente choca contra una superficie fría, alcanzando su punto de rocío y por ende su condensación, como es el caso de las gotas que aparecen en recipientes que han sido retirados de un equipo de enfriamiento [9].

Las nubes se originan debido al proceso de acumulación de agua en forma de vapor en un saco de aire. El punto preciso de condensación se puede apreciar en sus cúmulos, cuyo fondo es plano. Es aquí donde el vapor comienza a condensarse en gotas de agua.

El valor de temperatura al cual el aire logra la saturación se conoce como punto de rocío [9]. La ecuación (1) corresponde a la fórmula empleada para su cálculo:

$$\boldsymbol{p_r = \left[\sqrt[8]{\frac{H}{100}}\, x(112 + 0.9T)\right] + (0.1T) - 112} \qquad (1)$$

Donde:

Pr= punto de rocío, medido en grados Celsius (°C)

H=humedad relativa

T= temperatura (°C)

## 1.4. Termoelectricidad

Conjunto de principio y leyes desarrollados por Kelvin Thomson, que analizan los diferentes fenómenos físicos en los cuales intervienen las variables de calor y electricidad [9]. Como caso particular, estudia el fenómeno de conversión de variaciones de temperatura en diferenciales de tensión.

### 1.4.1. Transferencia de calor por conducción

Consiste en el fenómeno de transferencia de calor mediante contacto directo entre dos superficies, ya que sus partículas internas buscan equilibrar su temperatura. Es decir, se produce un flujo de energía cinética, sin que exista traspaso de materia. La propiedad física que interviene es la conductividad térmica, la cual consiste en la capacidad que posee un elemento para facilitar el movimiento cinético entre sus moléculas a las de otro material con el que mantiene contacto [9]. En otras palabras, representa la eficiencia con que un material facilita el flujo del calor entre sus partículas.

## 1.5. Efectos Termoeléctricos

### 1.5.1. Efecto Seebeck

Fenómeno que permite convertir una variación de temperatura en energía eléctrica. Esto se consigue al unir dos elementos metálicos de distinta naturaleza y someterlos a un diferencial de temperatura, tal como se observa en la Figura 1. La cantidad de corriente

generada depende tanto de la composición de los metales seleccionados, como de la temperatura a la que son sometidos [9].

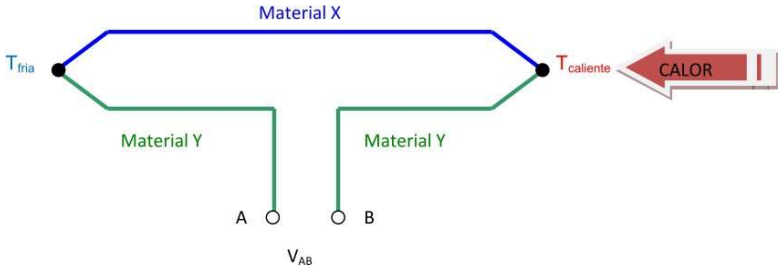



*Figura 1. Efecto Seebeck [9]*

### 1.5.2. Efecto Peltier

Teóricamente consiste realizar el proceso contrario del efecto Seebeck. Es decir, en lugar de someter los metales a temperaturas diferentes para conseguir energía eléctrica, se les suministra dicha energía, para lograr que uno de sus terminales ceda calor hacia el otro [9]. La Figura 2 ilustra este fenómeno, donde el terminal que absorbe calor queda determinado según la polaridad del suministro de corriente. Si se requiere que modificar la función de cada terminal, basta con invertir dicha polaridad.

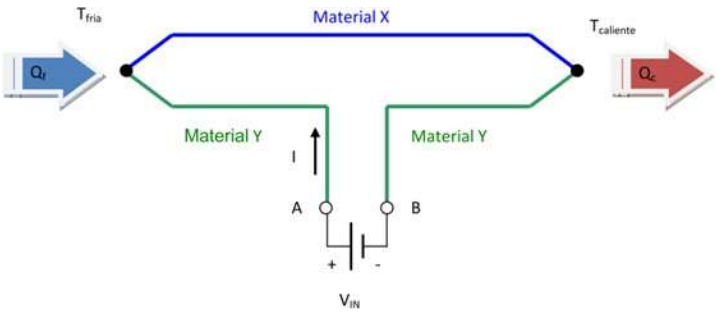



*Figura 2. Efecto Peltier [9]*

Para determinar la potencia generada por este fenómeno, se emplea la Ecuación (2):

$$\boldsymbol{Q_p = \pi x y * I} \qquad (2)$$

Donde:

- $Qp$ = potencia calorífica, expresada en Watts (W)

- $\pi xy$ = coeficiente Peltier entre ambos, expresado en Voltios (V).
- I = corriente que pasa por la unión, expresada en Amperios (A)

### 1.5.3. Efecto Thompson

Cuando una corriente pasa por elemento conductor, genera en éste un gradiente de temperatura que le permite ceder o absorber calor, según la dirección que se le otorga a la corriente suministrada [10]. Generalmente esta variación no produce valores significativos por lo que es discriminado.

### 1.5.4. Efecto Joule

Un material con movimiento constante de electrones, al cual se aplica una cantidad determinada de corriente provocará un choque a nivel de átomos, cuya consecuencia es la producción de calor. Esta cantidad varía de acuerdo a la capacidad resistiva del material [10]. Este principio es importante para determinar la eficiencia de disipación de los elementos.

## 1.6. Dispositivos Termoeléctricos

Son elementos cuya función principal es la de operar a modo de calentador o enfriador. Para este proceso interviene aspectos como la energía suministrada, la temperatura de la atmósfera y las propiedades de los materiales empleados en su construcción. Estos dispositivos tienen en común su alta demanda de corriente para entrar en operación, requisito que compensan con su eficiencia al momento de calentar o enfriar una superficie, según el uso que se les otorga [10].

### 1.6.1. Módulos Termoeléctricos (TEM)

Término empleado para referirse a dispositivos convertidores de energía que son empleados para operaciones de control de temperatura. También pueden aplicarse para la producción de energía eléctrica siempre y cuando cuenten con gradientes de temperatura. Entonces, si el dispositivo opera como un calentador o enfriador de superficies, se trata de un fenómeno Peltier, mientras que si se emplea para producir energía, se trata de un efecto Seebeck [10].

## 1.7. Métodos de potabilización del agua

Existen varias alternativas para conseguir que el agua alcance las condiciones óptimas para su consumo. La filtración es un método económico que utiliza procesos físicos y químicos que eliminan tanto los compuestos contaminantes y peligrosos que provocan enfermedades; es, por lo tanto, una de las vías más eficaces de purificación [11].

## 1.8. Teoría de Control

Proceso de Ingeniería que estudia el control de un proceso en una situación dada, y su aplicación es altamente demandada en áreas industriales importantes como los procesos de fabricación de automóviles, la fabricación textil, la industria alimentaria, espacial y aeroespacial. En general, todo proceso que precise el control de determinadas variables como temperatura, caudal, humedad, presión, etc.

Como resultado, se logra un rendimiento óptimo del sistema en varios campos de aplicación de la teoría; esta carga de trabajo aumenta la productividad y reduce el esfuerzo de los procedimientos manuales y cíclicos a través de la automatización utilizando la teoría de control [12].

### 1.8.1. Control ON/OFF

También conocido como "control todo o nada", este tipo de controlador emplea un algoritmo sencillo que testea cuando la variable testeada se encuentra arriba o debajo del punto de referencia previamente designado. Entonces, la variable manipulada cambia entre "ON" y "OFF", sin posibilidad de que se presenten estados intermedios. Una aplicación muy común consiste en el ejercicio de control de temperatura en artefactos que funcionan como aire acondicionado, mediante termostatos. La Figura 3 es un esquema del funcionamiento de un controlador para un dispositivo de aire acondicionado el cual produce una señal ON para suministrar aire frío cuando la temperatura sobrepasa el punto de referencia, caso contrario procede a desactivarla [12].

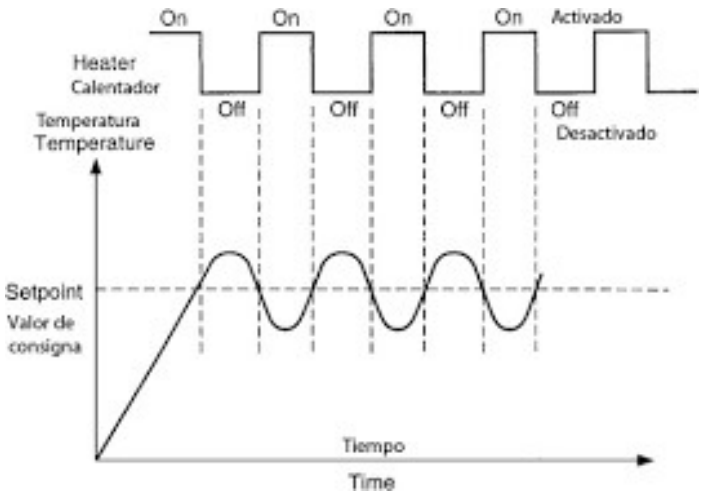



*Figura 3. Control de temperatura ON/OFF [12]*

#### 1.8.1.1. Características del sistema de control ON/OFF:

Las características principales de este controlador son:

- Su modo de operación es dependiente del signo que presenta el error [12].
- Constituye una conmutación de tipo periódica y constante sobre la variable que se pretende controlar.
- Su mecanismo de construcción es simple, por lo que su aplicación es extensa, aunque se emplean con mayor regularidad en sistemas de control termoeléctricos.

- Es un sistema de bajo costo debido a su fácil instalación y mantenimiento.
- Es recomendado en procesos que no exijan alta precisión.

#### 1.8.1.2. Ventajas del Control ON/OFF

Las principales ventajas de un control ON/ OFF son:

- Su costo es menor en comparación con los demás controladores.
- Es considerado un sistema fiable y eficiente.
- Su ajuste e instalación no presenta mayor dificultad.
- Si el controlador con histéresis es capaz de soportar el ciclo límite, entonces se considera idóneo debido a su alto rango de inmunidad a interferencias por ruido [12].

#### 1.8.1.3. Desventajas del sistema de control ON/OFF

El controlador presenta algunas desventajas que son:

- La variable controlada está continuamente fluctuando (actuando constantemente).
- Es posible producir desviaciones significativas desde el punto de consignación si el sistema tiene una cantidad significativa de tiempo muerto, incluso si la histéresis del controlador es cero [12].

## 1.9. Antecedentes del uso de las celdas Peltier como condensadores de agua

Sacristán en su trabajo "Obtención de gua a partir de la humedad atmosférica empleando células de efecto Peltier" propone la idea de obtener gotas de agua mediante un proceso de condensación del vapor existente en el aire. Para lograr este cometido, empleó una celda Peltier por la que circuló una corriente eléctrica para provocar que una de sus caras ascienda de temperatura, mientras que la otra descienda. Gracias a un sistema de control elaborado en software LabVIEW

mantiene la cara de menor temperatura de la celda en condiciones óptimas que le permitan llegar al punto de rocío y de esta manera el vapor se condense, cuando el aire choque esta superficie de baja temperatura. Los datos recogidos por los sensores del sistema son enviados a un computador mediante un módulo de recepción de datos y conexión por cable USB [13].

Moreno y García en su investigación "Prototipo Generador de Agua con Celdas de Peltier" diseñaron un mecanismo para condensar el agua cuyas partículas están presentes en el aire, basado en su estudio de tecnologías de aplicación de dichas celdas. Además, implementaron un sistema de alimentación energética autosustentable, basado en paneles fotovoltaicos [14].

Acosta y Reina en el estudio "Sistema de supervisión y control del prototipo generador de agua a partir de celdas de Peltier" emplearon un arreglo de celdas para condensar y almacenar agua en mayor volumen, para lo cual aplicaron un sistema más robusto con control por PLC (controlador lógico programable) e incorporaron la alimentación con un sistema de energía renovable por celdas fotovoltaicas. Por último, para lograr que el prototipo sea de fácil manejo, si adicionó un HMI (interfaz hombre-máquina) [15].

# CAPÍTULO II

# DISEÑO DEL PROTOTIPO

Este capítulo presenta la propuesta del diseño del prototipo generador de agua, el cual incluye los aspectos mecánicos, electrónicos y de control requeridos para su óptimo funcionamiento.

## 2.1. Descripción

Se propone un prototipo mecatrónico programable, aprovechando el proceso de deshumidificación termoeléctrica, para lo cual se propone un modelo termoeléctrico con celdas Peltier, porque presenta un consumo energético 35% menor que el deshumidificador con compresor y no requiere el uso de un gas contaminante [14], escogiendo demás elementos para su funcionamiento según requerimientos del proyecto y su finalidad. A continuación se presentan tres diferentes alternativas de diseño con su respectivo análisis, para decidir el diseño óptimo del prototipo a implementar.

## 2.2. Alternativa 1

Como primera propuesta se plantea el uso de seis placas Peltier de tipo Tec1-12706, con el objetivo de obtener un mayor volumen de agua, plasmado en la Figura 4. Se coloca un disipador de aluminio para las seis placas, las cuales están adheridas con pasta térmica al disipador. Para el sistema de soporte y distribución de los componentes se desea construir un soporte tipo esqueleto de acero inoxidable, el cual esté fijado al piso para tener una mayor estabilidad, y soldar unas placas de aluminio para colocar los elementos del sistema.

*Figura 4. Prueba con seis celdas Peltier*

Aunque en esta etapa sólo se realizan pruebas de funcionamiento de las placas sin ningún tipo de código para el sistema de control, se propone emplear para ello una raspberry pi debido a la familiarización que se tiene con el uso de este tipo de dispositivo, para realizar un control ON/OFF (encendido y apagado) de las placas cada cierto tiempo, además de un sensor LM35 que permita monitorear la temperatura del disipador, el cual se ilustra en la Figura 5:

*Figura 5. Prueba con seis celdas y sensor LM35.*

Al empezar con este diseño, se comprobó que, a pesar de contar con una mayor cantidad de placas, no se obtiene un mayor volumen de agua debido a que la superficie del

disipador no resulta suficiente para enfriar todas al mismo tiempo, por lo que éste se sobrecalienta, surgiendo así la necesidad de emplear un sistema de enfriamiento auxiliar. Además, la pasta térmica por sí sola no es suficiente para mantener fijas las placas en el disipador.

En cuanto al sensor de temperatura, las pruebas realizadas concluyeron que no resulta óptimo para detectar la variación de temperatura del disipador. Por otra parte, la construcción del soporte en acero inoxidable resulta poco atractiva debido a tema de costos.

### 2.3. Alternativa 2

Para solucionar el problema de sobrecalentamiento de las placas y el disipador, se reduce drásticamente la cantidad de placas Peltier a una unidad. Adicional a esto, se incorpora un ventilador de baja potencia para que funcione como un sistema de enfriamiento forzado para el disipador, el cual se muestra en la Figura 6. En cuanto al soporte, se propone la construcción de un mueble tipo armario para que sea más seguro y los elementos del sistema estén protegidos, el material elegido es tol galvanizado con pintura de recubrimiento electrostático, a fin de reducir costos y prevenir desgaste debido a las condiciones climáticas. Para el control de temperatura se opta por un sensor industrial pt100 y también se propone cambiar la tarjeta de control debido a que la raspberry opera como un ordenador pequeño y, aunque es óptimo para realizar el proyecto, se sobrecalienta rápido, aun cuando dispone de sistema de disipación. Entonces, se plantea emplear una tarjeta STM32 placa núcleo.

Finalmente, el sistema de control planteado es un control (ON/OFF) para la placa Peltier y un control PID para el ventilador, de modo que se active cuando un sensor de temperatura detecte una temperatura que indique un sobrecalentamiento del disipador.

*Figura 6. Prueba con ventilación forzada.*

El disipador y ventilador logran mantener una temperatura que permite enfriar la placa, y se genera una primera capa de escarcha de agua, las limitantes de este sistema se presentan ahora en el soporte, ya que, si bien ahora es más práctico y manejable, una cotización del modelo tipo armario continúa teniendo un precio elevado. Existe además un inconveniente con la tarjeta de programación ya que actualmente no se encuentra disponible en el mercado local.

Por otro lado, se descarta el sensor pt100 debido a que, a pesar de ser un sensor más preciso y opera con un rango de temperatura mayor, implica un mayor costo lo cual sería factible dado el escenario en que el disipador llegue a valores por debajo de los 100 °C lo cual no se aplica en el proyecto. Por último, surge la hipótesis de que un control independiente para el ventilador no es óptimo ya que se necesita mantener el disipador dentro de un rango de temperatura que le permita enfriar la placa, por lo que el tiempo de activación del sistema de enfriamiento debe ser simultáneo a la de esta última.

### 2.4. Alternativa 3

Una vez comprobado que el disipador y ventilador son suficientes para mantener la diferencia de temperatura de la celda Peltier, se propone el mecanismo final con tres celdas Peltier colocadas de forma paralela, como se muestra en la Figura 7. Para una

mejor sujeción, se implementa un elemento adicional que permita solucionar el inconveniente con la pasta térmica, sin afectar la temperatura del sistema. Se incorpora un ventilador adicional para incrementar la capacidad de enfriamiento y que sea suficiente para las tres celdas. Para reducir costos y que la construcción del prototipo sea más accesible, se busca una alternativa de construcción en material MDF del soporte que es más resistente a condiciones de humedad que la madera, se puede moldear con mayor facilidad y está al alcance de las herramientas y habilidades de la operaria.

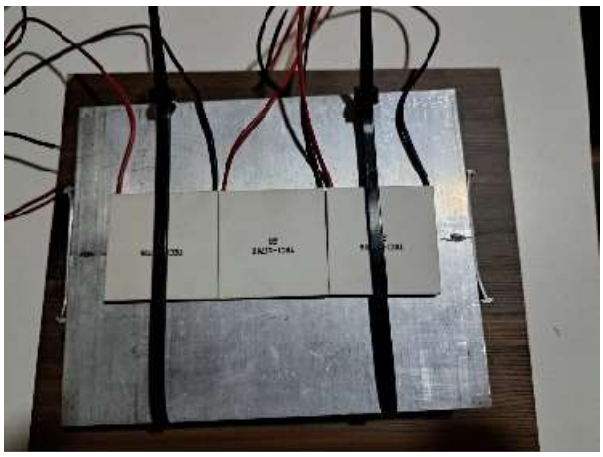


*Figura 7. Prueba con tres celdas Peltier*

Para conseguir un prototipo que sea amigable con el usuario y le permita monitorear el correcto funcionamiento del generador de agua, se plantea un sistema de control mediante un microcontrolador Arduino Mega 2560 y una pantalla HMI de 3.5 pulgadas. Finalmente, los dispositivos a controlar se dividen en dos grupos: las celdas Peltier y los ventiladores, entonces es importante comprender la función de cada uno de ellos. Se requiere que las celdas se enciendan cuando la temperatura del sistema de recolección (específicamente, la cara que mantiene contacto directo con el disipador) descienda hasta una temperatura cerca de los cero grados Celsius, y tras cinco minutos se apague nuevamente, este tiempo es debido a la evidencia experimental que sugiere un lapso

suficiente para la formación de nuevas gotas de escarcha en las celdas Peltier. Se decide entonces que un control ON/OFF resulta ideal en este caso. A su vez, los ventiladores cumplen la función de brindar soporte al disipador para enfriar las celdas, por lo que deben funcionar a la par, entonces se descarta un control PID sobre estos actuadores y se opta por un control ON/OFF.

Finalmente, se resuelve emplear un sensor termopar tipo K para el control del mecanismo, además de un sensor que permita la lectura tanto de la temperatura como de la humedad relativa de la atmósfera, y así tener una idea clara de las condiciones ambientales de la zona, y monitorear la cantidad de agua que se genera bajo dichos parámetros.

### 2.5. Análisis de Alternativas

La Tabla 1 presenta la selección de la alternativa para la construcción del prototipo generador de agua, basada en criterios de eficiencia de los elementos, su costo, entre otros. Cada criterio tiene una valoración de 1 a 3 puntos, considerando el puntaje de 3 como el más eficiente, 2 como intermedio, 1 como el menos óptimo y 0 como inexistente.

*Tabla 1. Selección de alternativa de diseño*

| No. | Criterio | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|---|---|---|---|---|
| **1** | Número de celdas que puede soportar el disipador | 1 | 2 | 3 |
| **2** | Precisión del sensor de temperatura | 1 | 3 | 2 |
| **3** | Costo y utilidad del microcontrolador | 1 | 3 | 3 |
| **4** | Sujeción de celdas | 1 | 1 | 3 |
| **5** | Tiempo de acción del sistema de ventilación forzada | 0 | 2 | 3 |
| **6** | Tipo de control | 0 | 3 | 2 |
| **7** | Resistencia del material del mueble de soporte | 3 | 2 | 1 |
| **8** | Costo de fabricación del mueble de soporte | 1 | 2 | 3 |
| | **Total** | 8 | 18 | 20 |

De acuerdo al análisis realizado en la Tabla 1, la alternativa 3 obtuvo el mayor puntaje, por lo que se procede al diseño del prototipo generador de agua de acuerdo a sus directrices.

### 2.6. Diseño del Prototipo

A continuación, se detallan los elementos más significativos empleados para la construcción del prototipo generador de agua con el fin de lograr una idea general del funcionamiento del sistema.

#### 2.6.1. Sistema de obtención de agua

A continuación, se detalla los principales elementos requeridos para construir el sistema de condensación:

- **Celda Peltier TEC-12706:** Dispositivo cuya temperatura varía según la corriente que circula en su interior, de esta manera, una de sus caras desciende y y la otra incrementa este valor para equilibrar el sistema [10]. Las principales características son:
  - La cara caliente alcanza una temperatura que oscila entre 50 a 57ºC
  - La diferencia de temperatura entre sus caras es de 66 a 75ºC
  - La corriente que se le suministra no puede superar los 6.4 Amperios
  - Requiere una tensión de 12 Voltios para operar
  - Posee una resistencia baja, que comprende de 1.98 a 2.30 Ohm
  - Sus dimensiones son: 40 mm  da ancho x 40 mm de largo x 4 mm de espesor

La Figura 8 muestra una celda Peltier empleada para la condensación de la humedad del aire.

*Figura 8. Celda Peltier TEC-12706*

- **Disipador de aluminio:** Placa diseñada para ayudar a disminuir la temperatura de elementos electrónicos con los que mantiene contacto directo. Básicamente su función es una respuesta al "principio cero de la Termodinámica", que consiste en una transferencia de calor de la parte del dispositivo que se encuentra en contacto con el disipador hacia éste, logrando así evitar algún daño permanente en el elemento electrónico.

  Existen de diferentes materiales, siendo el de aluminio uno de los más conocidos debido a su abundancia, costo y facilidad de fabricación, el cual se muestra en la Figura 9. Se sugiere, para obtener mejores resultados, emplear un sistema auxiliar de ventilación para evitar que se sobrecaliente, gracias a la circulación de aire forzada.

*Figura 9. Disipador de aluminio*

- **Ventilador:** Dispositivo electrónico rotatorio, que gracias a su mecanismo interno posee la capacidad de mover una masa precisa de aire, debido a la aplicación de

una presión suficiente para vencer las pérdidas de cargas producidas en sus conductos. Consta de tres elementos principales: elemento rotativo, soporte y motor. Existe de diferentes tamaños y potencia, para el prototipo generador de agua se eligieron dos ventiladores que requieren un bajo suministro de corriente, como se ilustra en la Figura 10, los cuales operan a 12V [16]

*Figura 10. Ventilador de 12V*

- **Fuente de alimentación:** También conocida como "fuente conmutada", consiste en un conjunto de elementos electrónicos cuyo propósito es transformar la corriente alterna del suministro de energía en corriente continua, como se muestra en la Figura 11. Es ideal para trabajar con otros dispositivos electrónicos ya que provee de varias salidas que facilitan el trabajo. La tensión y corriente en sus salidas varía según la aplicación y la cantidad de elementos a conectar en la fuente.

*Figura 11. Fuente conmutada de 12 Voltios y 30 Amperios*

### 2.6.2. Sistema de recolección y purificación del agua

En este apartado se presenta los componentes necesarios para formar el sistema de recepción y potabilización del agua generado por las celdas:

- **Tanque de recolección:** Consiste en un recipiente de material plástico en el cual se deposita el agua recolectada de las celdas Peltier, presentado en la Figura 12.

*Figura 12. Tanque de recolección*

- **Filtro de tipo cerámico:** La Figura 13 presenta un filtro de agua fabricado con materiales diatomitas altamente comprimidos.
  - Su estructura porosa es extremadamente pequeña, entre 0.3 a 0,5 micrones.
  - El filtro se auto esteriliza con un componente de plata
  - Este tipo de filtros proporcionan agua libre de óxido, polvo, arena, sedimento, y bacterias como cólera, tifoidea, coliformes, etc. [17].

*Figura 13. Filtro cerámico*

- **Filtro de cartucho:** Es un filtro modular que consta de cuatros etapas de purificación que se pueden observar en la Figura 14: carbón activado con plata, arena de sílice, zeolita y arena mineral. Posee una vida +útil de 6 a 8 meses, y su capacidad de filtro es de 5000 a 6000 litros [18].

Figura 14. Filtro de cartucho

- **Filtro de piedra mineral:** La Figura 15 ilustra un filtro que contiene más de 40 tipos de sustancias inorgánicas y tiene una alta absorción. Su capacidad biónica hace que el agua sepa y genere minerales. Se recomienda hervir las piedras cada 6 meses para mantener una correcta función [17].

*Figura 15. Filtro de piedra mineral*

- **Tanque inferior:** Consiste en un sistema de recolección del agua obtenida, presentado en la Figura 16. Una vez que ésta ha pasado por los filtros de purificación. El líquido depositado está listo para su consumo.

*Figura 16. Tanque inferior*

- **Llave dispensadora:** La Figura 17 ilustra el dispositivo acoplado al tanque inferior, para la obtención de agua potable

*Figura 17. Llave dispensadora de agua*

### 2.6.3. Sistema de soporte y distribución de los elementos del sistema

Consiste en un mueble tipo armario, que alojan los diferentes mecanismos del prototipo generador de agua. La figura 18 muestra su distribución de la siguiente manera:

- *Sección 1:* Consiste en una sección abierta, ya que aloja a las celdas Peltier y su sistema de enfriamiento por lo que necesita estar a la intemperie para captar la humedad del aire.
- *Sección 2*: Posee un mayor tamaño ya que aloja al sistema de recolección y purificación y dispensador de agua. El tanque superior está conectado a la sección 1 gracias a un orificio que permite el paso del agua captada por las celdas, una vez que se ha condensado.

- *Sección 3:* localizada en la parte superior derecha, y está destinado a alojar al sistema de control del prototipo, principalmente al Arduino Mega y los módulos de relés. Sobre esta sección se acoplará la pantalla HMI que le permita al usuario interactuar con la máquina.
- *Sección 4:* Su uso está destinado a almacenar la fuente conmutada de poder y la conexión que alimenta la tarjeta de programación.
- *Sección 5:* Espacio destinado a alojar a una batería recargable, para proveer de energía al sistema en caso de que se decida transportar el generador a un espacio que no cuente con una fuente de electricidad convencional.

*Figura 18. Esquema del diseño del mueble de soporte del sistema.*

En la Figura 19 se plasma la distribución interna de los compartimentos que alojan lso diferentes componentes del prototipo:

*Figura 19. Distribución interna*

En el apartado del ANEXO V se presenta el plano que detalla las medidas del mueble que servirá de soporte.

#### 2.6.3.1. Materiales para la construcción del mueble de soporte

En la Tabla 2 se especifican los materiales y herramientas requeridos para fabricar el sistema que alija los dispositivos del prototipo generador de agua:

*Tabla 2. Materiales para la construcción del mueble de soporte*

| Cantidad | Material |
|---|---|
| **1** | Plancha de MDF con recubrimiento de melamínico |
| **2** | Ruedas con sistema de freno |
| **8** | Bisagras |
| **4** | Topes para puertas |
| **4** | Manijas |
| **20** | Tornillos |
| **20** | Arandelas |
| **1** | Martillo |
| **1** | Taladro |
| **1** | Flexómetro |

#### 2.6.3.2. Análisis de la estructura del sistema de soporte

La materia prima empleada para la construcción del mueble de soporte es fibra de madera de densidad media MDF, con recubrimiento melamínico. Este material consiste en un conjunto de láminas de madera unidas y recubiertas con una hoja decorativa envuelta en resina melamínica. Esta fusión es sometida a presión y calor en las dos caras, hasta lograr una consistencia sólida y firme, cuya superficie no tenga porosidad y garantice su durabilidad [19]. Las principales ventajas que presenta trabajar con MDF en el presente proyecto son:

- Tras el tratamiento para endurecer la lámina no necesita ningún otro proceso que involucre barnices o sustancias químicas que puedan contaminar el ambiente de trabajo del prototipo, o que retrase su proceso de implementación.
- El trabajo térmico realizado sobre la superficie del MDF le otorga propiedades que reducen hasta un 99,9% la aparición de moho y bacterias [20]. Esto resulta una gran ventaja ya que el proceso general, desde que se recolecta el agua condensada hasta que se encuentra lista para su consumo exige trabajar en un ambiente sanitizado para evitar alguna posible contaminación del líquido.
- Aunque su estructura interna es madera, su recubrimiento y sellado le otorga una excelente resistencia a la humedad [20].
- La superficie lisa y uniforme facilita su limpieza y mantenimiento.
- En cuanto a la resistencia del material, la Tabla 3 presenta las propiedades físico mecánicas del tipo de MDF empleado en la construcción del mueble del prototipo.

*Tabla 3. Propiedades físico mecánicas del MDF melamina [20]*

| Propiedades | Método de referencia | Unidad | Espesor (mm) | | | | | Tolerancia |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 9 | 12 | 15 | 18 | 24 | |
| **Densidad promedio** | EN 323 | Kg/m³ | 620-660 | 610-650 | 590-630 | 590-630 | 560-600 | |
| **Flexión** | EN 310 | N/mm² | 16 | 15 | 14 | 14 | 15 | -1.5 |
| **Tracción Perpendicular** | EN 319 | N/mm² | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.45 | -0.15 |
| **Extracción tornillo canto** | EN 320 | N | N/A | N/A | >700 | >700 | >600 | |

N/A = no aplica

El espesor de la lámina empleada para el mueble es de 15mm.

- Debido a que el MDF melamínico se fabrica a altas temperaturas, posee una resistencia entre los 70 a 90°C, temperaturas que se presentan dentro de un ambiente residencial promedio [21].
- El sistema de recolección y purificación de agua tiene una capacidad máxima para alojar 16 litros, si consideramos que la densidad de este líquido es de 1 Kg por litro, entonces deberá soportar 16 Kg dado el caso que se llegue al lleno total del tanque. Además, el conjunto de elementos de este sistema no supera los 2Kg de masa. El peso máximo que soporta la sección 2 del mueble se calcula conforme a la Ecuación (3):

$$Peso = Masa\ (Kg)\ x\ gravedad\ (\mathrm{m/s^2}) \tag{3}$$

$$Peso = [16) + 2(\mathrm{Kg})]\ \mathrm{X}\ 9.81\ (\mathrm{m/s^2})$$

$$Peso\ purificador = 176.58\ Newtons\ (N)$$

Para la sección 2 el peso máximo a soportar será de 176.58 Newtons.

- Si se decide emplear una batería recargable, la cual, de acuerdo al modelo del fabricante posee una masa promedio de 12 Kg, entonces el peso aproximado que soporta la sección 5 del mueble sería:

$$Peso\ batería = 12\ (Kg)\ x\ 9.81\ (\mathrm{m/s^2}) \quad (4)$$

$$Peso\ batería = 117.72\ (N)$$

- Con base en las medidas del mueble diseñado que se presenta en el ANEXO V y, considerando que la lámina tiene un espesor 15 mm, se determina el volumen total de material MDF necesario para la construcción, el cual es de 0.024 m³. De acuerdo a la Tabla 3, la densidad promedio para el espesor de la lámina seleccionada es de 610 Kg/m³ lo cual permite determinar la masa total de MDF requerido, de acuerdo a la Ecuación (5):

$$Masa\ material\ MDF = Densidad\ \left(\frac{\mathrm{Kg}}{\mathrm{m^3}}\right) x\ Volumen\ (m^3) \quad (5)$$

$$Masa\ material\ MDF = 610\ \left(\frac{\mathrm{Kg}}{\mathrm{m^3}}\right) x\ 0.024\ (m^3)$$

Masa material MDF = 14.66 Kg

- Se determina el peso total del MDF:

$$Peso\ material\ MDF = 14.66\ (Kg) x\ 9.81\ (\mathrm{m/s^2}) \quad (6)$$

$$Peso\ material\ MDF = 143.82\ N$$

- Los componentes adicionales para la construcción del mueble, así como los elementos electrónicos y dispositivos necesarios para la generación de agua y el sistema de control no superan un total de 3Kg de masa, por lo que su peso es:

$$Peso\ componentes = 3\ (Kg)\ x\ 9.81(m/s^2) \quad (7)$$

$$Peso\ componentes = 29.43\ N$$

- El peso aproximado total del prototipo, con todos los componentes implementados, un tanque lleno de agua y con la batería recargable, es determinado conforme la Ecuación (8):

$$Peso_{total} = Peso_{purificador} + Peso_{batería} + Peso_{MDF} + Peso_{componentes} \quad (8)$$

$$Peso_{total} = 176.58\ (N) + 117.72\ (\mathrm{N}) + 143.82\ (N) + 29.43\ (N)$$

$$Peso_{Total} = 467.55\ (N)$$

El prototipo tendrá un peso máximo de 467.55 N, el cual será soportado por cuatro ruedas que según los datos del fabricante, soportan hasta 735.75 (N) de peso, por lo que se comprueba que el mecanismo de soporte del prototipo es viable y se procede a su construcción.

### 2.6.4. Elementos del mecanismo para el control del dispositivo

Se presenta un detalle de los dispositivos electrónicos utilizados para el sistema de control ON/Off del dispositivo generador de agua:

- **Sensor termopar tipo K:** Consiste en un dispositivo de percepción de la temperatura que tiene la capacidad de medir directamente todo tipo de proceso de producción desde 0 a 800 °C. Puede ser empleado en un líquido. Gas, vapor o una superficie sólida.
- **Módulo MAX6675**: Driver empleado para trabajos con el sensor termopar tipo K, que permite conectarlo directamente a la unidad de control [22].
  - Cuenta con una interfaz compatible con SPI.
  - Posee una compensación de junta fría
  - Opera como un convertidor de señal ADC, es decir analógico - digital

- Su resolución es de 12 bits y su medición se encuentra en un intervalo comprendido entre cero a mil veintitrés grados Celsius.

Tanto el sensor de temperatura como su driver se ilustran en la Figura 20.

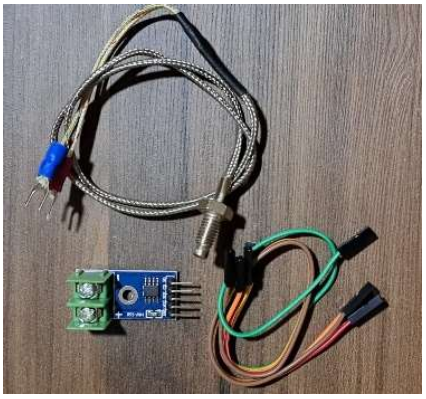


*Figura 20. Sensor termopar tipo K y driver MAX6675*

- **Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22:** Consiste en un sensor diseñado para captar tanto la temperatura ambiente como su humedad relativa. Contiene una interfaz serial propia y sólo requiere un pin de comunicación al microcontrolador [13].

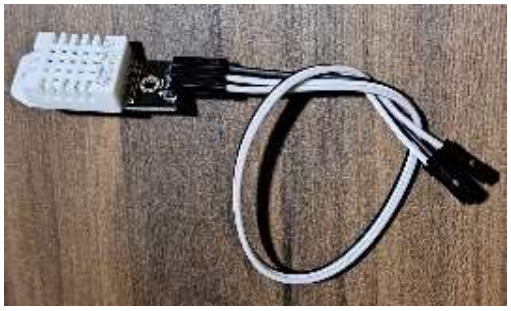


*Figura 21. Sensor DHT22*

- **Microcontrolador Arduino Mega:** Es una placa de desarrollo que consta de un total de 54 pines distribuidos entre entradas y salidas digitales, algunos de los cuales permiten un control de modulación por ancho de pulso (PWM), también

cuenta con 16 entradas analógicas, conexión USB, conector ICSP, y un botón de reseteo [23]. La Figura 22 ilustra el microcontrolador Arduino Mega2560.

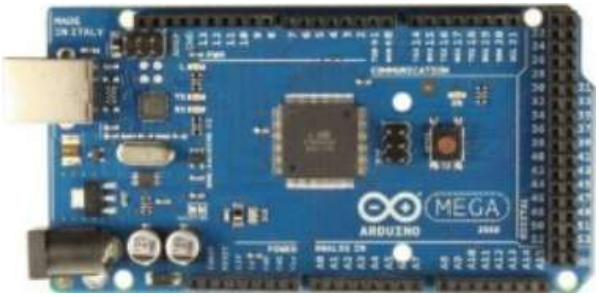



*Figura 22. Microcontrolador Arduino Mega 2560*

- **Pantalla HMI 3.5'':** La Figura 23 presenta una pantalla táctil LCD que permite desplegar imágenes, programar textos, gráficos e incorporar funciones de visualización. Además, tiene la opción de incorporar una tarjeta micro SD para toma y almacenamiento de datos e imágenes [24].

*Figura 23. HMI TFT de 3.5"*

Las principales características de la pantalla empleada son:

- Cuenta con una resolución de 480 × 320 pixeles
- Posee la opción de incorporar una tarjeta micro SD para lectura y almacenamiento de datos.
- Dispone de una pantalla táctil.
- Opera con una tensión de entrada que puede ser de 5V o 3,3 V

- Es compatible con el microcontrolador Arduino Mega, con el cual se trabajará en el prototipo.
- Se puede incorporar directamente a los pines del microcontrolador, lo que elimina el empleo de cables para las conexiones.

- **Módulo Relé:** Consiste en un dispositivo electromagnético que opera a modo de interruptor y está controlado por un circuito el cual, con el uso de una bobina y ayuda de un electroimán, pone en marcha una serie de contactos que abren o cierran circuitos independientes a los que están conectados [25]. Los módulos seleccionados para el prototipo se ilustran en la Figura 24:

*Figura 24. Módulo de relés*

### 2.6.5. Sistema electrónico

Una fuente conmutada alimenta las celdas Peltier y los ventiladores. Estos elementos son controlados mediante el Arduino Mega, por lo que, para evitar daños en la tarjeta y lograr amplificar la señal de salida de esta, se emplea módulos relé para cada actuador. También es importante considerar que, la corriente requerida por las celdas Peltier es mayor que la de los ventiladores, por lo que se requiere de una conexión (cables) más robusta. Para facilitar la comprensión del sistema electrónico del prototipo, en la Figura 25 se plasma

el esquema total de las conexiones tanto para los sensores como actuadores que intervienen en el diseño del mecanismo, elaborado en el software Fritzing:

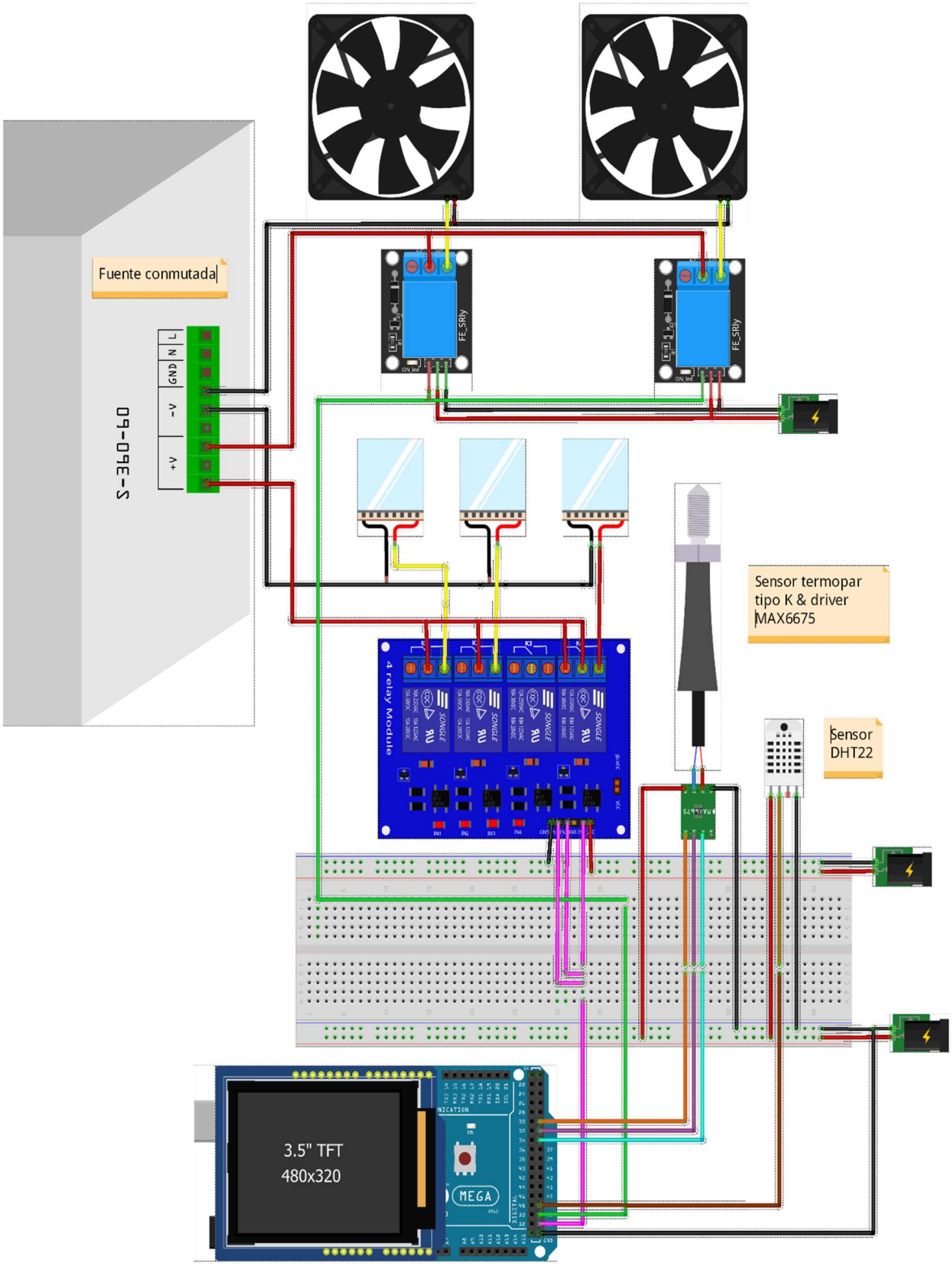



*Figura 25. Esquema electrónico general del prototipo*

En la Figura 26 se muestra la conexión de tres celdas Peltier y dos ventiladores, con módulos de relés, para evitar daños en el microcontrolador:

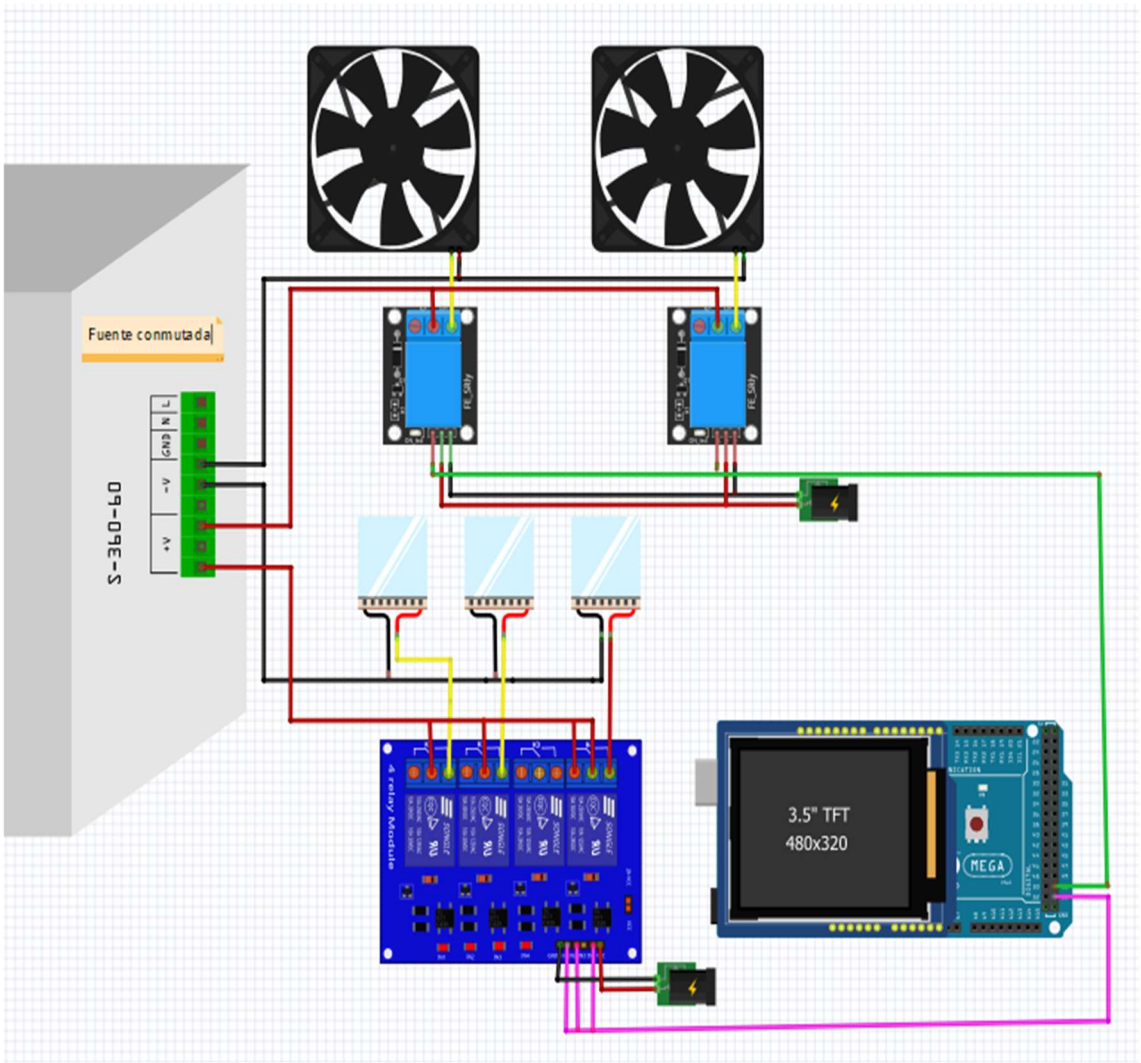



*Figura 26. Esquema de conexión de las celdas Peltier y los ventiladores*

La figura 27 presenta una conexión del termopar tipo K al Arduino, mediante el driver MAX6675. También se ilustra la conexión requerida para el sensor de temperatura y humedad relativa DHT22, el cual es bastante sencillo ya que sus pines se incorporan de manera directa, sin necesidad de algún driver adicional:

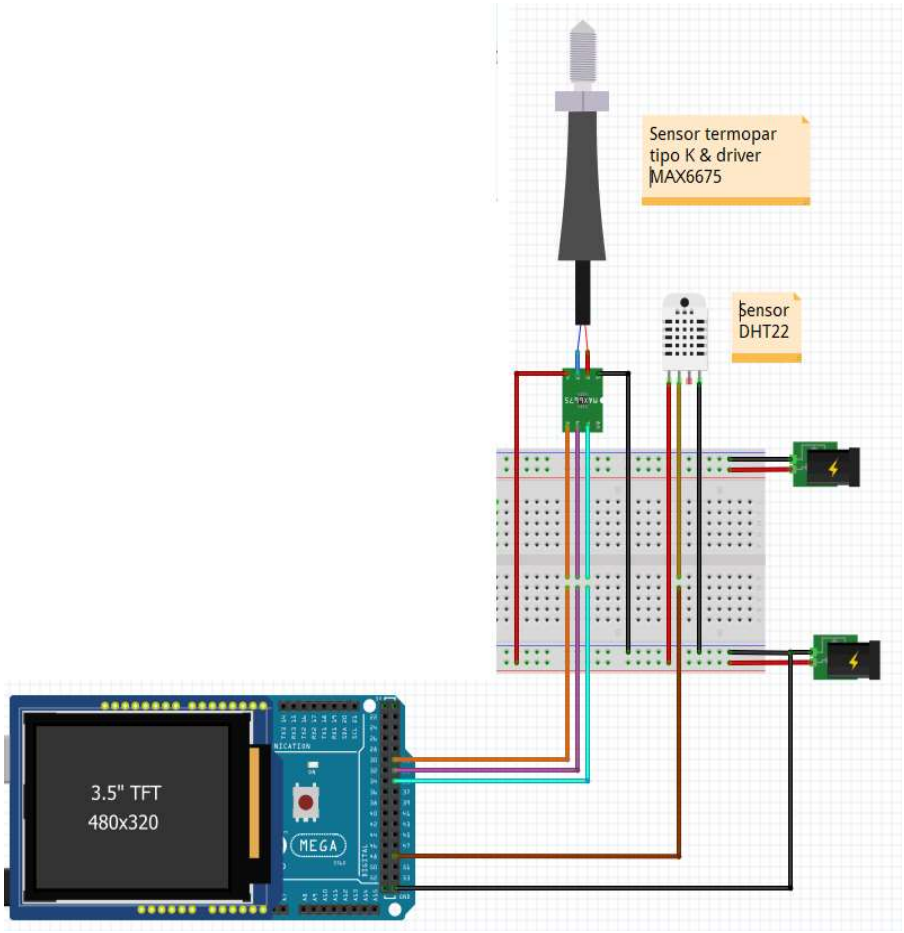



*Figura 27. Esquema de conexión del sensor termopar tipo K y el sensor DHT22*

- La figura 28 es un esquema de la conexión de la pantalla touch de 3.5'' para el Arduino Mega. Debido a que ésta se incorpora de manera directa, no hay necesidad de módulos o conexiones adicionales.

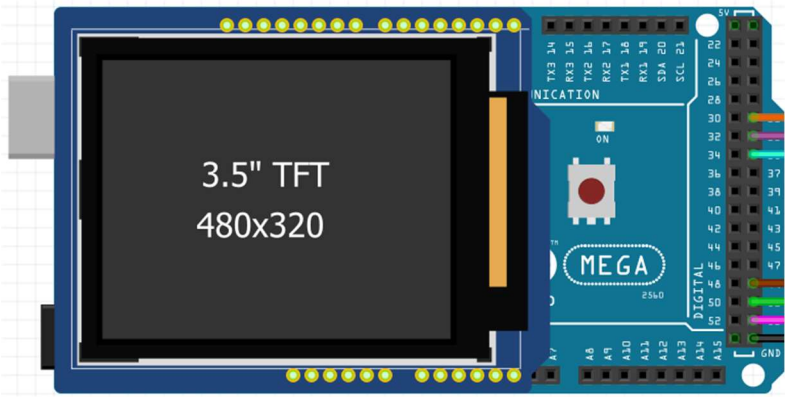



*Figura 28. Esquema de conexión de la pantalla de 3.5'' al Arduino Mega*

# CAPÍTULO III

# IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

En el presente capítulo se detalla el conjunto de acciones para lograr la implementación del prototipo diseñado, dividido en cuatro etapas: sistema de generación de agua, sistema de recolección y purificación, circuito electrónico y control.

## 3.1. Sistema de generación de agua por condensación

El sistema comprende un total de tres celdas Peltier tipo TEC-12706, las cuales operan a una tensión de 12V y corriente de 6A y están distribuidas paralelamente a lo largo de dos disipadores de aluminio alineados y unidos mediante pequeños remaches a los costados, para conseguir una mayor área de disipación. Para mejorar el sistema de enfriamiento, mantener los disipadores a una temperatura óptima y que las celdas no se sobrecalienten, se acoplaron en la parte trasera dos ventiladores de baja potencia, que requieren una alimentación de 12 V y 5 mA. Esta energía, al igual que la de las celdas Peltier será provista gracias a una fuente conmutada cuyas salidas entregan una tensión de 12 V y 30A en corriente continua.

El mecanismo será colocado de manera vertical, para conseguir que el agua generada por las placas descienda fácilmente y pase al tanque de recolección mediante una abertura realizada justo en la base de la Sección 1 de la Figura 18 del mueble de soporte, presentada en el capítulo anterior. Para solucionar el inconveniente de mantener las celdas unidas al disipador al colocarlos verticalmente, además de la pasta térmica provista a las placas, se emplearon amarras que las mantienen fijas y evitan que se deslicen. Por último, se realizó una pequeña perforación a un costado de la sección 1 para permitir que las conexiones accedan a la sección tres, donde se ubica el microcontrolador. En la Figura 29 se ilustra el resultado de la implementación del sistema de generación de agua.

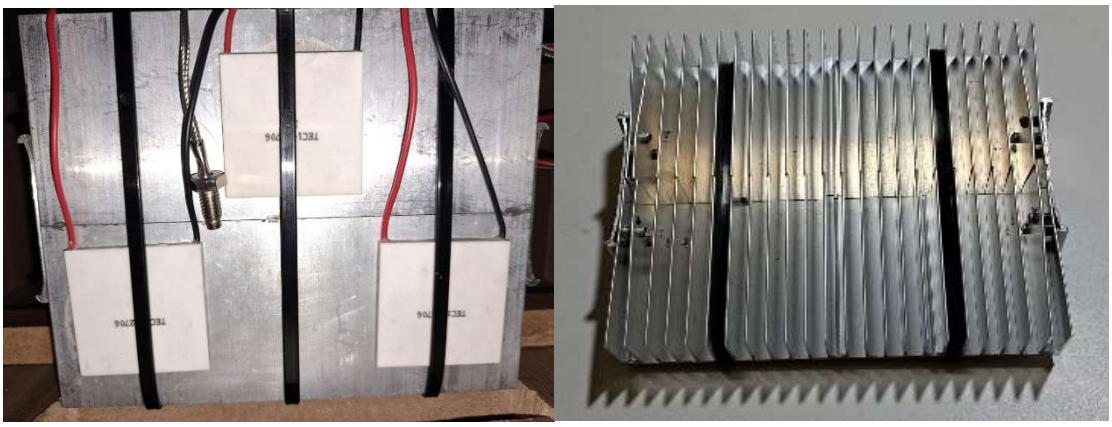


*Figura 29. Acople de celdas Peltier, disipador y sensor tipo K.*

La Figura 30 ilustra la incorporación del sistema de ventilación forzada:

*Figura 30. Acople del sistema de ventilación.*

### 3.2. Sistema de recolección y purificación

Consiste en el acople de un conjunto de elementos descritos en el capítulo anterior, que se encargan de recoger el agua generada y la transportan a través de tres filtros de purificación diferentes, para lograr que el agua obtenida esté libre bacterias. Cada filtro trabaja eliminando diferentes elementos que ésta pueda contener. El sistema de filtros empleado consiste en un modelo comercial de fácil acceso, para garantizar que cada elemento cumpla con los requerimientos sanitarios pertinentes al estar en contacto con un líquido destinado al consumo humano. El proceso de armado se aprecia a continuación:

- Paso 1: La Figura 31 muestra el armado del tanque inferior del sistema, destinado al almacenamiento del agua purificada, además del dispensador.

*Figura 31. Base - tanque inferior y dispensador.*

- Paso 2: En la Figura 32 se muestra el filtro de piedra mineral, incorporado al tanque inferior:

*Figura 32. Filtro de piedra mineral.*

- Paso 3: Incorporación del filtro de cartucho, tal como se ilustra en la Figura 33:

*Figura 33. Filtro de cartucho.*

- Paso 4: por último se incorpora el tanque de recolección y el filtro cerámico. La Figura 34 presenta el sistema purificador completo:

*Figura 34. Purificador de agua completo*

### 3.2.1. Proceso de Filtrado

La cantidad de agua recolectada por el sistema de generación es sometida a un procedimiento de purificación mediante la técnica de filtrado, la cual consiste en tres etapas:

**Etapa 1:** el agua pasa al tanque de recolección donde se ubica el filtro cerámico. Este filtro proporciona agua libre de óxido, polvo, arena, sedimento, y bacterias como cólera, tifoidea o coliformes [17]. El líquido que supera este filtro es tratado en la siguiente etapa.

**Etapa 2:** en esta etapa el agua debe pasar por cada uno de los componentes del filtro de cartucho que son: carbón activado con plata, arena de sílice, zeolita y arena mineral. En este filtro se eliminan posibles olores por sustancias orgánicas, sólidos disueltos, metales y productos químicos como pesticidas que pudieran estar presentes en el ambiente del que se condensó el agua [18]. El líquido que desciende del filtro procede a la etapa 3.

**Etapa 3:** El agua purificada mediante los dos filtros anteriores se deposita en un tanque que además de contar con una llave dispensadora, aloja un filtro de piedra mineral cuya capacidad biónica hace que el agua sepa y genere minerales, quedando así lista el consumo humano [17].

### 3.3. Sistema de soporte y disposición de los elementos del sistema

El mueble que facilita la sujeción de todos los elementos del prototipo ha sido desarrollado considerando un mecanismo que además de cumplir con los requisitos de medidas y distribución de espacio, sea en la medida de posible, seguro y fácil de transportar, por lo que cada compartimento a excepción de la sección 1 (debido a que aloja las celdas) está cerrado, lo que además disminuye el riesgo de daño o accidente con alguno de los elementos electrónicos.

El plano de diseño se encuentra en el Anexo I al final de este documento.

En la Figura 35 se observa la construcción del mueble desde cero, por lo que está adaptado a los requerimientos de implementación del prototipo:

*Figura 35. Construcción del mueble de soporte.*

Por último, se incorporaron ruedas con sistema de frenado, para facilitar su transporte, como se ilustra en la Figura 36:

*Figura 36. Sistema de transporte y frenado.*

La Figura 37 presenta una vista superior del área donde se ubican las celdas Peltier para la recolección de agua.

*Figura 37. Vista superior sistema recolección.*

Por último, se presenta el mueble completamente terminado, La Figura 38 presenta la vista frontal.

*Figura 38. Vista frontal del sistema de soporte*

La Figura 39 es una vista posterior del prototipo

*Figura 39. Vista posterior del sistema de soporte*

La Figura 40 presenta la una vista lateral del mueble:

*Figura 40. Vista lateral del sistema de soporte*

## 3.4. Sistema electrónico y de control

### 3.4.1. Implementación del circuito electrónico

La Figura 41 muestra la implementación y distribución del sistema electrónico para el prototipo de generación de agua:

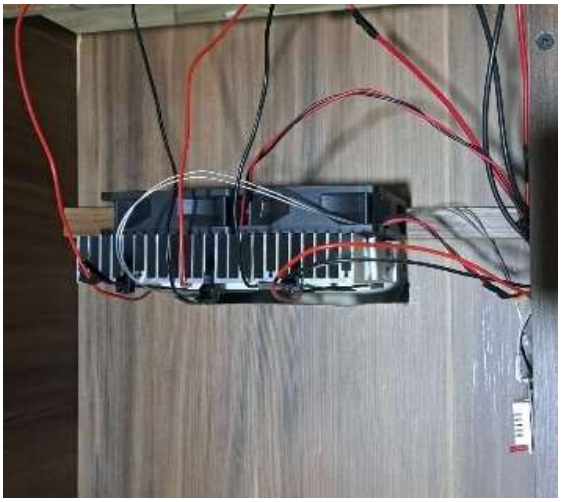


*Figura 41. Distribución del sistema de generación.*

En la Figura 42 se presenta la localización del sensor de humedad y temperatura:

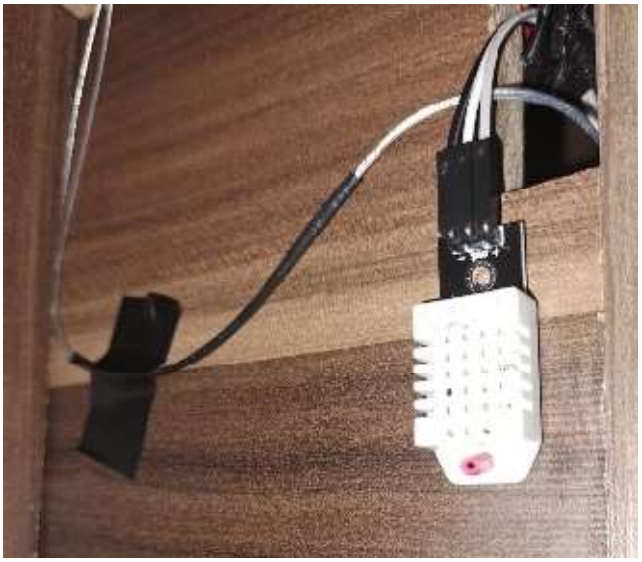


*Figura 42. Sensor DHT22.*

La Figura 43 ilustra la localización del sensor termopar tipo K.

*Figura 43. Termopar tipo K*

La Figura 44 presenta la incorporación de la pantalla HMI al Arduino Mega

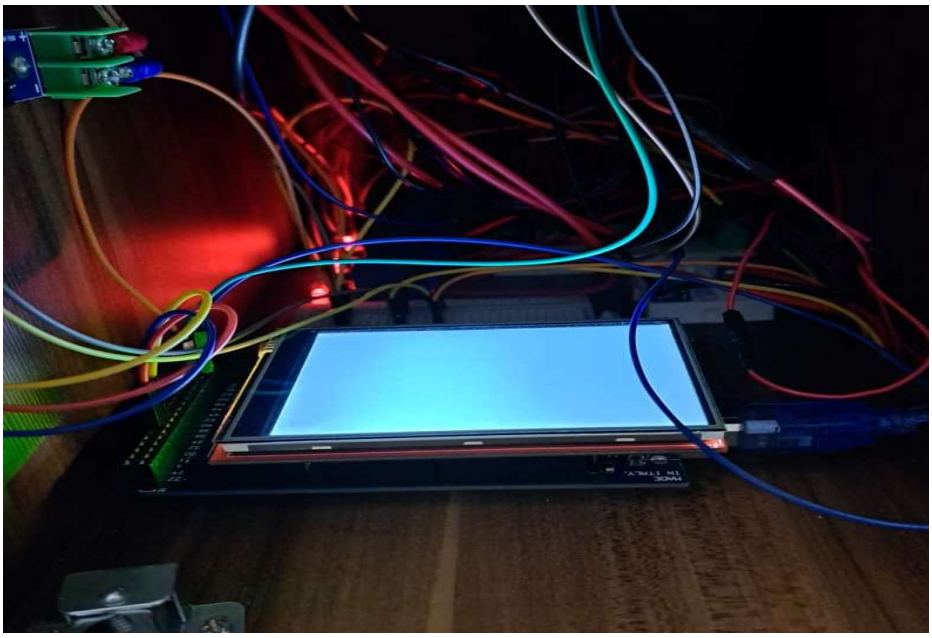


*Figura 44. Conexión HMI.*

La distribución de los relés en la sección 3, destinada al sistema de control, está plasmada en la Figura 45.

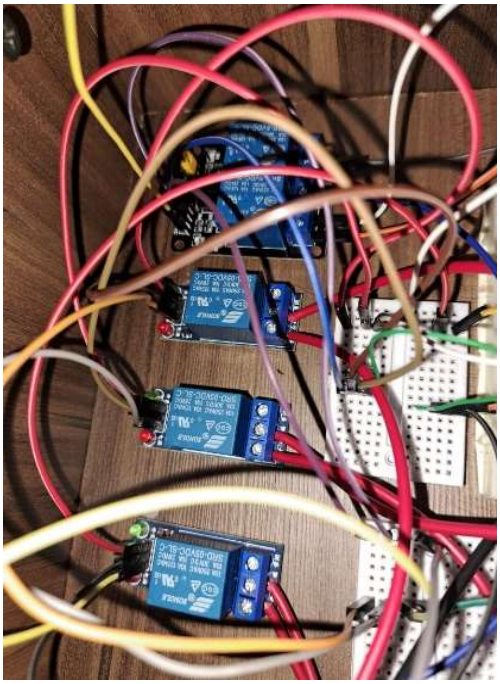


*Figura 45. Conexión de actuadores.*

### 3.4.2. Implementación final

Se presenta el prototipo para generación de agua mediante la condensación de la humedad del aire culminado y listo para la etapa de pruebas.

La Figura 46 muestra la sección 1, donde se ubica el sistema de obtención de agua:

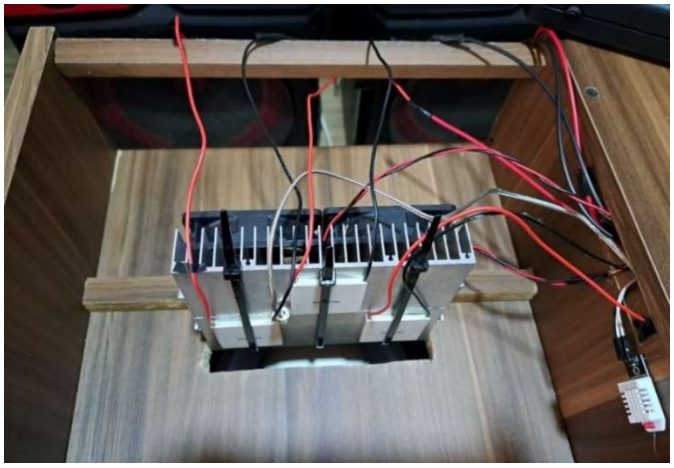


*Figura 46.Sección 1. celdas Peltier y ventiladores.*

La Figura 47 presenta la sección 2, correspondiente al sistema de recolección y purificación del líquido obtenido.

*Figura 47. Sección 2 - sistema de recolección y purificación.*

En la Figura 48 se presenta la sección 3, destinada a proteger los elementos electrónicos del prototipo:

*Figura 48. Sección 3: microcontrolador y HMI*

La Figura 49 ubica la sección 4, donde se almacena la fuente conmutada de energía.

*Figura 49. Sección 4. Sistema de alimentación.*

La Figura 50 muestra la sección 5, un espacio destinado a almacenamiento de herramientas, repuestos y, dado el caso en que se disponga de una batería recargable para accionar el prototipo, ésta se ubicará en dicha zona.

*Figura 50. Sección 5. Almacenamiento.*

En la Figura 51 se presenta el prototipo terminado y listo para entrar en operación.

*Figura 51. Visto frontal prototipo terminado*

Finalmente, la Figura 52 proporciona una vista interna de las secciones, con todos los elementos distribuidos de manera ordenada.

*Figura 52. Prototipo final. Secciones*

En la etapa de diseño, de acuerdo a los cálculos pertinentes se determinó que las ruedas implementadas eran capaces de soportar el peso total del prototipo, teoría que es corroborada una vez terminada la construcción total del mecanismo. Por otro lado, el material MDF estándar es resistente y soporta cargas de hasta 882.9 Newtons (90 Kilogramos de masa) [26].

De acuerdo al diseño planteado, la mayor concentración de carga se ubica en las secciones 2 y 5 del mueble las cuales alojan al sistema de recolección y purificación, y a la batería recargable respectivamente, peso que es soportado por la base del mueble. De modo empírico, tras someter al mueble a las condiciones de peso máximo a soportar, se comprueba que la base, así como la estructura general soportan las cargas en cada sección sin mayor inconveniente ni pandeo del MDF.

### 3.4.2. Diagrama de flujo del circuito de control para el prototipo generador de agua

La Figura 53 presenta el diagrama de flujo para facilitar la comprensión de la lógica a seguir para la programación del control del prototipo.

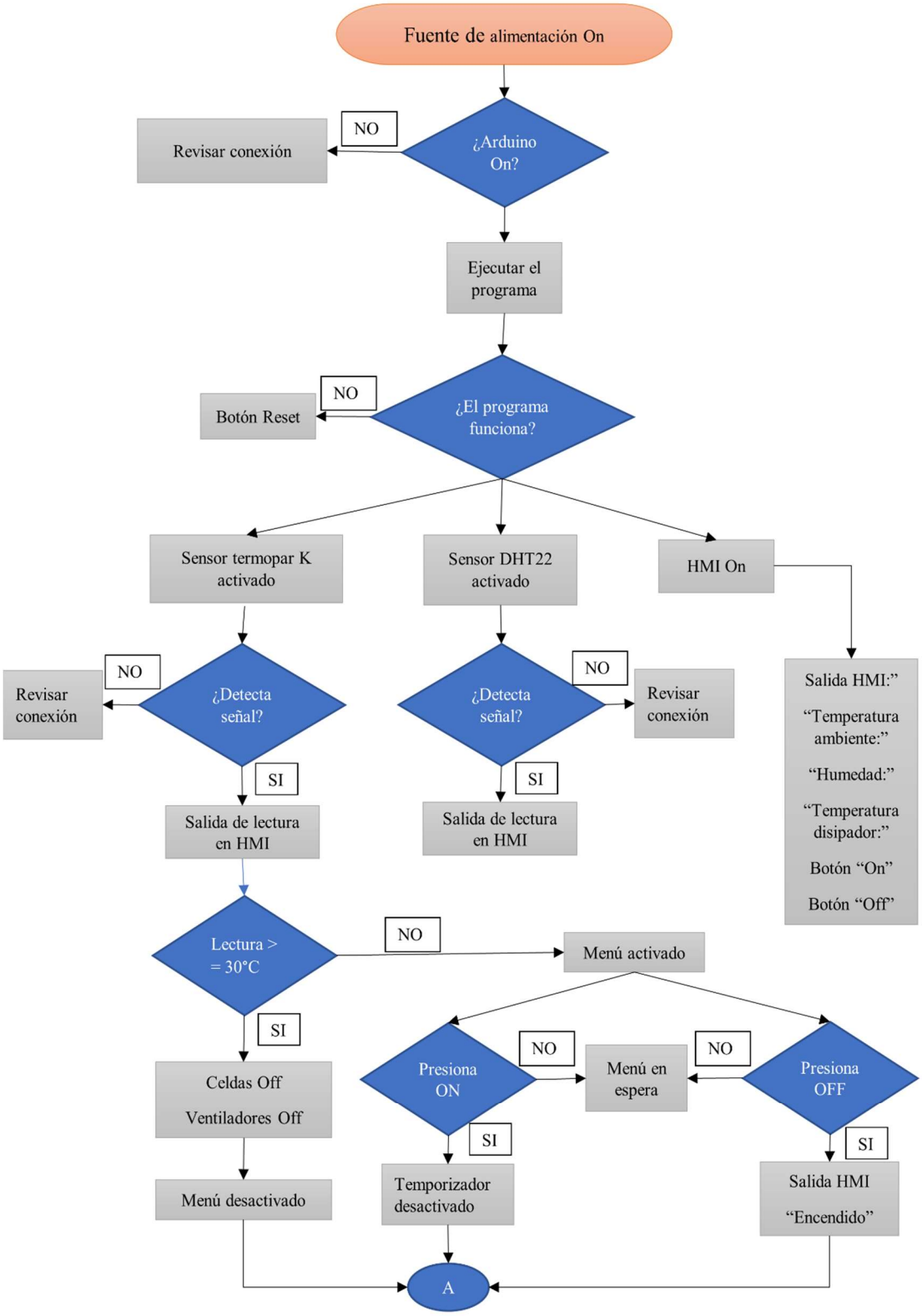



*Figura 53- Sistema de control del prototipo*

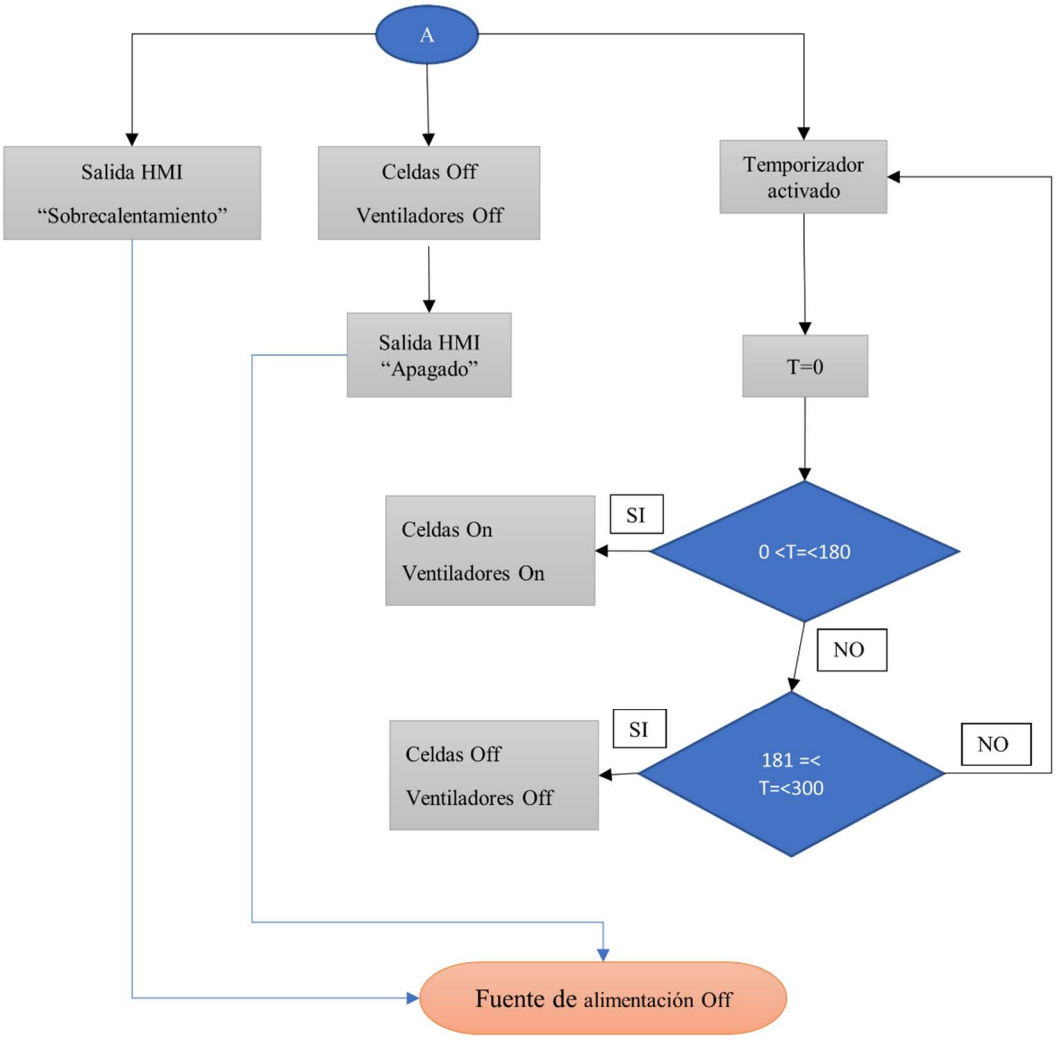



*Figura 54. Sistema de control del prototipo, continuación*

En el ANEXO VI se presenta el código de programación para el sistema de control del prototipo.

### 3.5. Proceso de obtención de agua potable con el prototipo implementado

Este proceso se realiza de la siguiente manera:

1. El programa se ejecuta.
2. El sensor DHT22 se activa y proyecta la lectura en la pantalla. Esta lectura no influye en el sistema de control del prototipo y es empleado únicamente para monitorear la relación que tiene la temperatura ambiental en el porcentaje de

humedad y punto de rocío de la zona de pruebas. La señal se receptará mientras el programa se ejecute.

3. El sensor termopar tipo K se activa y proyecta la lectura en la pantalla. Dicho valor es importante ya que determina si la temperatura del disipador de aluminio se mantiene por debajo del umbral de 30°C, lo que le permite mantener el equilibrio en las celdas Peltier y evitar que se sobrecalienten. Si esta condición se cumple, entonces el menú para controlar el sistema de generación de agua es activado, caso contrario, inhabilita el menú y apaga tanto las celdas como los ventiladores en cualquier momento mientras el programa se ejecute.
4. Si el menú se habilita, éste cuenta con dos opciones: botón "ON" para encendido, y botón "OFF" para apagado, mismos que aparecen en el HMI.
5. Si se presiona el botón "ON", el mecanismo entrará en un bucle que cumple el siguiente orden:
   - Las celdas Peltier y los ventiladores se accionan por tres minutos. Durante este tiempo, en la cara que se encuentra expuesta de cada celda (cara fría) se forman partículas de escarcha de agua.
   - Transcurrido este tiempo, celdas y ventiladores se apagan, la escarcha de hielo generada en las celdas se condensa y las gotas de agua descienden hacia el sistema de recolección. Esto ocurre por dos minutos.
   - Se repite el proceso
6. Si se presiona el botón "OFF" las celdas y ventiladores se apagan, el bucle del proceso anterior se reinicia y el menú pasa a un estado de espera hasta una nueva orden de encendido.
7. El agua recolectada ingresa al proceso de purificación el cual no dispone de ningún tipo de control ya que es a base de filtros, y se encuentra detallado en el

numeral 3.2 de este capítulo. Una vez que se encuentra en el tanque inferior, el usuario puede presionar la llave dispensadora y obtener agua lista para el consumo.

8. Para que el prototipo deje de funcionar: si el sistema se encuentra operando, es decir, está en el bucle descrito en el numeral 5, se presiona el botón "OFF" del HMI y cuando los actuadores (celdas y ventiladores) estén desactivados, se apaga la fuente de alimentación.
9. **Manual de operación**: En el ANEXO VII se presenta un manual conciso que permita al usuario operar el prototipo
10. **Ficha de mantenimiento:** El apartado del ANEXO VIII contiene un modelo de ficha técnica de mantenimiento preventivo, elaborado para el prototipo generador de agua.

- El ANEXO IX corresponde a una serie de imágenes plasmadas a modo de registro de las pruebas de funcionamiento del prototipo.

# CAPÍTULO IV

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se detallan una serie de análisis cuantitativos con los datos conseguidos en la fase de pruebas del prototipo generador de agua, con el fin de determinar su eficiencia.

## 4.1. Obtención de datos

Para comprobar la funcionalidad del prototipo, así como la cantidad de agua que pueda generar, se realizaron pruebas en la parroquia de Lloa durante diez días comprendidos del 18 al 22 y del 25 al 29 de enero de 2023, distribuidas de la siguiente manera:

- Del 18 al 22 de enero de 2023, desde las 18:00 hasta las 00:00, con mediciones de temperatura, humedad y volumen de agua recolectada cada 30 min.
- Del 25 al 29 de enero de 2023, desde las 05:00 hasta las 11:00, con mediciones de temperatura, humedad y volumen de agua recolectada cada 30 min.

Los aspectos físicos por considerar se presentan en la Tabla 4, tomando como ejemplo los datos del primer día de toma de muestra, de 18:00 a 18:30:

*Tabla 4. Aspectos físicos considerados para el análisis*

| Parámetro | Promedio |
|---|---|
| **Humedad relativa (%)** | **84** |
| **Temperatura ambiental (°C)** | **13** |
| **Punto de rocío (°C)** | **10,3** |
| **Número de celdas Peltier** | **3** |
| **Número de muestras** | **12** |
| **Tiempo total (horas)** | **6** |
| **Día (enero 2023)** | **10** |
| **Volumen (ml) por muestra** | **25** |
| **Volumen total diario (ml)** | **283** |

Debido a que la recolección de agua no se realizó en el mismo lapso de tiempo, los datos obtenidos se han dividido en dos grupos: el primero para los datos de la noche y el segundo para el horario de la mañana. En la Tabla 5 se ilustra el primer grupo de datos, correspondientes a las pruebas realizas entre las 18:00 pm y las 00:00.

*Tabla 5 Cantidad de agua recolectada 18 al 22 enero 2023.*

| AGUA RECOLECTADA (ml) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **HORA/DÍA** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** |
| **18:00 a 18:30** | 25 | 27 | 27 | 28,5 | 26,5 |
| **18:30 a 19:00** | 25,5 | 27,5 | 28 | 30 | 27,5 |
| **19:00 a 19:30** | 26 | 27 | 28 | 29,5 | 27 |
| **19:30 a 20:00** | 25,2 | 27,5 | 27,5 | 30 | 26 |
| **20:00 a 20:30** | 25,2 | 27,5 | 27,5 | 29 | 26 |
| **20:30 a 21:00** | 22 | 27 | 27 | 29 | 26,5 |
| **21:00 a 21:30** | 22,5 | 27,5 | 27,5 | 28,5 | 25 |
| **21:30 a 22:00** | 22 | 26,5 | 27,5 | 28 | 25 |
| **22:00 a 22:30** | 22 | 27 | 27 | 28 | 24,5 |
| **22:30 a 23:00** | 22,1 | 26,5 | 27 | 29,5 | 24,5 |
| **23:00 a 23:30** | 22,5 | 28 | 28,5 | 30 | 25 |
| **23:30 a 00.00** | 23 | 27,5 | 28 | 30,5 | 25,5 |
| **TOTAL (ml)** | 283 | 326,5 | 330,5 | 350,5 | 309 |
| **Promedio** | 23,6 | 27,2 | 27,5 | 29,2 | 25,8 |
| **Humedad (%)** | 84 | 94 | 94 | 97 | 90 |
| **T. ambiente (°C)** | 13 | 10 | 10 | 9 | 11 |
| **Punto rocío (°C)** | 10,3 | 9,1 | 9,1 | 8,5 | 9,4 |

La Tabla 6 corresponde al grupo de muestras obtenidas en el horario de 05:00 a 11:00 am.

*Tabla 6. Cantidad de agua recolectada 25 al 29 enero 2023*

| AGUA RECOLECTADA (ml) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **HORA/DÍA** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** |
| **05:00 a 05:30** | 22,5 | 20,5 | 19 | 20 | 18,5 |
| **05:30 a 06:00** | 24 | 22 | 20,5 | 21 | 19,5 |
| **06:00 a 06:30** | 24,5 | 22 | 20,5 | 21,5 | 19 |
| **06:30 a 07:00** | 24 | 22 | 20,5 | 21 | 18,5 |
| **07:00 a 07:30** | 22,5 | 21,5 | 20 | 19,5 | 18 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **07:30 a 08:00** | 23 | 21 | 18,5 | 19 | 18 |
| **08:00 a 08:30** | 23 | 21 | 18 | 18,5 | 17 |
| **08:30 a 09:00** | 23 | 21 | 18,5 | 18,5 | 17,5 |
| **09:00 a 09:30** | 22,5 | 20 | 18 | 19 | 17 |
| **09:30 a 10:00** | 20 | 18 | 17,5 | 18 | 17,5 |
| **10:00 a 10:30** | 20 | 18 | 17 | 18 | 17 |
| **10:30 a 11:00** | 19 | 18 | 16,5 | 17,5 | 16 |
| **TOTAL (ml)** | 268 | 245 | 224,5 | 231,5 | 213,5 |
| **Promedio** | 22,3 | 20,4 | 18,7 | 19,3 | 17,8 |
| **Humedad (%)** | 75 | 73 | 65 | 66 | 60 |
| **T. ambiente (°C)** | 15 | 15,25 | 16 | 16 | 17 |
| **Punto rocío (°C)** | 10,6 | 10,4 | 9,4 | 9,6 | 9,1 |

En cuanto a la temperatura proporcionada por el disipador, se tomó la lectura del día 21 de enero, para el lapso de tiempo comprendido entre las 18:00 y 18:30, el cual se ilustra en la tabla 7:

*Tabla 7. Temperatura del disipador día 21 de enero*

| HORA | Temperatura del disipador (°C) |
|---|---|
| **18:00** | 10,5 |
| **18:03** | 24,5 |
| **18:05** | 12,5 |
| **18:08** | 26,0 |
| **18:10** | 15,0 |
| **18:13** | 27,5 |
| **18:15** | 15,5 |
| **18:18** | 28,0 |
| **18:20** | 17,0 |
| **18:23** | 33,5 |
| **18:25** | 16,0 |
| **18:28** | 27,5 |
| **18:30** | 16,5 |
| **Humedad (%)** | 90 |
| **T. ambiente (°C)** | 11 |
| **Punto rocío (°C)** | 9,4 |

## 4.2. Discusión de resultados

Para analizar el comportamiento del disipador de aluminio el cual está fijado a las celdas Peltier y mantiene la diferencia de temperaturas entre sus caras, se realiza la curva de comportamiento basada en los datos de la Tabla 7, lectura tomada del sensor termopar tipo K. El resultado se muestra en la Figura 55.

*Figura 55. Temperatura del disipador 29 de enero, de 18:00 a 18:30*

Se puede observar que, transcurridos los tres minutos en que las celdas y ventiladores están activados, la temperatura del disipador aumenta, mientras que pasados los dos minutos en que dichos actuadores permanecen apagados, la temperatura disminuye. Este comportamiento se explica debido a que el disipador cumple con la función de absorber parte del calor de la cara de la celda con que entra en contacto, mientras que, al apagar las celdas, el disipador no absorbe calor y por lo tanto se enfría.

Sin embargo, existen ocasiones en que el tiempo de dos minutos para reposo de las celdas (período que coincide con el de recolección del agua generada) no es

suficiente, entonces el disipador no logra enfriarse por completo y aún conserva parte del calor absorbido anteriormente. Esto provoca que al activar nuevamente las celdas, el disipador adicione grados de temperatura y supere el umbral de 30°C, a este valor ya no puede mantener el equilibrio en las caras de las celdas Peltier y produce el efecto contrario. Por este motivo, el programa para el sistema de control determina que es preciso apagar los actuadores y esperar a que la temperatura del disipador baje para que pueda operar nuevamente. Para prevenir este panorama se podría incorporar un disipador de mayores dimensiones.

- Para monitorear la evolución de obtención de agua del mecanismo en el transcurso del tiempo, se toma como ejemplo los días con mayor y menor volumen total obtenido. La Figura 56 ilustra el volumen de agua recolectado en el día 21 de enero por un lapso de seis horas, con toma de datos cada treinta minutos. Este día corresponde al de mayor cantidad de agua generada.

*Figura 56. Volumen agua recolectada 21 enero de 2023*

Es posible observar que, aunque existen variaciones en el volumen de agua obtenido en cada prueba, éste se mantiene en un promedio de 29,2 ml ya que dichas variaciones no sobrepasan los 2ml. Además, la mayor cantidad de agua que el mecanismo puede obtener con tres celdas Peltier por treinta minutos es de 30,5 ml, justo antes de la medianoche.

En la Figura 57 se analiza la evolución de la toma de datos en el día 29 de enero, fecha en que se recolectó el menor volumen de líquido.

*Figura 57.Volumen agua recolectada 29 enero de 2023*

Para este caso, la menor cantidad de líquido se obtuvo en la última prueba, de 10:30 a 11:00 am.

Para un análisis más general, las Figuras 58 y 59 presentan el volumen total de agua generada con el prototipo en función de los días de prueba:

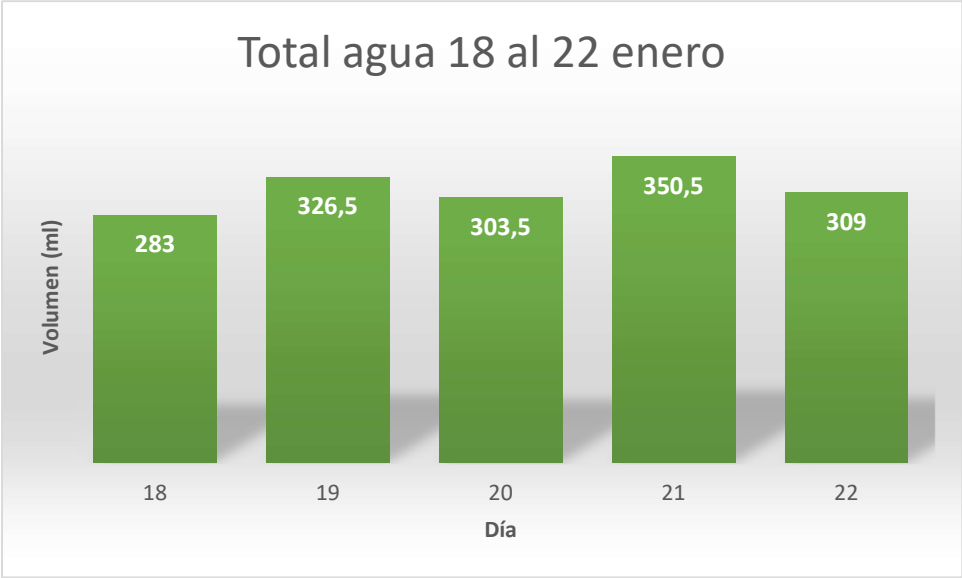



*Figura 58. Agua generada del 18 al 22 de enero de 2023. Horario de noche*

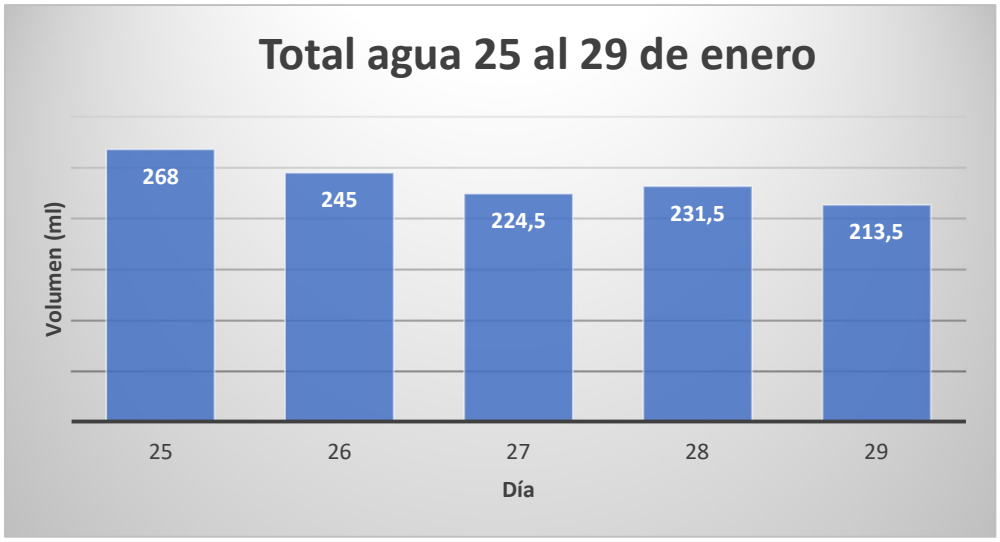



*Figura 59. Agua generada del 18 al 22 de enero de 2023. Horario de día.*

Los días en que más cantidad de agua se logró recolectar fueron precisamente en aquellos cuyas pruebas se tomaron en la noche, mientras que, para el horario de la mañana, existe una diferencia promedio de volumen obtenido de 83,4 ml.

Si se considera la diferencia de líquido recolectado en relación con la temperatura ambiental de Lloa, en las Figuras 60 y 61 se considera que, presente una relación inversa: cuando la temperatura aumenta el volumen de agua disminuye y viceversa.

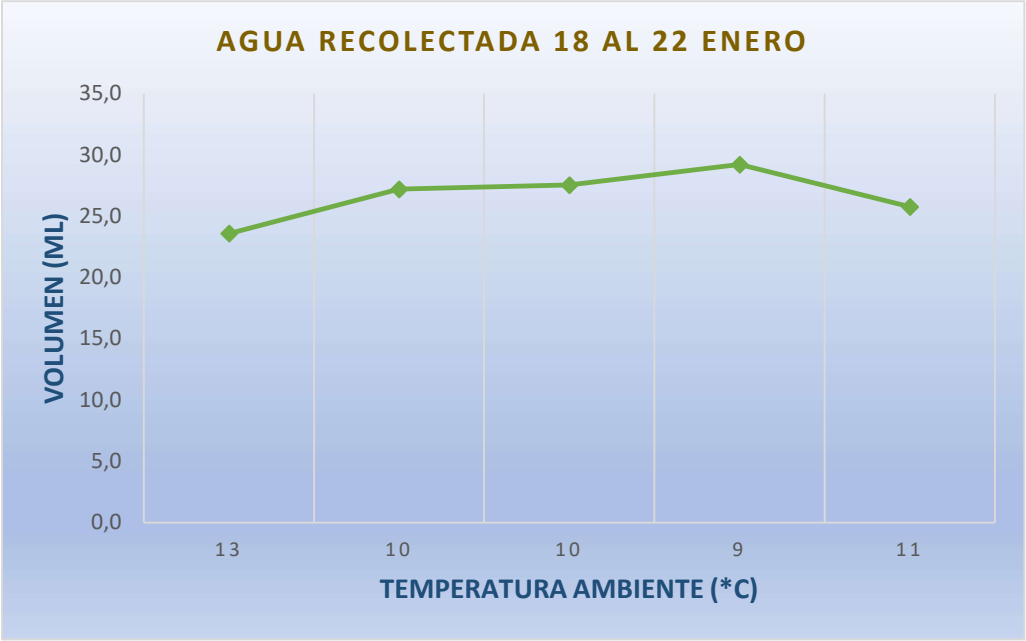



*Figura 60. volumen vs temperatura del 18 al 22 de enero de 2023*

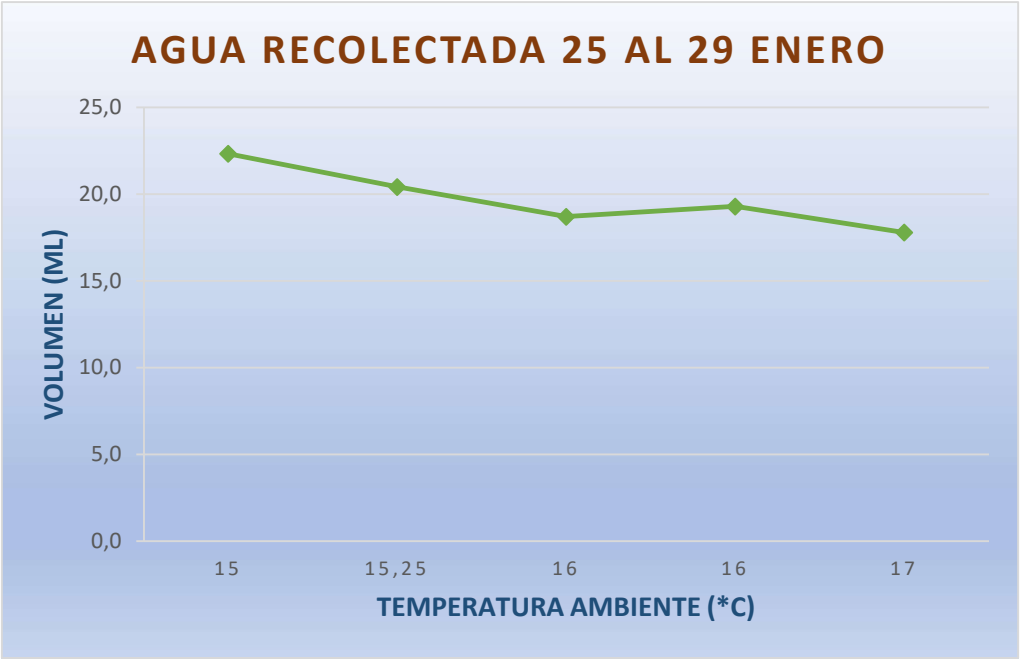



*Figura 61. volumen vs temperatura del 25 al 29 enero de 2023*

Sin embargo, para el caso de la humedad relativa la relación es directa ya que, si existe mayor humedad en la atmósfera, mayor será el volumen de agua que el mecanismo pueda condensar. Esta teoría se comprueba con las Figuras 62 y 63 que muestran el

comportamiento del volumen de líquido obtenido en función de la humedad relativa en la zona de pruebas.

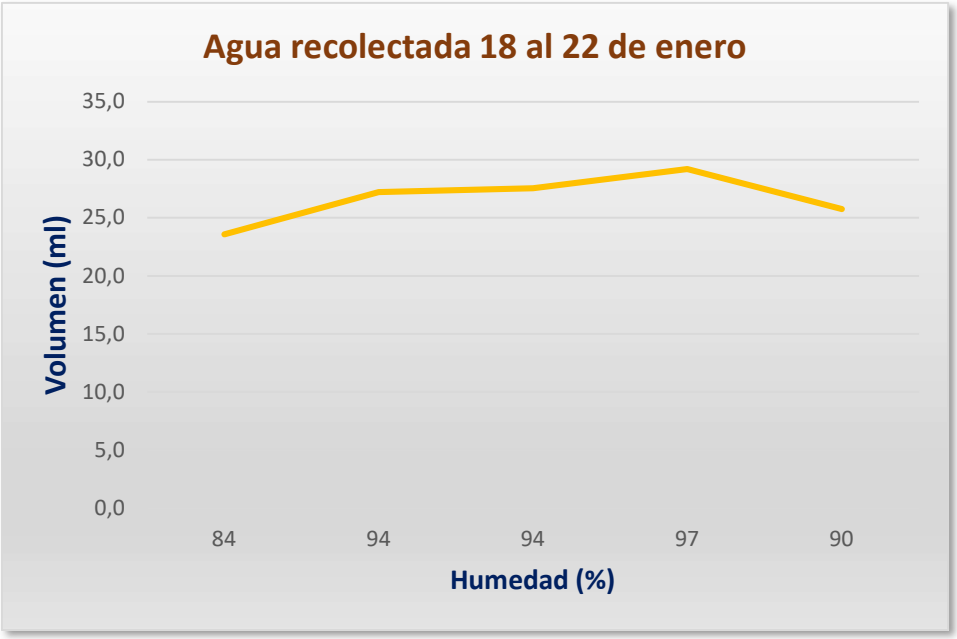



*Figura 62. volumen vs humedad del 18 al 22 de enero de 2023*

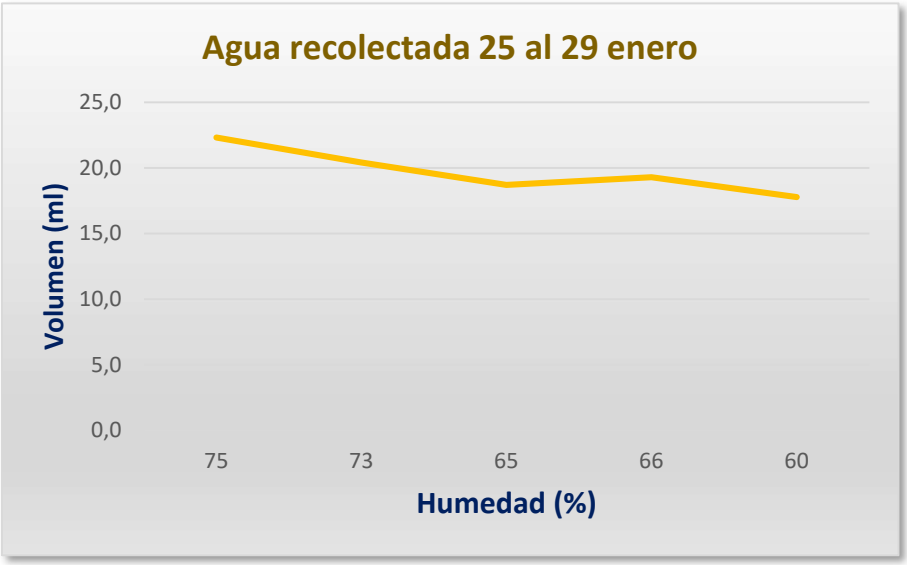



*Figura 63. Volumen vs humedad del 25 al 29 enero de 2023*

Las figuras 64 y 65 comprueban la influencia y sensibilidad de la temperatura sobre la humedad relativa. pues un solo grado centígrado de variación en su valor implica un

porcentaje significativo de aumento o disminución de la humedad. La relación también es inversa, esto es: si incrementa la temperatura, disminuye la humedad relativa y viceversa.

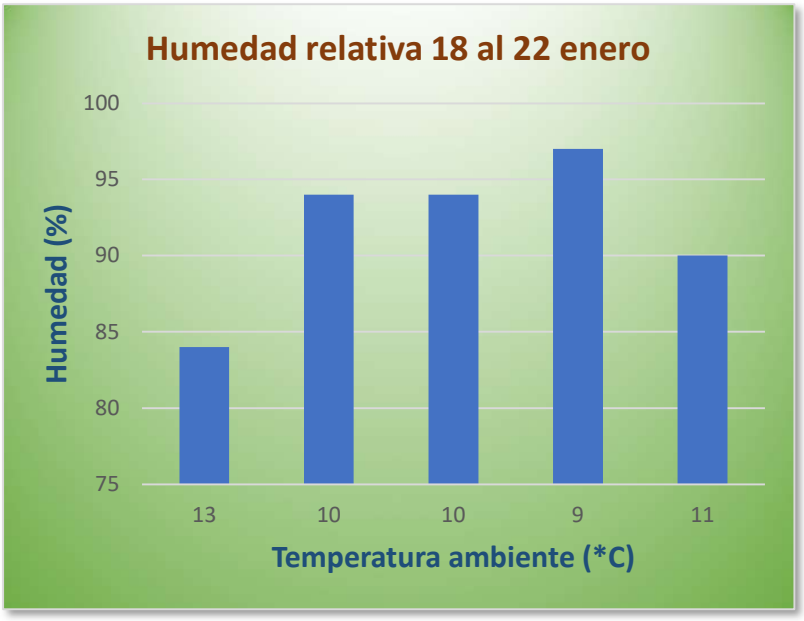



*Figura 64.Humedad relativa vs. temperatura del 18 al22 enero de 2023*

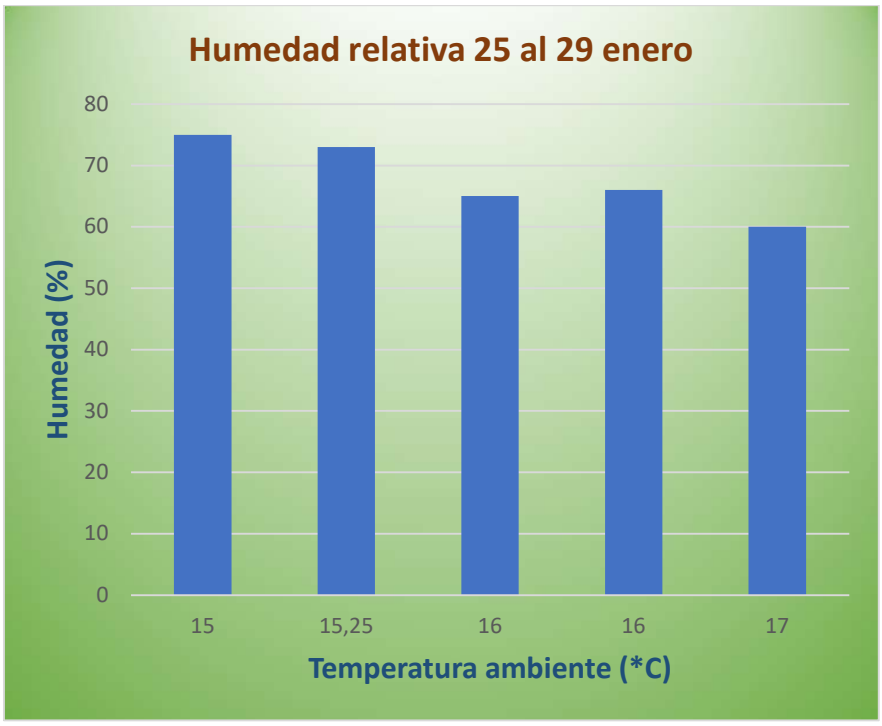



*Figura 65.Humedad relativa vs. temperatura del 25 al 29 enero de 2023*

Por último, a modo educativo, en las Figuras 66 y 67 se ha plasmado el comportamiento del punto de rocío, bajo la influencia de las variables de temperatura y humedad relativa, respectivamente:

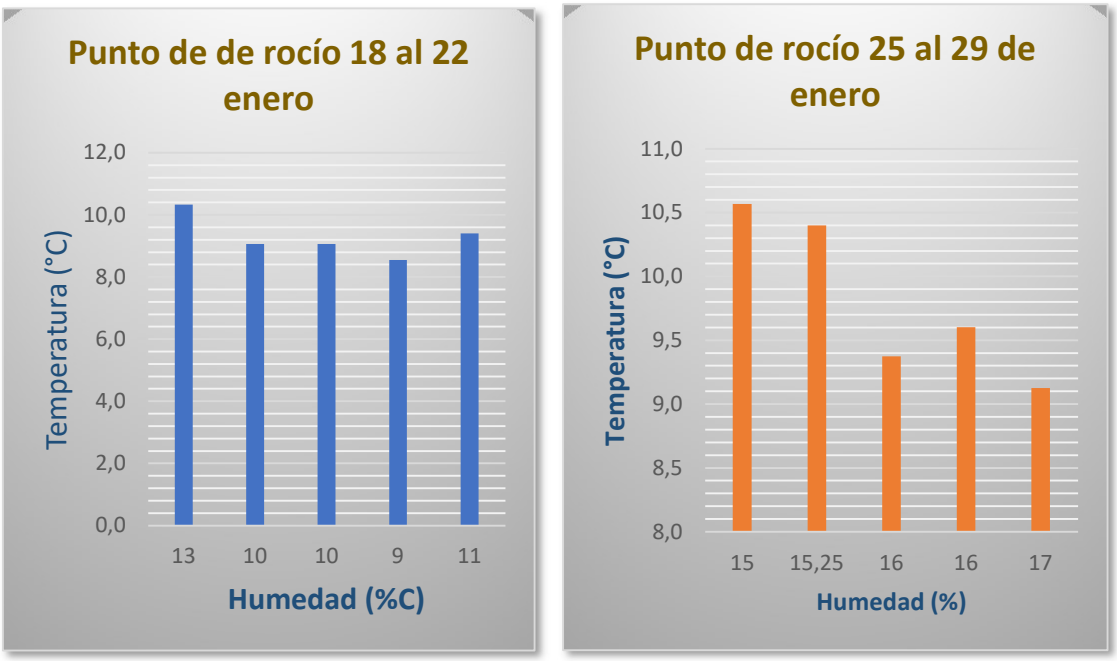



*Figura 66. Punto de rocío vs. temperatura*

Se observa un comportamiento similar ya que tanto temperatura como humedad relativa poseen una influencia sobre el punto de rocío.

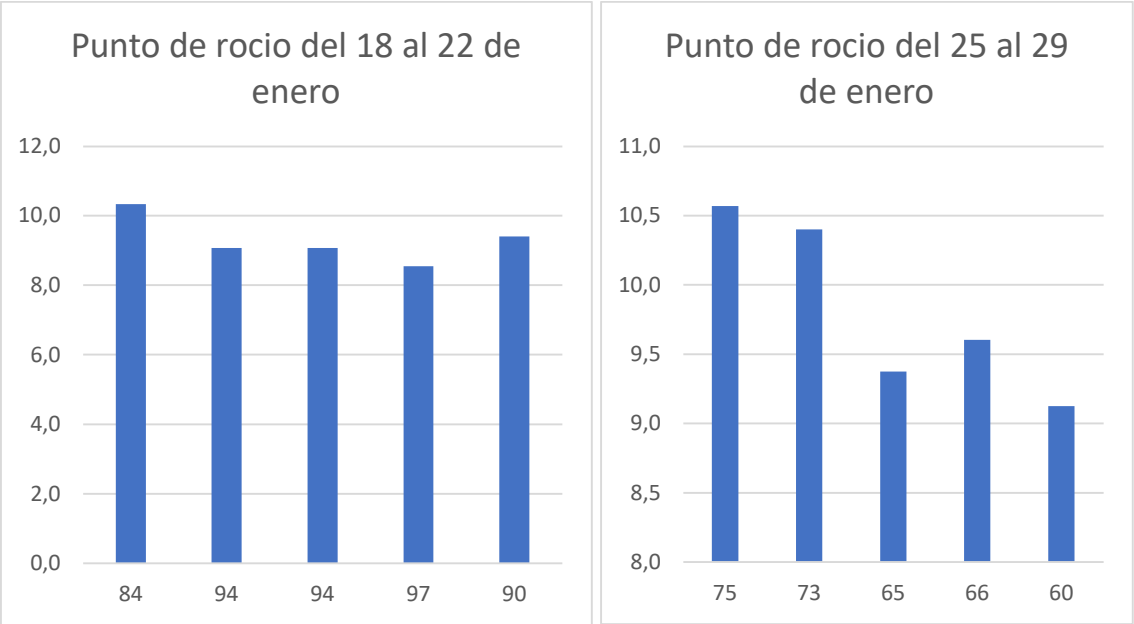



*Figura 67. Punto de rocío vs. humedad*

### 4.3. Análisis del volumen de agua recolectado.

La información recolectada mediante el uso del prototipo generador de agua permite analizar su comportamiento y relacionar la cantidad de líquido obtenido en comparación con los factores ambientales de la zona y comprobar si el sistema es funcional, además de realizar estimaciones para conocer el tiempo aproximado que se tardaría en recoger un litro de agua, volumen que se mantuvo como propósito inicial.

Las pruebas realizadas por períodos de seis horas consecutivas, determinan un total máximo de 350.5 ml de agua recolectada durante la noche y 213.5 ml de volumen mínimo durante el día. Esto quiere decir que, la cantidad total de líquido recolectado dependerá de la temperatura ambiente de la zona la cual no es constante ya que depende de la hora del día así como la época en que la máquina opera a lo largo del año. A modo tentativo se plantea que, si la temperatura ambiente y humedad se mantienen a las condiciones que el día 21 de enero y el lapso de tiempo entre 18:00 a 0:00, para obtener un litro de agua se requeriría, según la Ecuación (9):

$$Tiempo_{necesario} = tiempo_{prueba}\ x\ \frac{1000\ ml}{Volumen\ recolectado} \tag{9}$$

$$Tiempo_{necesario} = 6\ (horas)\ x\ \frac{1000\ (ml)}{355.5\ (ml)}$$

$$Tiempo_{necesario} = 16.9\ horas$$

Se requerirían 16.9 horas para obtener un litro de agua siempre y cuando la temperatura y humedad ambiental se mantenga constante. Se puede proceder del mismo modo para determinar el tiempo requerido a condiciones ambientales del día de prueba con menor recolección:

$$Tiempo_{necesario} = 6\ (horas)\ x\ \frac{1000\ (ml)}{213.5\ (ml)} \tag{10}$$

$$Tiempo_{necesario} = 28.1\ horas$$

Para este caso, se necesitarían 28.1 horas, es decir, poco más de un día para lograr generar un litro de agua. Sin embargo, es preciso aclarar que esta estimación no es precisa ya que, tal como se explica las condiciones ambientales fluctúan a lo largo de la hora y época del año. Para lograr un cálculo más aproximado se requiere que el prototipo opere de manera prolongada en el transcurso del día y determinar el tiempo real que se tarde en generar un litro de agua.

### 4.4. Transferencia de calor y consumo de energía

- Es necesario comprender los fenómenos físicos que ocurren dentro de una celda Peltier para que el prototipo de un generador de agua atmosférica funcione correctamente [27]. La Ecuación (11) determina el calor transferido por las celdas hacia el disipador de aluminio

$$Q = m\,.\,c\,.\,\Delta T \tag{11}$$

Donde:

Q = calor transferido, medido en Joules (J)

m = masa del disipador, medida en Kilogramos (Kg)

c = calor específico del aluminio, el cual equivale a 900 J/(Kg °C).

ΔT=diferencia de temperatura en el disipador, medida en (°C)

Para este caso se toma como ejemplo el periodo de tiempo comprendido entre las

18:00 a 18:03 del día 21 de enero, en que la temperatura del disipador cuya masa es de 400 gramos (0.4 Kg), aumenta:

$$Q = 0.4\ (\mathrm{Kg})\ \mathrm{x}\ 900\ \left(\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{Kg}\ °\mathrm{C}}\right)\ \mathrm{x}\ 14(°\mathrm{C})$$

$$Q = 5040\ (\mathrm{J})$$

El calor transferido por las celdas hacia el disipador, al cabo de tres minutos es de 5040 J.

- La potencia eléctrica de una celda Peltier se determina mediante la Ecuación (12) que consiste en multiplicar la tensión suministrada, por la corriente respectiva que la atraviesa [28].

$$P = VxI \tag{12}$$

Donde:

P = Potencia, medida en Watts (W)

V = Tensión, medida en Voltios (V)

I = Corriente, medida en Amperios (A)

Las celdas Peltier empleadas en el presente proyecto operan a 12 Voltios y 6 Amperios, por lo que su potencia eléctrica es:

$$P = 12\ (V)x\ 6\ (A)$$

$$P = 72\ (W)$$

- El consumo de energía de una celda Peltier relaciona la potencia con el tiempo requerido [28],se define mediante la Ecuación (13):

$$E = Pxt \tag{13}$$

Donde:

E = Energía consumida, medida en Joules

P = Potencia, medida en Watts (W)

t = tiempo de operación, medido en segundos (s)

Por lo tanto, una celda de 72 W encendida durante 24 horas gasta una energía de:

$$E = 72\ (W) x\ 86400\ (s)$$

$$E = 6'220800\ J$$

- La energía consumida también puede expresarse mediante la Ecuación (14):

$$Energía_{consumida} = Potencia\ (KW)\ x\ tiempo\ (horas) \quad (14)$$

$$Energía_{consumida} = 0.72\ (KW)\ x\ 24\ (horas)$$

$$Energía_{consumida} = 1.73\ KWh$$

Una celda Peltier, operando 24 horas consume una energía de 1.73 KWh.

### 4.5. Prueba de hipótesis

En cuanto al objetivo principal del proyecto, se logró realizar una propuesta de diseño tanto para el mecanismo físico como para su sistema de control. Además, se demostró, en primera instancia, que es posible obtener agua mediante el prototipo, logrando recolectar un volumen total promedio de 319,9 ml de agua, por un lapso de 6 horas diarias durante la noche, y un promedio de 236,65 ml durante la mañana.

Por otro lado, si se compara los resultados conseguidos gracias al prototipo implementado con el trabajo de Reina y Acosta, cuyo suministro de energía empleado se consigue gracias a un panel solar de 265 Vatios, para conseguir que el prototipo del presente proyecto sea portátil, es decir, tenga la capacidad de ser utilizado en diferentes zonas incluso en aquellas donde no exista acceso a la red eléctrica, se puede optar por el uso

alternativo de una batería recargable que cumpla con el requisito de proporcionar las cantidades de tensión y corriente suficientes para que el mecanismo se ponga en marcha. Cabe recalcar que no se propone el uso de un panel fotovoltaico porque las condiciones climatológicas del lugar lo convierten en una alternativa poco eficiente.

Considerando que, las celdas Peltier y los ventiladores requieren un suministro total de 12 Voltios y 20 Amperios aproximadamente, es preciso determinar el valor de Amperios por hora (Ah) que la batería es capaz de proporcionar para garantizar que el prototipo pueda operar por un tiempo de 24 horas seguidas. Dicho cálculo se realiza mediante la fórmula planteada en la Ecuación (15) [29].

$$Vida\ \acute{u}til\ de\ la\ batería\ (horas) = \frac{Corriente\ de\ la\ batería\ (Amperios\ hora)}{Corriente\ requerida\ (Amperios)} \qquad (15)$$

Se requiere que la batería tenga una vida útil de 24 horas, y suministre una corriente de 20 Amperios. Entonces:

$$Corriente\ de\ la\ batería\ =\ vida\ \acute{u}til\ de\ la\ batería\ X\ corriente\ requerida \qquad (16)$$

$$Corriente\ de\ la\ batería\ (Ah) = 24\ (h)\ x\ 20\ (A)$$

$$Corriente\ de\ la\ batería = 480\ Ah$$

Ahora, se necesita comprobar si existe un modelo comercial que cumpla con las condiciones de suministrar 12 V y 480 V. Dicho modelo se muestra en la Figura 68:

*Figura 68. Batería recargable 12 V - 500 Ah. [30]*

Tras una búsqueda minuciosa es posible comprobar que, efectivamente existe en el mercado una batería recargable, que no funciona con panel solar, de 12 V y 500 Ah, con lo cual se concluye que, si se adquiere dicha batería, el prototipo generador de agua es capaz de operar por 24 horas seguidas, tiempo que de hecho, resulta mayor ya que las celdas no se encuentran encendidas todo el tiempo. Esto resulta una ventaja ya que alarga la vida útil de la batería por lo que el mecanismo puede operar por más tiempo. Por otro lado, si la intención es reducir costos, se puede optar por una batería que proporcione menor corriente por hora.

Con respecto a los objetivos planteados en el diseño e implementación del prototipo, se logró un arreglo de celdas coincidente con Acosta y Reina (2019), cuyo estudio determinó que con un total tres celdas Peltier es suficiente para la obtener agua con el proceso de condensación de la cantidad de humedad presente en el aire. Además. el punto de rocío depende de dos magnitudes termodinámicas, de modo que fue necesario emplear un sensor que pueda captar dichas variables: sensor de temperatura y humedad relativa DHT22.

### 4.6. Análisis Económico

Para la materialización del proyecto se han considerado gastos tanto para la construcción de sus partes mecánicas, como para el sistema electrónico del mismo. Para ello, se han dividido por grupos según los elementos empleados en cada fase del mecanismo:

- La Tabla 9 corresponde al costo de los insumos empleados en la construcción del mueble de soporte del prototipo:

*Tabla 8. Análisis de costos del sistema de soporte*

| Cantidad | Descripción | Costo unitario (USD) | Costo total (USD) |
|---|---|---|---|
| 1 | Plancha de MDF + corte | 80,00 | 80,00 |
| 4 | Manijas | 1,50 | 6,00 |
| 4 | Ruedas antideslizantes | 2,75 | 11,00 |
| 8 | Bisagras | 0,25 | 2,00 |
| 4 | Topes para puertas | 1,00 | 4,00 |
| | Otros (clavos, tornillos, arandelas) | 4,00 | 3,00 |
| | **Total** | **-** | **105,00** |

- La Tabla 10 desglosa el costo de los elementos electrónicos necesarios para la que el sistema funcione:

*Tabla 9. Análisis de costos sistema electrónico*

| Cantidad | Descripción | Costo unitario (USD) | Costo total (USD) |
|---|---|---|---|
| 1 | Fuente conmutada 12V 30A | 20,00 | 20,00 |
| 1 | Microcontrolador Arduino Mega 2560 | 26,50 | 26,50 |
| 1 | Pantalla LCD TFT 3.5’’ | 25,00 | 25,00 |
| 3 | Celdas Peltier tipo Tec12706 | 6,00 | 18,00 |
| 2 | Ventiladores | 4,80 | 9,60 |
| 1 | Disipador de aluminio | 10,00 | 10,00 |
| 5 | Módulo relé | 2,75 | 13,75 |
| 1 | Sensor termopar tipo K | 3,00 | 3,00 |
| 1 | Driver MAX6675 | 5,50 | 5,50 |
| 1 | Sensor DHT22 | 8,50 | 8,50 |
| 1 | Fuente 3.3v 5v Alimentador para Protoboard Mb102 | 4,00 | 4,00 |
| 1 | Cargador 12V 2ª | 5,00 | 5,00 |
| 2 | Protoboard | 3,75 | 7,50 |
| | Cables | 5,00 | 5,00 |
| | **Total** | **-** | **161,35** |

- En la Tabla 11 se presenta el costo de implementar el sistema de purificación del prototipo:

*Tabla 10. Análisis costo sistema de purificación*

| Cantidad | Descripción | Costo unitario (USD) | Costo total (USD) |
|---|---|---|---|
| 1 | Tanque inferior | 4,00 | 3,00 |
| 1 | Llave | 2,50 | 2,00 |
| 1 | Piedra mineral | 6,00 | 6,00 |
| 1 | Filtro de cartucho | 9,00 | 9,00 |
| 1 | Tanque recolector | 3,50 | 3,00 |
| 1 | Filtro cerámico | 6,00 | 7,00 |
| | **Total** | **-** | **30,00** |

- La Tabla 12 corresponde al análisis del costo de mano de obra que interviene en el diseño, implementación y control:

*Tabla 11. Análisis de costos mano de obra*

| Descripción | Tiempo (horas) | Costo hora (USD) | Costo total (USD) |
|---|---|---|---|
| Diseño y construcción mueble de soporte | 10 | 3,50 | 35,00 |
| Diseño generador de agua | 10 | 5,00 | 50,00 |
| Implementación sistema electrónico | 40 | 2,50 | 100,00 |
| Sistema de control y programación | 20 | 8,00 | 160,00 |
| **Total** | | | **345,00** |

- Una sumatoria del costo total del prototipo se presenta en la Tabla 13:

*Tabla 12. Costo Total del proyecto*

| Descripción | Costo (USD) |
|---|---|
| Sistema de soporte | 105,00 |
| Elementos electrónicos | 161,35 |
| Sistema de recolección y purificación | 30,00 |
| Mano de obra | 345,00 |
| **Total** | **641,35** |

El diseño e implementación del prototipo generador de agua tuvo un costo total de 641,35 USD.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Conclusiones

- Durante las pruebas de funcionamiento realizadas del 18 al 29 de enero de 2023, se logró recolectar un total de 319,9 ml promedio de agua durante la noche y 236,5 ml en el día, por tiempos de seis horas diarias, con lo cual queda confirmado el uso alternativo de celdas Peltier debido a que poseen la capacidad de descender la temperatura de su cara fría hasta un valor igual o inferior al punto de rocío, condición a la cual la humedad del aire se condensa.

- Un factor determinante es la temperatura de la atmósfera, misma que influye en el porcentaje de humedad relativa y, por consiguiente, en la cantidad de agua recolectada. Este parámetro representa una ventaja para el proyecto debido a que la temperatura promedio en la Parroquia de Lloa se mantiene por debajo de los 17 °C, lo que permite obtener un porcentaje de humedad hasta del 97% cuando desciende 9°C (su temperatura más baja registrada) y de esta manera tener una idea del tiempo necesario para lograr el objetivo de recolectar un litro de agua.

- Se realizó un arreglo con tres celdas Peltier considerando sus condiciones de operación, sobre todo el umbral de 28.5°C, temperatura que no debe sobrepasar el disipador para mantener la temperatura del lado frío de las celdas. Así, además de obtener la información requerida para el sistema de control, se previene algún tipo de fallo por sobrecalentamiento gracias a la señal constante del termopar que recibe un diferencial de temperatura por conducción desde la placa disipadora.

- Empleando la fórmula para determinar el punto de rocío según los datos recolectados de la señal del sensor DHT22, se comprobó la relación directa entre la temperatura y humedad relativa con el punto de rocío el cual, a la temperatura más baja de 9°C y porcentaje de humedad más alta de 97% registrados requieren subir a 8.5°C desde que se apaga la celda llena de escarcha de hielo, para que el agua empiece a condensarse lo que acelera el proceso de recolección. Por otro lado, para el día con mayor temperatura 17°C y humedad más baja 60%, el punto de rocío incrementó en 0.6°C. Es decir, que a temperatura y humedad, mayor es el tiempo que requiere la celda para subir al punto de rocío y generar gotas de agua que pueden ser recolectadas lo que desacelera el proceso.

- Durante la búsqueda de una alternativa ante la posible ausencia de suministro de energía, se verificó la existencia de una batería recargable comercial de 12 V y 500 Ah la cual, de acuerdo a los cálculos realizados considerando que , es suficiente para mantener el dispositivo en funcionamiento por 24 horas. Sin embargo, una limitante de esta alternativa es la necesidad de acceder a un suministro una vez transcurrido este tiempo, para poder recargar la batería.

**Recomendaciones**

- Analizar el funcionamiento del dispositivo en un ambiente cálido a nivel del mar, y comprobar su capacidad de recolección.

- Implementar un sistema de control para el volumen del tanque de recolección mediante un sensor de nivel, mismo que envíe una señal que permita apagar el prototipo una vez que haya determinado el lleno total del tanque

- Implementar un mecanismo de obtención de energía sustentable capaz de acoplarse al prototipo. Para el caso particular de la parroquia de Lloa, debido a las condiciones climatológicas de la zona, se propone un método de obtención de energía que aproveche las corrientes de aire del lugar, mediante la implementación de un sistema de abastecimiento con energía eólica.

- Incrementar el número de celdas Peltier para mejorar la capacidad de generación de agua, considerando reemplazar el disipador de aluminio por uno de cobre y, a la vez mejorar el control de su temperatura y así evitar sobrecalentamientos, con el empleo de un sensor de mayor precisión, así como un controlador más robusto como un PLC.

- Investigar nuevos métodos en el ‘campo de la nanotecnología, que permitan incrementar la capacidad de generación de agua, mediante una mayor concentración de humedad en la zona de captación de líquido del prototipo.

# BIBLIOGRAFÍA


[1] L. Guppy y K. Anderson, «Global Water Crisis: the facts,» 2017. [En línea]. Available: https://inweh.unu.edu/wp-content/uploads/2017/11/Global-Water-Crisis-The-Facts.pdf.

[2] I. Alarcón, «En Ecuador se gasta 40% más agua que el promedio de la región,» 2018. [En línea]. Available: https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/ecuador-gasto-agua-cifras-latinoamerica.html.

[3] W. Torres, «Nueve provincias de Ecuador con bajo acceso a agua potable,» 2018. [En línea]. Available: https://www.primicias.ec/noticias/economia/provincias-ecuador-acceso-agua-potable/.

[4] «Información General,» 2022. [En línea]. Available: https://www.gadlloa.gob.ec/informacion-general/.

[5] J. Simões y A. Hernandez, «Fundamentos e aplicações da psicrometria (2da ed.),» 2019. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=xsWwDwAAQBAJ.

[6] A. Gil y J. Olcina, «Tratado de Climatología (5.a ed),» 2017. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=5WcsDwAAQBAJ.

[7] J. Segura, «Termodinámica técnica,» 2021. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=0JAXEAAAQBAJ.

[8] K. Rutledge y M. McDaniel, «Condensation.,» 2022. [En línea]. Available: https://education.nationalgeographic.org/resource/condensation/.

[9] C. Rubio, G. Lizarazo y E. Vera, «Termoelectricidad: Uso de las celdas Peltier en el campo de la refrigeración y sus principales aplicaciones,» 2017. [En línea]. Available: https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inve.

[10] J. Chávez, «Water Generator through Peltier Cells and Solar Energy,» 2019. [En línea]. Available: https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Innovativa/vol3num11/Revista_de_Ingenieria_Innovativa_V3_N11_3.pdf.

[11] C. Martínez, «Potabilización del agua,» 2019. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=-XflDwAAQBAJ.

[12] E. Ávila, « Sistemas de Control,» 2022. [En línea]. Available: http://dea.unsj.edu.ar/cea1/Sistemas.pdf.

[13] G. Sacristán, «Obtención de agua a partir de humedad atmosférica empleando células de efecto Peltier,» 2011. [En línea]. Available: http://hdl.handle.net/10016/13561.

[14] D. Moreno y D. Garcia, «Prototipo Generador de Agua con Celdas de Peltier,» 2016. [En línea]. Available: https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6822/MorenoOrtizDiegoGustavo2017.pdf;jsessionid=71CB6BF51B4E9DC718F99848C64D763A?sequence=.

[15] J. Acosta y W. Reina, «Sistema de supervición y control del prototipo generador de agua a partir de celdas de Peltier,» 2019. [En línea]. Available: http://hdl.handle.net/11349/1559 .

[16] Bricogeek, «Ventiladores 12V,» 2017. [En línea]. Available: https://tienda.bricogeek.com/descatalogado/525-ventilador-8cm-12v.html.

[17] S. Astudillo y M. Aviles, «Elaboración de un filtro cerámico como sistema de purificación de agua para el abastecimiento doméstico,» 2005. [En línea]. Available: http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31665.

[18] P. Aqua, «Filtros de cartuchos,» [En línea]. Available: https://es.pureaqua.com/cartuchos-de-filtros/#:~:text=Los%20filtros%20de%20cartucho%20eliminan%20sustancias%20org%C3%A1nicas%2C%20productos%20qu%C3%ADmicos%2C%20sales,inversa%20y%20desinfecci%C3%B3n%20(UV).. [Último acceso: 2023].

[19] ArchDaily, «Tableros de madera. Diferencias,» [En línea]. Available: https://www.archdaily.mx/mx/926463/tableros-de-madera-diferencias-entre-mdf-mdp-contrachapado-y-osb#:~:text=MDF%20(Medium%20Density%20Fiberboard)&text=Las%20l%C3%A1minas%20de%20MDF%20est%C3%A1n,con%20buen%20acabado%20y%20durabilidad.. [Último acceso: 2023].

[20] MASISA, «MDF Melamina,» 2020. [En línea]. Available: https://production-masisa.s3.amazonaws.com/pim/3/e/8/3/3e833396ca6006e097b016cabf5f875f9d3f774a_2020_Ficha_MDF_MELAMINA.pdf.

[21] J. Group, «Cuidados del MDF melamina,» [En línea]. Available: https://sesyoblitas.wordpress.com/2012/02/14/cuidados-de-muebles-de-melamina/. [Último acceso: 2023].

[22] MakerElectrónico, «Termocupla tipo k + driver max6675,» 2023. [En línea]. Available: https://www.makerelectronico.com/producto/termocupla-tipo-k-driver-max6675/.

[23] A. CC, «Arduino MEga 2560. (s/f).,» 2023. [En línea]. Available: https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3?selectedStore=us.

[24] Naylamp, «Pantalla táctil TFT con Arduino,» 2023. [En línea]. Available: https://naylampmechatronics.com/blog/26_tutorial-pantalla-tft-tactil-con-arduino.html.

[25] UAEH, «Módulo relé,» 2023. [En línea]. Available: http://ceca.uaeh.edu.mx/informatica/oas_final/OA4/mdulo_rel.html.

[26] Kolomiets Natalia, «MDF vs. madera maciza,» 2020. [En línea]. Available: https://roble.store/blogs/blog/mdf-vs-madera-maciza-que-tipo-de-material-para-muebles-es-mejor. [Último acceso: 2023].

[27] C. Jiménez, «Transferencia de calor,» [En línea]. Available: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10176/Trasferencia%20de%20calor.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 2023].

[28] E. MEdrano, «Potencia eléctrica,» 2019. [En línea]. Available: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/b_sahagun/2019/emmg-electricidad-2.pdf. [Último acceso: 2023].

[29] Digykey, «Calculador de vida útil de una batería,» 2023. [En línea]. Available: https://app.bibguru.com/p/2d2ee3b4-950e-4129-8035-88533b0de3c0.

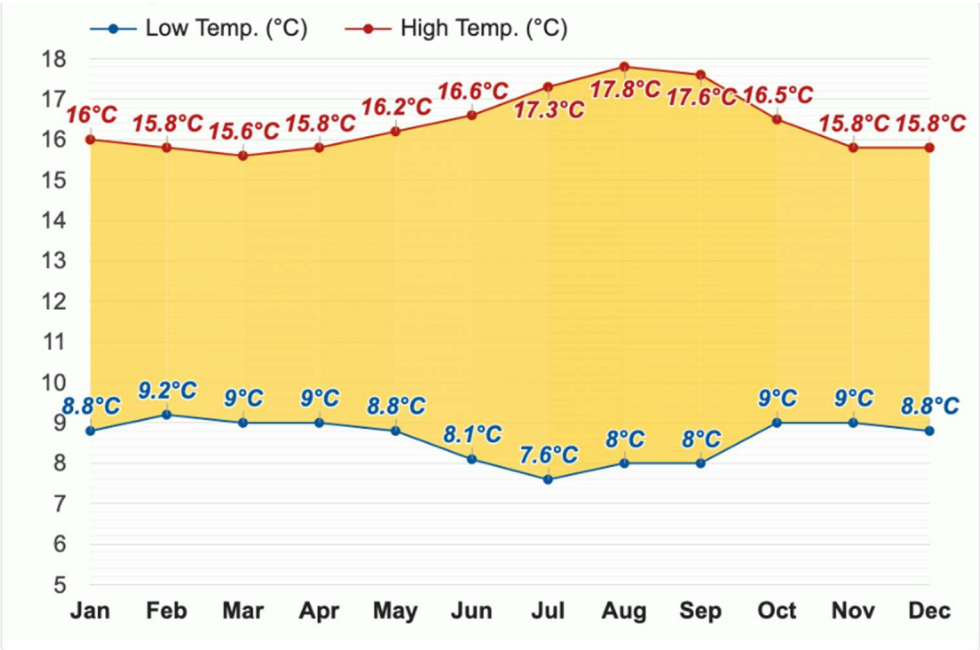
[30] AliExpress, «Batería recargable Lifepo4 12V 500Ah,» [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/1005003462314405.html.

# ANEXOS

## ANEXO I. Ubicación geográfica de la Parroquia de Lloa en la Provincia de Pichincha

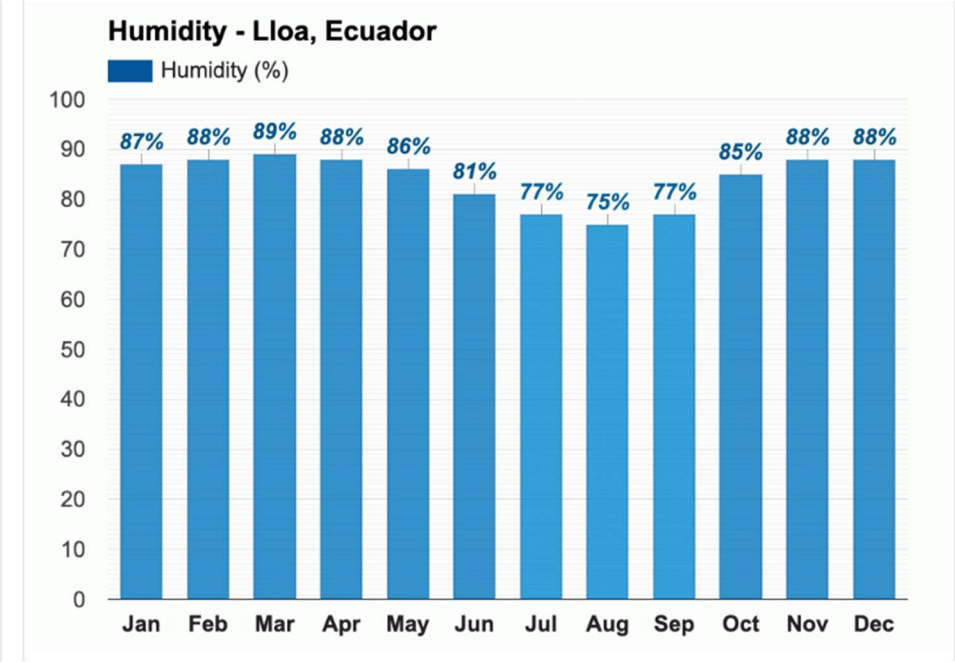
Fuente: GAD de Lloa (2020)

## ANEXO II. Temperatura promedio de la Parroquia de Lloa




Fuente: Weather Atlas, 2023

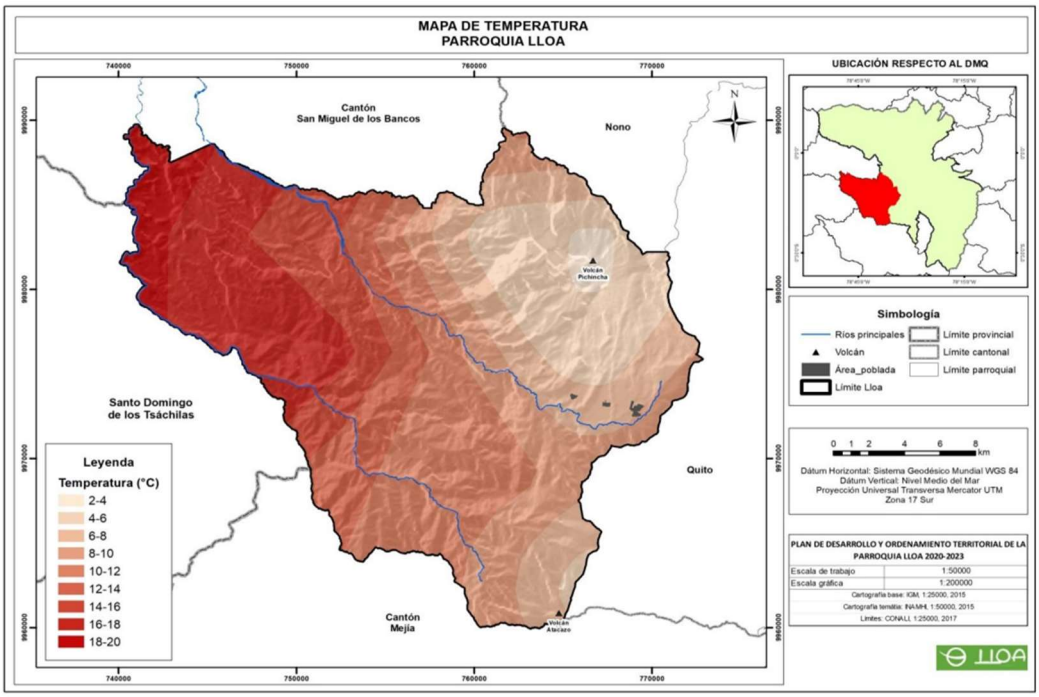
## ANEXO III. Humedad promedio de la Parroquia de Lloa




Fuente: Weather Atlas, 2023

## ANEXO IV. Mapa de temperatura de la Parroquia de LLoa

*Ilustración 5. Mapa de temperaturas*




Fuente: Equipo consultor- Instituto Geográfico Militar – DMQ

## ANEXO V. Plano de diseño del sistema de soporte y distribución de los elementos del mecanismo

SSSS

**ANEXO VI. Código del control ON/OFF del prototipo**

```
/*

CONTROL ENENDIDO Y
APAGADO DE PROTOTIPO
GENERADOR DE AGUA

ANDRANGO MIRANDA
KATHERINE

*/

#include <DHT.h> // librería para
sensor humedad relativa y temperatura
ambiente

 #include <Adafruit_GFX.h>    // Core
graphics library

#include <MCUFRIEND_kbv.h>

#include <TouchScreen.h>

#include <Thermocouple.h>

#include <MAX6675_Thermocouple.h>

//para termocupla

#define SCK_PIN 31

#define CS_PIN 33

#define SO_PIN 35

Thermocouple* thermocouple;

//para sensor dht22

#define DHTPIN 49 //pin de conexión
arduino

#define DHTTYPE DHT22

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);


float umbral=30.00; // temperatura
umbral del disipador

 // pines de actuadores

int celdas=53;

int ventiladores=51;

// Selección de pines TFT Táctil

#define YP A1       // Debe ser un pin
analógico

#define XM A2       // Debe ser un pin
analógico

#define YM 7        // Debe ser un pin
digital

#define XP 6        // Debe ser un pin
digital

#define RES 640     // Resistencia entre
los pines A2 y 6

TouchScreen ts = TouchScreen(XP, YP,
XM, YM, RES);

// Creando variables de color

#define NEGRO     0x0000

#define AZUL      0x001F

#define ROJO      0xF800

#define VERDE     0x07E0

#define CIAN      0x07FF

#define MAGENTA   0xF81F

#define AMARILLO  0xFFE0

#define BLANCO    0xFFFF

#define ORANGE    0x1CB6

//Para Touch

//#define TEST    0x1BF5

#define TS_MINX 940

#define TS_MINY 160

#define TS_MAXX 160

#define TS_MAXY 970
```

```
// Sensibilidad táctil
#define MINPRESSURE 10
#define MAXPRESSURE 1000
#define LCDROTATION 0
// Creando variable para LCD de la TFT
MCUFRIEND_kbv TFT_LCD;
#define BOXSIZE 40
#define PENRADIUS 3
int touch=0;
void setup()
{   Serial.begin(9600); //Iniciar puerto serial a 9600 baudios
  dht.begin(); //para sensor dht22
  //para actuadores
  pinMode(celdas, OUTPUT);
pinMode(ventiladores, OUTPUT);
  //Serial.begin(9600);
  TFT_LCD.reset();                // Reinicia la LCD
  TFT_LCD.begin(0x9488);          // Selecciona la TFT ILI9488 (480 x 320)
  //TFT_LCD.fillScreen(NEGRO);      // Fondo de color del fondo
TFT_LCD.fillRect(0,0,320,480,BLANCO);
  TFT_LCD.setRotation(1);         // Coloca la pantalla de manera horizontal
// blv = EEPROM.read(1);
  TFT_LCD.setTextColor(AZUL);
    // Selecciona el color de las letras
  TFT_LCD.setTextSize(2);    // Configura tamaño de texto
    //TFT_LCD.fillScreen(BLACK);
  TFT_LCD.fillRect(0, 0, 120, 120, VERDE);
  TFT_LCD.fillRect(120, 0, 120, 120, ROJO);
  TFT_LCD.setCursor(8, 45);
// Ubica el cursor
  TFT_LCD.println("ENCENDER");
  TFT_LCD.setTextSize(2);
// Configura tamaño de texto
  TFT_LCD.setCursor(128, 45);
// Ubica el cursor
  TFT_LCD.println("APAGAR");
}
void loop(){
  //para dht22
  delay(2000);
  float humedad = dht.readHumidity();
// lectura de la humedad
  float cel = dht.readTemperature(); // lectura de temperatura en Celsius
  TFT_LCD.setTextColor(AZUL);
  TFT_LCD.setTextSize(2);
  TFT_LCD.setCursor(8, 150);
  TFT_LCD.println("Humedad: ");
  TFT_LCD.setCursor(100, 150);
  TFT_LCD.println(humedad);
  TFT_LCD.setCursor(150, 150);
  TFT_LCD.println("%   ");
    TFT_LCD.setTextColor(AZUL);
  TFT_LCD.setTextSize(2);
  TFT_LCD.setCursor(8, 200);
```

```
  TFT_LCD.println("tamb: ");
  TFT_LCD.setCursor(100, 200);
  TFT_LCD.println(cel);
  TFT_LCD.setCursor(150, 200);
  TFT_LCD.println("*C   ");
//lectura disipador
  const double celsius = thermocouple->readCelsius();
//salida al disipador
  TFT_LCD.setCursor(80, 250);
  TFT_LCD.println("Temp disipador";
  TFT_LCD.setCursor(150, 250);
  TFT_LCD.println(celsius);
  TFT_LCD.setCursor(200, 250);
  TFT_LCD.println("*C   ");
//TSPoint Point = ts.getPoint();
  //para control por touch
if (celsius<=umbral){
  TSPoint p = ts.getPoint();
  pinMode(XM, OUTPUT);
  pinMode(YP, OUTPUT);
  if (p.z > MINPRESSURE && p.z < MAXPRESSURE) {
    p.x = map(p.x, TS_MINX, TS_MAXX, TFT_LCD.width(), 0);
    p.y = map(p.y, TS_MINY, TS_MAXY, TFT_LCD.height(), 0);
   }
if (touch == 1) {
  digitalWrite(celdas, HIGH); //encender actuadores
 digitalWrite(celdas, HIGH); //encender actuadores
    //delay (30000);
  digitalWrite(celdas, LOW); //apagar actuadores
 digitalWrite(celdas, LOW); //apagar actuadores
      delay(20000);
      touch = 0;
    delay(200);
}
if (touch == 2) {
  digitalWrite(celdas, LOW); //apagar actuadores
 digitalWrite(celdas, LOW); //apagar actuadores
   touch = 0;
    delay(200);
  }
if(promedio>umbral){
  digitalWrite(celdas, LOW); //apagar actuadores
 digitalWrite(celdas, LOW); //apagar actuadores
}
}
 //delay(100);//Tiempo de muestreo
 }
```

## ANEXO VII. Manual de operación del prototipo

---

### *MANUAL DE USUARIO*

*El siguiente manual contiene una lista de instrucciones para el correcto funcionamiento y puesta en marcha del prototipo generador de agua "ZEUS". Lea detenidamente las indicaciones.*

*Esquema general del prototipo*

1. Conecte la fuente de alimentación al tomacorriente, la cual está localizada en la sección 4 (compartimento intermedio derecho) del prototipo.
2. Presione el botón de Reset del microcontrolador, éste se encuentra ubicado en la sección 3 (compartimento superior derecho).
3. Espere a que en la pantalla se proyecte la lectura de: temperatura ambiente, humedad relativa y temperatura del disipador.
4. Presione el botón ON de la pantalla. El mecanismo empezará a operar indefinidamente.
5. Si desea suspender el funcionamiento, presione el botón OFF de la pantalla.
6. Si observa que el mecanismo se encuentra apagado sin haber presionado el botón OFF, espere a que el aviso en la pantalla de "Sobrecalentamiento" desaparezca. Esto se debe a que el sistema de generación, ubicado en la sección 1 (superior izquierda) del mueble presentó un sobrecalentamiento y el sistema entró en reposo para enfriarse.

7. Una vez que el aviso haya desaparecido el menú se vuelve a activar. Si desea continuar con el proceso presione ON.
8. Finalmente, para que el mecanismo se encuentre totalmente deshabilitado, después de apagarlo desconecte la fuente de alimentación.
9. Para obtener el agua pura recolectada, abra la puerta de la sección 3 (compartimento inferior izquierdo) y presione la llave del dispensador.
10. La sección 5 (compartimento inferior derecho) está destinada a almacenamiento de herramientas o, previa consulta con el fabricante, incorporar una batería recargable para que el prototipo opere sin necesidad de estar conectado al tomacorriente.
11. En caso de presentar alguna falla en los componentes o en la lectura de los sensores, verifique las conexiones. Si el problema persiste, consulte al fabricante.
12. El prototipo requiere un mantenimiento preventivo mensual.

Elaborado por: Katherine Andrango Miranda

Contacto: kathyandrango08@gmail.com

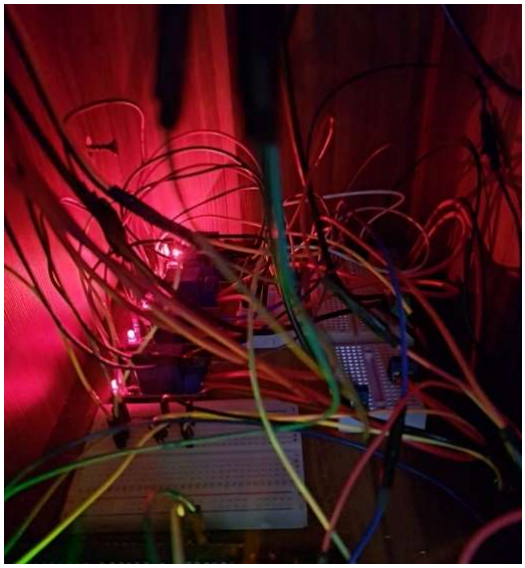
---

## ANEXO VIII. Ficha de mantenimiento preventivo del prototipo

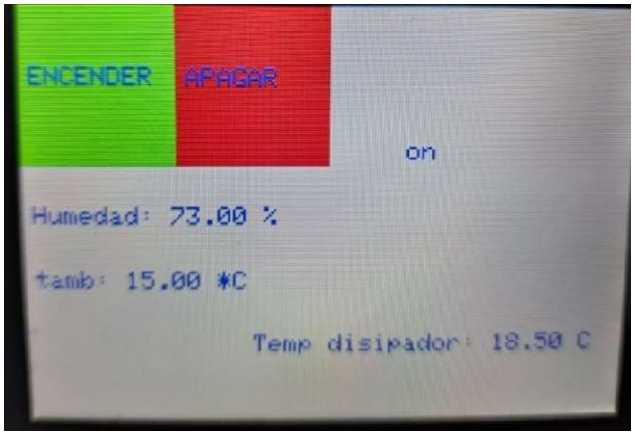
| | FICHA DE MANTENIMIENTO No. 001 | | | | | Fecha: | DD/MM/AA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MÁQUINA: GENERADOR ATMOSFÉRICO DE AGUA | | | | | Responsable: | Nombres y Apellidos |
| | | | | | | Cargo: | |
| Componentes | Codigo | Tipo | Estado | Descripcion | Tiempo (min) | Resultado | Observación |
| Estructura mecánica | MZ001 | M | 0 | INSPECCIÓN DESGASTE RUEDAS | | | |
| | | M | 0 | INSPECCIÓN DE ESTADO DE LA ESTRUCTURA | | | |
| | | M | 0 | COMPROBACIÓN DE LIMPIEZA | | | |
| Sistema purificador | PZ001 | P | 0 | INSPECCIÓN DEL ESTADO DE LOS FILTROS | | | |
| | | P | 0 | VERIFICACION DE FUGAS EN LOS TANQUES | | | |
| | | P | 0 | VERIFICACIÓN DE LIMPIEZA DE LOS TANQUES | | | |
| Componentes electrónicos | EZ001 | E | 0 | VERIFICACION DE CONEXIONES | | | |
| | | E | 1 | VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE LA FUENTE | | | |
| | | E | 1 | VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE RELÉS | | | |
| Sistema de control | CZ001 | E | 1 | VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE MICROCONROLADOR Y HMI | | | |
| | | E | 1 | VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE SENSORES | | | |
| | | E | 1 | VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE CELDAS PELTIER Y VENTILADORES | | | |
| ESPECIFICACIONES: | TIPO; E : ELECTRICA. M: MECANICA. P : PREVENTIVO<br>ESTADO: ENCENDIDO.1: APAGADO.0 | | | | | | |

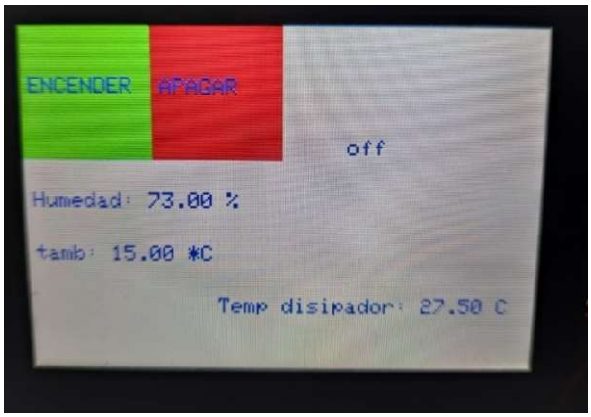
## ANEXO IX. Pruebas de funcionamiento

### Conexiones

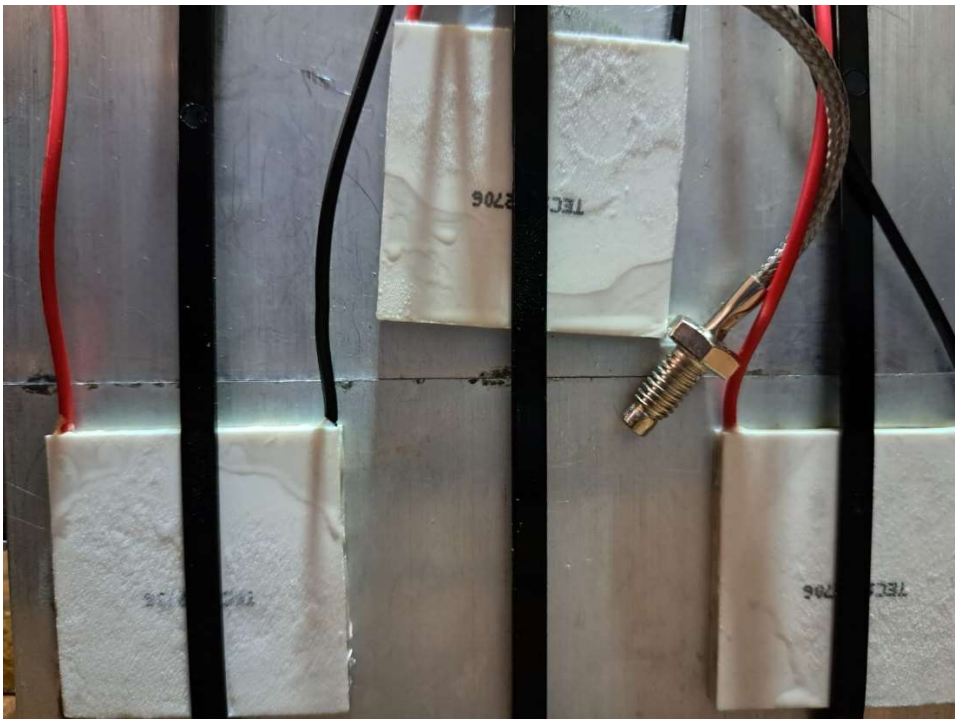


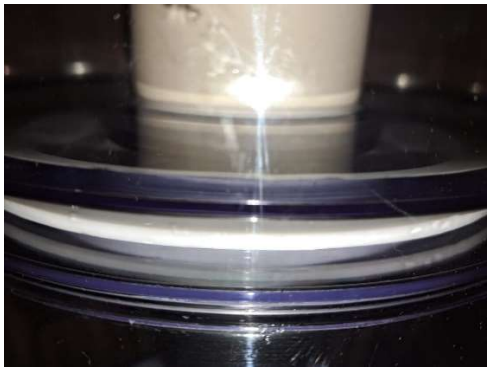
### Pantalla HMI



**Activación de actuadores**



**Toma de muestra parcial y total**

**Agua recolectada**