

Obtención de Agua Mediante Condensación de la Humedad del Aire de la Ciudad de Santa Marta

Autores: Yissier Mosquera -23551728507

Marlon Ramírez Lizcano -23551722347

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.

Tecnología en Mantenimiento Electromecánico Industrial

Sede Santa Marta

maramirez94@uan.edu.co-ymosquera33@uan.edu.co

José Barraza y Eleonora Orta

jobarraza@uan.edu.co

eorta26@uan.edu.co

ABSTRACT-This research assumed as its main objective to create a small-scale mechanism that produced water from the humidity of the air, with this prototype it was sought to mitigate the scarcity of the liquid in some sectors of the city of Santa Marta since the water supply It is not constant and thus contribute to the problem of this population. This process of water collection becomes the basis of the cooling cycle, where its main function is to cool an air stream in the evaporator until it reaches the point temperature. from dew to condensation of air humidity. The results obtained during the research resulted in the collection of 1,186 liters of water at an average ambient temperature of 27 to 30°C at an average relative humidity of 70 to 87% for 15 hours, data that was taken during the tests and with the help of a digital hygrometer with an external sensor.

KEY WORDS: Condensation, dew point, relative humidity, temperature.

RESUMEN – Esta investigación asumió como objetivo principal crear un mecanismo a pequeña escala que permitió captar agua a partir de la humedad del aire, con este prototipo se buscó una alternativa para mitigar la escasez del líquido en algunos sectores de la ciudad de Santa Marta ya que el suministro de agua no es constante y de esta manera contribuir en la problemática a esta población. Este proceso de captación de agua se logró en base al ciclo de refrigeración, donde su función principal fue enfriar una corriente de aire en el evaporador hasta alcanzar la temperatura de punto de rocío hasta condensar la humedad del aire, los resultados obtenidos durante el proceso de investigación dio como resultado la captación de 1,186 litros de agua a una temperatura ambiente

promedio de 27 a 30°C a una humedad relativa promedio del 70 a 87% durante 15 horas, datos que fueron tomados durante las pruebas y con la ayuda de un higrómetro digital con sensor externo.

PALABRAS CLAVE: Condensación, punto rocío, humedad relativa, temperatura.

I. INTRODUCCIÓN

¿Es el agua el recurso más trascendental en la vida de la humanidad? Se puede decir que si debido a que el preciado líquido es utilizado en procesos industriales, agrícolas y domésticos.

El aumento del uso de este recurso ha afectado la distribución y uso irracional ha generado una escasez de agua en diferentes partes del mundo.

Según Biswas, A.K la población mundial se doblará a 10,64 billones para el año 2050, esto involucra que el agua fundamental para el uso doméstico, agrícola, industriales y generación de electricidad se debe aumentar esencialmente también [1].

La escasez de agua es tan grave que Gómez-Duarte indica que según la organización mundial de la salud desde el 2015 solo el 89% de la población mundial tiene acceso a agua apta para el consumo y se anticipa que este porcentaje continuará disminuyendo, aunque se estima que la situación ya es crítica para 260 millones de personas que carecen de agua apta para el consumo [1].

En relación con la escasez de agua y el aumento de la población mundial es pertinente buscar alternativas para la obtención del agua. Una de estas opciones se puede hallar en la humedad en el aire.

Beysens y Milimouk afirman: La atmosfera sujeta 12.900 km³ de agua dulce, por lo que 98% es vapor de agua y 2% de agua condensada (nubes), comparable a los recursos renovables de agua líquida dulce de la tierra habitada [2].

El sistema de condensación que se utilizó en esta investigación, es un dispositivo que extrae agua de la humedad del aire. La humedad del aire es condensada por un sistema de refrigeración que induce una temperatura de punto rocío, compuesto por: compresor, condensador, evaporador y tubo capilar.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos años, muchos sectores de la comunidad samaria han sido afectados con la escasez del líquido. Por esta razón las quejas por la prestación del servicio han ido en aumento, a esto se suman otros inconvenientes por el mal estado en que llega el agua por las tuberías de las casas. Por otra parte, los usuarios dan a conocer por distintos canales informativos las condiciones turbias del agua, que por ende no se pueden utilizar para tomar, cocinar o bañarse dado que pueden adquirir afectaciones en la salud (figura 1 y 2).



Figura 1: Protestas por la escasez de agua en santa marta [3].



Figura 2: Carro tanques suministran agua en diferentes zonas [5].

Para muchos habitantes en santa marta es un lujo tener de manera frecuente el líquido, según el sistema único de información de servicios públicos (SUIC) revela

sorprendentes estadísticas donde solo el 19.7% de 213.092 predios tiene cobertura a la red, es decir solo 42.082 predios. [4]

Por este motivo la población samaria asegura que no reciben el servicio constante y las pocas veces que se recibe llega en condiciones inadecuadas, gran parte del personal calificado para esta labor afirma que el recurso hídrico llega en mala coloración ya que el sistema de distribución del agua está en mal estado y necesita un mantenimiento a fondo [5].

A. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta la información anterior, la investigación tuvo como objetivo, responder la siguiente pregunta: ¿Es posible la obtención de agua mediante condensación de la humedad del aire de la ciudad de Santa Marta?

III. JUSTIFICACIÓN

Ante múltiples episodios de escasez de agua, muchos de ellos en situación crítica, han llamado la atención de diferentes medios y que han propiciado la preocupación de tener la necesidad de crear nuevas alternativas para el suministro del preciado líquido. Por este motivo la obtención de agua mediante condensación de la humedad del aire se plantea como una de las mejores alternativas. Debido a los siguientes puntos de vista:

➤ Punto de vista Social:

Teniendo en cuenta la mala distribución y calidad en la ciudad de Santa Marta, se podría ofrecer agua sin ninguna contaminación en zonas donde el recurso es escaso.

➤ Punto de vista Práctico:

Con este proyecto no solo se busca encontrar una fuente no convencional de agua aprovechando un recurso renovable como el aire. También, suministrar suficiente agua para las necesidades domésticas del hogar.

➤ Punto de vista Teórico:

La investigación busca aportar una guía para el diseño, implementación y condiciones para que la condensación sea la mayor posible. También, proveer un punto de partida en investigaciones futuras que se hagan en la ciudad de Santa Marta.

➤ Punto de vista Metodológico:

El proyecto siguió pasos concretos para llegar a condensar agua de la humedad del aire. De manera simple de ser ejecutados y se pueda implementar donde también el preciado recurso escasee.

IV. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Obtener agua mediante la condensación de la humedad del aire de la ciudad de Santa Marta.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el funcionamiento de los sistemas de recolección y condensación de la humedad del aire.
- Seleccionar el sistema más económico y eficiente para condensar la humedad del aire de la ciudad de Santa Marta.
- Elaborar el sistema de proceso de recolección y condensación del aire.
- Evaluar la humedad relativa y temperatura con respecto a la producción de agua del prototipo.
- Analizar el costo beneficio del proyecto.

V. ALCANCE

Con el estudio se logró la construcción de un prototipo para captar agua mediante la humedad del aire en Santa Marta utilizando un sistema de refrigeración que aprovechó las condiciones favorables de la ciudad como la temperatura y humedad relativa.

VI. LIMITACIONES

La investigación presentó las siguientes limitaciones:

- Alto costo de los elementos del prototipo.
- Presupuesto limitado para hacer pruebas con diferentes sistemas de condensación de humedad del aire.
- Disponibilidad de los elementos principales a las dimensiones requeridas.
- Condiciones meteorológicas que no permitieron que el prototipo opere de la manera más eficiente.

VIII. MARCO TEORICO

En esta sección del artículo se analizó de manera detallada los conceptos y maquinas necesarias para realizar la investigación.

A. *Psicrometría*: Es una rama de la termodinámica, que estudia las mezclas de aire y vapor de agua. Es decir, las propiedades físicas y termodinámicas de la atmosfera. Por lo general, las aplicaciones se relacionan al aire húmedo como una mezcla de aire seco y vapor de agua [4], en el diagrama psicrométrico en el eje de las "x" la temperatura y en el eje de las "y" la humedad absoluta,

al seguir unas parábolas se obtiene la humedad relativa (figura 3).

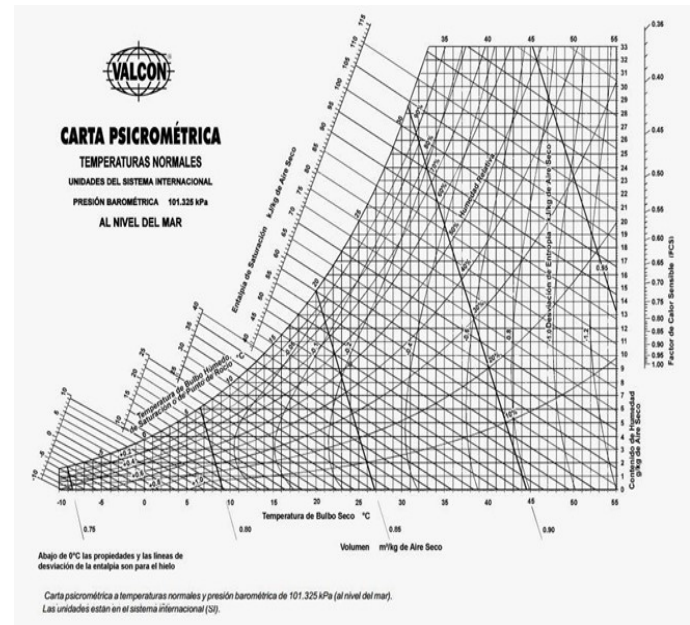


Figura 3: Temperatura vs Factor de calor.

B. *Composición del aire*: El aire es una mixtura por nitrógeno, oxígeno y argón. Los demás gases se encuentran los gases de efecto invernadero, vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozono, entre otros. A continuación, se muestra una descripción grafica de la distribución de la composición del aire [5] (figura 4 y 5).



Figura 4: Composición del aire.

Gas	Volumen (%)
Nitrógeno	78,084
Oxígeno	20,946
Argón	0,9340
Dióxido de carbono	0,035
Neón	0,001818
Helio	0,000524
Metano	0,000179
Kriptón	0,000114
Hidrógeno	0,000055
Óxido nítrico	0,00003
Monóxido de carbono	0,00001
Xenón	0,000009
Ozono	0 a 7×10^{-6}
Dióxido de nitrógeno	0,000002
Yodo	0,000001
Amoniaco	0,0003
Si el aire no es seco contiene Vapor de agua	0,40 % en capas altas de la atmósfera y de 1 a 4 % en la superficie.

Figura 5: Composición aire en la atmosfera.

C. *Vapor de agua*: Es un gas que se adquiere por evaporación o ebullición del agua líquida. También, es el encargado de la humedad ambiental. En ciertos escenarios, a alta concentración, parte del agua que está en forma de vapor se condensa formando gotas de agua líquida en suspensión [6]. A continuación, se encuentran los gases presentes en el vapor de agua (tabla 1).

Composición del vapor de agua			
Sustancia	Átomos	Masa Atómica	Masa Molecular
Hidrogeno (H ₂)	2	1.00794	2.01588
Oxigeno (O)	1	15.9994	15.99940
Total			18.01528

Tabla 1: Composición del vapor del agua.

D. *Transferencia de calor*: Se origina siempre que concurre un gradiente térmico o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se colocan en unión. Cuando existe una discrepancia de temperatura entre dos objetos o regiones lo bastante próximas, la transferencia de calor no logra ser inconclusa, solo puede hacerse más pausada [7].

E. *Temperatura*: La temperatura se refiere a la cantidad de calor que se puede medir con un termómetro. En física, se define como una cantidad escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de termodinámica. Más

específicamente, está directamente relacionado con lo que se llama energía cinética en la energía interna. La energía cinética es la energía relacionada con el movimiento de las partículas del sistema, ya sea traslación, rotación o vibración. A medida que aumenta la energía cinética del sistema, se puede observar que está "más caliente". En otras palabras, su temperatura es más alta. [8].

La termo física es un método de prueba de temperatura, transferencia de energía y conversión. La temperatura es la fase relativa del medio ambiente, fluido o material en relación con el número de modos específicos de los humanos (la cantidad comparativa de uno de los estados físicos). A través de la práctica, los términos "calor" o "temperatura" se determinan arbitrariamente para informar la sensación de calor o frío detectado por el contacto. El calor es la transferencia de energía entre diferentes entidades o diferentes áreas de la misma entidad. [9].

F. *Diferencia entre calor y temperatura*: A continuación, se mencionarán unas de las principales diferencias [8] [7]:

- Las temperaturas más elevadas asumen parte cuando las moléculas se sacuden con energía superior.
- El calor es lo que produce que la temperatura crezca o reduzca.
- El calor es la energía total del movimiento molecular en un organismo.
- La temperatura es la medida de dicha energía.
- La temperatura no se somete al tamaño, ni del número ni del tipo.
- La temperatura arquea el nivel térmico de un organismo, mientras el calor calcula la suma de energía cedida o captada por ese cuerpo. Para medir la temperatura se manejan termómetros, los cuales consiguen manifestar el valor en dos escalas Centígrados y Fahrenheit.

G. *Presión atmosférica*: Este es un aumento en la presión del aire seco y la presión del vapor de agua, donde la presión del vapor de agua depende del número de moléculas presentes en el volumen final y, por lo tanto, de la masa por unidad de vapor de agua. Unidad de volumen, cambia con la temperatura [10].

Este parámetro se mide en milímetro de mercurio (mm de Hg) o en milibares (mb).

$$1\text{mb}=0.75 \text{ mm de Hg}$$

La presión de vapor de agua (tensión) más alta observada en áreas tropicales cerca de la superficie del mar es de aproximadamente 30 mbar. El equipo utilizado para los cálculos es el espectrómetro de masas

y el radioisótopo, que es el equipo que inicia los cálculos más precisos.

- H. Humedad absoluta (H_a):** Son los gramos de vapor de agua contenidos en metros cúbicos de aire a una determinada temperatura y presión. Bajo la presión y temperatura especificadas, expresadas en gramos de vapor de agua en metros cúbicos de aire [4].

$$H_a = 216 * e/T(\text{g/m}^3)$$

Ecuación 1: humedad absoluta

e = Presión de vapor en Hpa.
 T = Temperatura del aire en °K.

- I. Humedad relativa del aire (HR):** Es el cociente entre la fracción molar de vapor de agua en ese estado y la saturación de la fracción molar de la muestra a esa temperatura, como lo expresó Velázquez Martí. En otras palabras, es la relación entre la cantidad real de vapor de agua y la cantidad de vapor de agua requerida para la saturación a la misma temperatura. La humedad relativa depende de la temperatura [4].

$$\% HR = \frac{e}{e_s} \times 100$$

Ecuación 2: Ecuación para hallar Humedad Relativa.

Donde:

HR = Humedad Relativa.

e = Presión de vapor de agua.

e_s =Presión de saturación de vapor de agua (hPa)

Si se conocen estas dos dimensiones de humedad relativa y temperatura ambiente (bulbo seco), se puede determinar la temperatura del punto de rocío. Al Aplicar la fórmula Magnus para calcular la presión de saturación del vapor de agua [11].

- J. Presión de saturación de vapor de agua:**

Para el intervalo de -45...+ 60 °C ($U < 0,6\%L$)

$$e_s(t) = \exp \left(\ln(611.2) + \left(\frac{17.62 \times t}{243.12 + t} \right) \right)$$

Ecuación 3: Presión de saturación de vapor de agua (Pa)
 Temperatura ambiente o de bulbo seco (°C)

Para el intervalo de -65...+0,01 °C ($U < 1\%L$)

$$e_s(t) = \exp \left(\ln(611.2) + \left(\frac{22.46 \times t}{272.12 + t} \right) \right)$$

Ecuación 4: Presión de saturación de vapor de agua (Pa)

Temperatura ambiente o de bulbo seco (°C)

En el cual:

e_s = Presión de saturación de vapor de agua (Pa)

t = Temperatura ambiente o de bulbo seco (°C)

Asumiendo la presión de saturación de vapor a temperatura ambiente, despejamos de la fórmula para adquirir la presión parcial de vapor de agua partir de la humedad relativa obteniendo [12]:

$$e = \frac{\%HR}{100} \times e_s(t)$$

Ecuación 5: Presión de vapor en Hpa

- K. Humedad vs temperatura:**

A presión constante (1ATM)

A una “T” dada, el aire puede sujetar vapor de agua hasta la saturación (condensación)

Si “t” amplía más vapor de agua para saturación.

Si “T” reduce menos vapor de agua para saturación.

$HR = e/e_s (100)$ = Presión de vapor actual/presión de vapor a saturación.

Para medir la humedad relativa del aire se manejó el higrómetro y los psicrómetros, equipos útiles en distintos tipos.

- L. Condensación:** El vapor de aire que se condensa naturalmente en superficies frías se llama rocío. Solo cuando la temperatura del vapor de agua es inferior a la temperatura del vapor de agua, o cuando se ha excedido el equilibrio del vapor de agua en el aire (es decir, la humedad de condensación), el vapor de agua se condensará en otra área. Es considerado como el cambio de estado gaseoso a estado líquido. En la investigación se aprovechó la humedad del aire. Lo cual se llevó a cabo cuando la humedad del aire este por debajo del punto rocío [13].

- M. Punto de Rocío:** Se refiere a la temperatura a la cual el vapor de agua en una muestra de gas se condensa a un valor de presión, llamado temperatura de punto de rocío (o escarcha), y su valor depende de la presión del aire. El aumento de la presión del aire aumenta el valor de la temperatura del punto de rocío. Para una muestra de gas con una temperatura de punto de rocío de 0 ° C y una presión de 70 kPa, cuando la presión se incrementa a 80

kPa, la temperatura del punto de rocío aumentará a 1,85 ° C. El punto de rocío es el valor al que debe bajar la temperatura del aire para que el vapor de agua existente comience a condensarse. El punto de rocío se calcula utilizando directamente los datos de temperatura y humedad relativa coexistentes en un momento dado [14].

- N. Refrigeración:** Se refiere al procedimiento en disminuir o sostener el nivel de calor de un cuerpo o espacio. Además, este procedimiento se aplica cuando se quiere reducir el nivel térmico del objeto [15]. En este caso, es requerido con la humedad del aire de la ciudad de Santa Marta.
- O. Ciclo de Carnot inverso:** Es completamente reversible, por lo que los cuatro procesos que componen el ciclo pueden invertirse. El resultado es un ciclo que funciona en sentido antihorario, llamado ciclo de inversión de Carnot. El equipo que funciona en este ciclo se llama refrigerador [16].

Se componen de cuatro procesos (figura 6):

- 1-2 El calor absorbido por el refrigerante a baja temperatura T_b es Q_b .
- 2-3 Compresión isentrópica al estado 3 (La temperatura sube a T_a)
- . 3-4 Q_A cantidad de energía térmica que se repele isotérmicamente a alta temperatura T_a .
- 4-1 isoentrópicamente se expande al estado 1 (la temperatura baja a T_b)

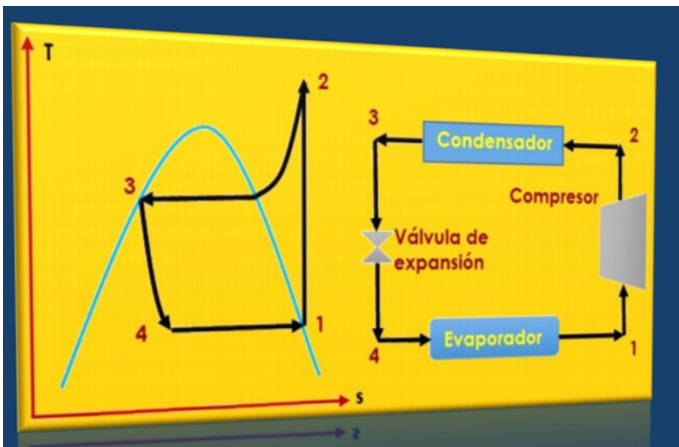


Figura 6: Ciclo de Carnot Inverso.

- P. Evaporador:** Componente que cumple la función de extraer el calor de la corriente de aire logrando que se enfríe, donde el flujo de refrigerante se evapora absorbiendo calor. Refrigerante: Absorbe el calor de la maquina y evita el sobrecalentamiento, también puede

operar en temperaturas muy bajas impidiendo así el congelamiento de las partes mecánicas.



Figura 7: Evaporador de cobre.

- Q. Condensador:** Es un tubo ondulante o serpentín que elimina el calor tanto del evaporador como del compresor el refrigerante fluye a través de este, se refrigera y condensa, y posteriormente cambia de fase pasando de estado gaseoso a líquido.



Figura 8: Condensador.

- R. Tubo capilar:** Este elemento generalmente de cobre, funciona como válvula de expansión donde reduce un fluido de alta presión y temperatura a una de menor presión y temperatura dirigida al evaporador.



Figura 9: Tubo capilar con filtro.

- S. *Compresor*: Es una máquina que enaltece la presión de un fluido o gas refrigerante comprimidos por el trabajo generado por el compresor, por medio de un cambio de energía entre la maquina y el fluido.



Figura 10: Compresor 1/8 HP.

- T. *Ventilador*: Es un dispositivo conformado principalmente por aspas que giran para cumplir con el objetivo de dispersar el aire para regular una temperatura.



Figura 11: Ventilador utilizado en el prototipo.

- U. *Contactador*: Siendo este un dispositivo eléctrico conformado por una bobina y unos contactos abiertos o cerrados, en este prototipo es utilizado para el ciclo de congelamiento y descongelamiento en conjunto de un

temporizador para cumplir con el goteo que permite la acumulación de agua.



Figura 12: Contactador

- V. *Temporizador*: También conocido como “timer”, tiene como función abrir y cerrar un circuito eléctrico automáticamente y durante un tiempo establecido, es decir que permite programar el encendido y apagado de este prototipo de forma sencilla.



Figura 13: Temporizador Analógico.

VII. MARCO METODOLOGICO

A. Tipo de Investigación

El proyecto fue descriptivo debido a que indagamos las especificaciones de las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. En la investigación se analizó diferentes variables como la humedad relativa y temperatura con el objetivo de hallar el momento donde el prototipo es más eficiente [5].

Es importante destacar que el proyecto fue de campo. Ya que este tipo de investigación incluyó información recolectada y datos directamente en el lugar de estudio. Por ende, la investigación tuvo como objetivo observar el

comportamiento del prototipo en las condiciones de humedad que se presentan en la ciudad de Santa Marta [5].

B. Nivel de la investigación

La investigación consistió en recolectar información de observación directa (temperatura y humedad relativa) y bibliotecas en línea como Google académico. Primero, se recolectó la temperatura y humedad relativa de la ciudad de Santa Marta con la ayuda de un Termohigrómetro digital con sensor externo del 15 de abril al 18 de mayo del 2020. Luego, con la ayuda del prototipo se aplicaron las pruebas de recolección del agua y de esta manera se determinó en qué momento del día, el prototipo produce la mayor cantidad de agua posible. De igual manera, la información acerca de los sistemas de condensación de la humedad del aire se obtuvo gracias a los antecedentes encontrados en Google académico.

De tal manera que los datos recolectados se utilizó un instrumento de medición electrónico como el Termohigrómetro digital (temperatura y humedad relativa) y el agua producida por el prototipo fue cuantificada y luego analizada por los investigadores para sacar conclusiones al respecto. Luego, los datos fueron codificados en una matriz (Excel) transfiriendo los datos registrados por las pruebas realizadas con el prototipo y el Termohigrómetro. Se siguió el modelo de codificación con un programa de análisis estadístico (en este caso Excel) [19].

C. Diseño de la investigación

Se ejecutaron las siguientes acciones para llevar a cabo los objetivos específicos de la investigación y así cumplir el objetivo general:

- Se describió el funcionamiento de los sistemas de recolección y condensación de la humedad del aire, con la ayuda de investigaciones previas que implementaron uno o dos sistemas de condensación de la humedad del aire.
- Se seleccionó el sistema más económico y eficiente para condensar la humedad del aire de la ciudad de Santa Marta, al comparar los resultados de los antecedentes previos como: agua producida, costo de producción y condiciones climatológicas (humedad relativa y temperatura) y kW consumido por hora.
- Se seleccionó los elementos necesarios para construir el dispositivo y se diseñó el sistema con base a las conclusiones y recomendaciones de los antecedentes.

- Análisis de la humedad relativa y temperatura con respecto a la producción de agua, se ejecutó al registrar los datos en las tablas y representarlos en una gráfica de línea con las tres variables más relevantes mencionadas anteriormente.

- Análisis del costo beneficio del proyecto, se realizó de cuadro del presupuesto de todos los recursos comprados para la construcción del prototipo, análisis de los costos de producción de agua y comparación de valor de agua comercial con respecto al agua producida por el prototipo.

D. Población

Dado que el estudio tuvo como objetivo captar la humedad del aire por medio de un sistema de refrigeración, este prototipo fue dirigido especialmente a los sectores rurales y urbanos con problemas en el suministro del líquido en la ciudad de Santa Marta, debido a que esta población sufre constantemente la escasez de agua. En Santa Marta el 24% de las viviendas carecen de alcantarillado y el 81% está sin acueducto [3].

E. Normativa legal vigente

Según el Numeral 11 del artículo 189 de la constitución política y, en desarrollo de las leyes 09 de 1979 y 142 de 1994.

Decreto 475 de 1998 (marzo 10) Ministerio de salud pública, el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.

A. Agua cruda: Es aquella que no ha sido sometida a asunto de tratamiento [17].

B. Agua segura: Es aquella que sin efectuar algunas de las normas de potabilidad definidas en el decreto 475 de 1995, puede ser consumida sin peligro para la salud humana [17].

C. Calidad del agua: Es el conjunto de particularidades organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas ajustadas del agua [17].

D. Características expresadas en valor admisible: Los criterios organolépticos y físicos de la calidad del agua potable son los sucesivos [17]:

Color Verdadero Unidades de Platino Cobalto (UPC) ≤ 15

OLOR Y SABOR Aceptable

Turbiedad Unidades nefelométricas de turbidez (UNT) ≤ 5

Sólidos Totales mg/L ≤ 500

Conductividad micromhos/cm 50 - 1000

Sustancias Flotantes Ausentes

E. Características expresadas como valor admisible mg/L:
Los criterios químicos de la calidad del agua potable son los siguientes [17]:

Aluminio Al 0.2

Antimonio Sb 0.005

Arsénico As 0.01

Bario Ba 0.5

Boro B 0.3

Cadmio Cd 0.003

Cianuro libre y disociable CN- 0.05

Cianuro total CN- 0.1

Cloroformo CHCl₃ (3) 0.03

IX. UBICACIÓN DENTRO DE LAS LÍNEAS DE TRABAJO DEL PROGRAMA.

El proyecto se realizó dentro de las líneas de trabajo del programa FIMEB, el cual está enmarcado al tema de sistemas Electromecánicos.

X. USUARIOS DIRECTOS Y FORMAS DE UTILIZACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO

Los usuarios inmediatos que se pueden beneficiar del estudio, primero: Estudiantes a cargo de la investigación ya que aplicaran conocimientos adquiridos durante la carrera tecnológica de mantenimiento electromecánico industrial, igualmente los estudiantes van adquirir nuevo conocimiento y habilidades, a causa de la dificultad del proyecto. Por otra parte, la universidad Antonio Nariño podrá sacar provecho del dispositivo, si los resultados del estudio son favorables.

XI. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

A. Descripción de funcionamiento de los sistemas de recolección y condensación de la humedad del aire.

El objetivo principal de esta sección es mencionar los diferentes sistemas que pueden ser utilizados para condensar la humedad del aire, al igual que sus características principales. Los sistemas mencionados a continuación son los dos más conocidos para condensar la humedad del aire.

Primero, Las celdas Peltier es un dispositivo termoeléctrico semiconductor donde aparece una diferencia de temperatura entre sus caras, es decir una de sus caras se calienta y la otra se enfría. En el caso de este proyecto se utilizó para enfriar la humedad del aire y la condensación ocurra. Las cualidades de las celdas Peltier pueden contribuir en diferentes aspectos como: potencia de enfriamiento, amigable con el planeta, costo bajo, no necesita refrigerantes. Pero de otro lado, tiene algunas dificultades como: su eficiencia en baja, su consumo en amperios es elevado [18] (Figura 14 y 15)



Figura 14: Célula de efecto Peltier.

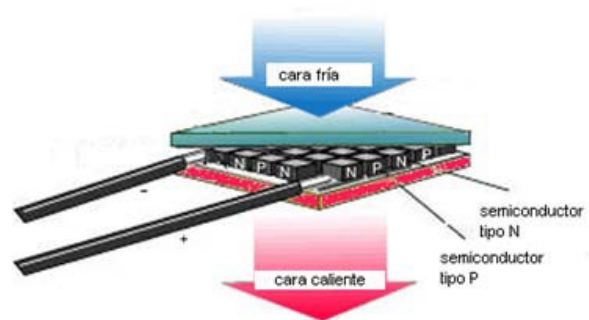


Figura 15: Esquema de las partes de la celda Peltier.

Del otro lado, está la generación de condensación utilizando un sistema de refrigeración el cual opera con el ciclo de Carnot inverso. Este ciclo se compone de cuatro etapas. El proceso pasa por cuatro elementos como: compresor, condensador, filtro deshidratador y evaporador. El compresor se encarga de transportar el refrigerante por todo el sistema a alta presión y temperatura, el cual se dirige al condensador en estado líquido. Luego, pasa por el filtro deshidratador el cual recoge la humedad o impurezas que haya en el sistema de refrigeración. Posteriormente, en el

evaporador se condensa la humedad del aire en forma de escarcha y de hielo.

Dentro del funcionamiento del prototipo de refrigeración se resaltó la importancia de las diferentes partes fundamentales que componen el ciclo de refrigeración que permitió la captación y condensación del agua.

Empezando por la acción del compresor que por medio de su trabajo mecánico mantuvo la circulación del refrigerante a presiones favorables, saliendo hacia el condensador donde este se refrigera y condensa, es decir cambia de fase pasando de estado gaseoso a líquido, este refrigerante siguió fluyendo hacia el evaporador donde su función fue la de extraer calor y posteriormente presentar un estado de temperatura que accedió a alcanzar el punto de rocío, donde logramos finalmente captar y almacenar el vapor de agua (figura 16).



Figura 16: Partes principales del sistema de refrigeración por compresión de vapor.

B. Selección del sistema más económico y eficiente para condensar la humedad del aire de la ciudad de Santa Marta.

Basado en los resultados de investigaciones anteriores se escogió el sistema para realizar este proyecto. Camargo González, C. A., & Barinas Perdomo, B. E realizaron un prototipo utilizando celdas de Peltier y otro con un sistema de refrigeración. Se hizo una comparación los resultados de diferentes antecedentes entre generación de condensación con celdas Peltier y generación de condensación utilizando un sistema de refrigeración Esta investigación concluye que el sistema de refrigeración es el más eficiente relacionado

con la producción de agua mediante la humedad del aire. En cuanto al consumo de corriente, las celdas de Peltier y el sistema de refrigeración son similares [19].

Como se observa en la tabla 2, se contrastó el consumo frente a la producción el sistema no es muy eficiente. Además, se nota que las pruebas no podían durar más de 30 minutos por que después de este lapso de tiempo el disipador empezaba a calentarse y por tanto las celdas también produciendo esto que el agua en la celda se evaporara. Las celdas se distribuyeron como se muestra en la siguiente (figura 17) [19].

Día	Voltaje	Corriente	Humedad	Temperatura ambiente	Tiempo de Prueba	ml agua
1	12.3v	9A	62%-55%	19.1°C	30min	2.5
	11.5v	8.5A	60%-55%	18°C	30min	2.3
2	12.5v	9A	58%-55%	17.1°C	30min	3.0
	11.8v	8.7A	57%-55%	17.5°C	30min	2.6
3	12.0v	8.9 A	65%-62%	18.5 °C	30 min	2.9
	11.6v	8.7 A	62%-58%	17.8 °C	30 min	2.7
	10.5v	8.5 A	58%-55%	16.91°C	30 min	2.5
4	12.5v	9 A	66%-62%	17.8°C	30 min	3.0
	11.5v	8.7 A	62%-58%	18.6°C	30 min	2.6
	10.7v	8.4 A	58%-53%	17.8°C	30 min	2.4

Tabla 2: Datos obtenidos con celdas de Peltier por [19].



Figura 17: Condensación en Celdas Peltier.

Luego Camargo Gonzalez, C. A., & Barinas Perdomo, B. E construyo un sistema de refrigeración utilizando un compresor, evaporador, condensador y válvula (figura 18 y 19).



Figura 18: Unidad de refrigeración utilizado por Camargo Gonzalez, C. A., & Barinas Perdomo, B. E.



Figura 19: Sistema completo del sistema de condensación por refrigeración.

La siguiente tabla muestra los resultados de la condensación con la utilización del sistema de refrigeración mencionado, se puede observar que la producción de agua con respecto a las Celdas de Peltier es mayor (tabla 3).

Día	Voltaje AC	Corriente	Humedad	Temperatura ambiente	Tiempo de Prueba	ml agua
1	119.0 v	1.1A	65%-60%	17.5°C	30min	19
	119.0v	1.2A	65%-61%	18.2°C	30min	20

Tabla 3: Resultados de condensación de agua utilizando sistema de condensación.

Los resultados fueron los siguientes (Tabla 2):

Tabla 2: Datos obtenidos de funcionamiento por sistema de refrigeración.

De esta prueba se concluyó que la cantidad de agua que se pudo obtener agua en un tiempo muy corto. Es casi la mitad de la que genera el sistema de Celdas de Peltier [19].

Comparación entre los dos sistemas de condensación						
Prototipo	Voltaje	Corriente	Humedad	Temperatura ambiente	Temperatura Mínima	Agua obtenida
Celdas de Peltier	12.5V	9:00 a. m.	55%	17°C-19°C	0°C	2ml
Refrigeración.	11.6V	1.2 A	53%	17°C-19°C	-17°C	18ml

Tabla 4: Resultados promedios de las pruebas a los sistemas implementados por Camargo Gonzalez, C. A., & Barinas Perdomo, B. E.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, en esta investigación se utilizó el sistema de refrigeración para condensar la humedad del aire de la ciudad de Santa Marta.

C. Elaboración del sistema de proceso de recolección y condensación del aire.

Para la elaboración del sistema de recolección y condensación de la humedad del aire. El prototipo consto de: 1) Compresor 115V, 60Hz, 1/8 hp, 2) Condensador, 3) Filtro deshidratador, 4) Evaporador, 5) Ventilador, 6) Sistema de control (contactor, temporizador), 7) Colector de agua, 8) Refrigerante R22.

Técnicamente se seleccionaron estos equipos por diferentes características relacionadas a la construcción del mejor prototipo a menor escala, donde se tuvo en cuenta las siguientes variables: la fácil implementación, menores costos, compatibilidad en el funcionamiento de todos los elementos en marcha, asumiendo su operatividad al nivel deseado que permitió condensar y almacenar el vapor de aire, estos factores tuvieron una gran influencia al momento de seleccionar el sistema de condensación a diferencia del evaporador, donde se realizó un diseño y no una selección de alguno de tipo comercial, dado que tiene un uso específico y particular, por tanto que no solo elimina el calor de una corriente de aire sino que también condensa agua. Por lo que tuvo un diseño que admitió su recogida y maximización de su producción, y de esta manera sacaremos la mayor cantidad de agua obtenida bajo la humedad determinada en la ciudad de santa marta.

Primero, se construyó la estructura donde se iba a implementar el prototipo, se utilizaron cuatro ángulos de 3/4, los cuales se cortaron y se soldaron para poder armar la estructura. Posteriormente, se pintó (figura 21):



Figura 21: Estructura del prototipo.

Segundo, como se observa en la siguiente figura, el compresor, condensador, ventilador del condensador y tubo capilar, se ubicaron en la parte inferior de la estructura, luego se hizo una conexión de tubería de cobre hacia la parte superior de la estructura para poder conectar el evaporador con el compresor y condensador (figura 22).



Figura 22: Instalación del compresor y condensador.

Tercero, se hizo el evaporador con tubería 3/8 de cobre y posteriormente se conectó compresor y condensador con evaporador. El evaporador se ubicó en la parte superior de condensador y compresor (figura 23).



Figura 23: Prototipo con evaporador.

Cuarto, Cuando se cerró el ciclo de refrigeración, se ingresó el refrigerante R22, el cual ayuda para que el sistema pueda cumplir su funcionamiento normal. El evaporador trabajo de la mejor manera (figura 24).

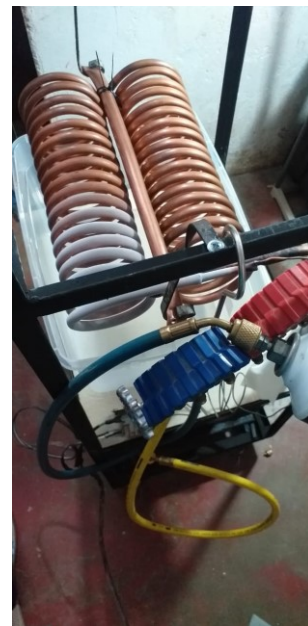


Figura 24: Probando el evaporador.

El sistema de refrigeración funciono de la mejor manera, en las siguientes figuras, se puede observar como el prototipo puede condensar la humedad del aire (figura 25 y 26).



Figura 25: Evaporador en completo funcionamiento.



Figura 26: Evaporador con escarcha.

Luego, se elaboro el sistema de control del prototipo con la ayuda de un contactor, temporizador e interruptor. El temporizador en programado por el tiempo deseado por el usuario 20 minutos, 40 minutos o incluso 1 hora, entre otros. Una vez que el tiempo se cumple, se enciende un ventilador para poder descongelar el evaporador (figura 27).

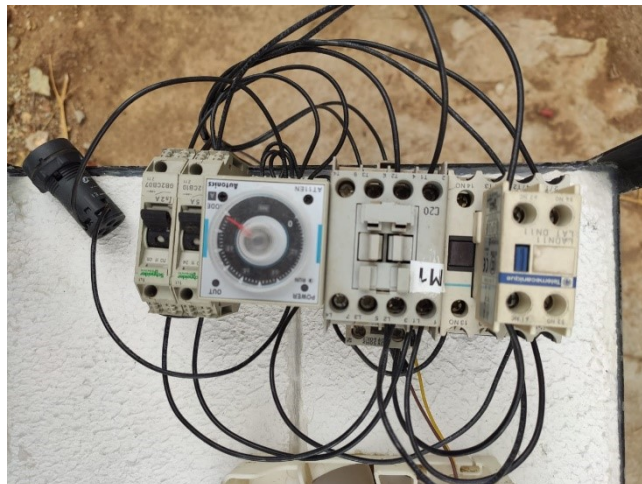
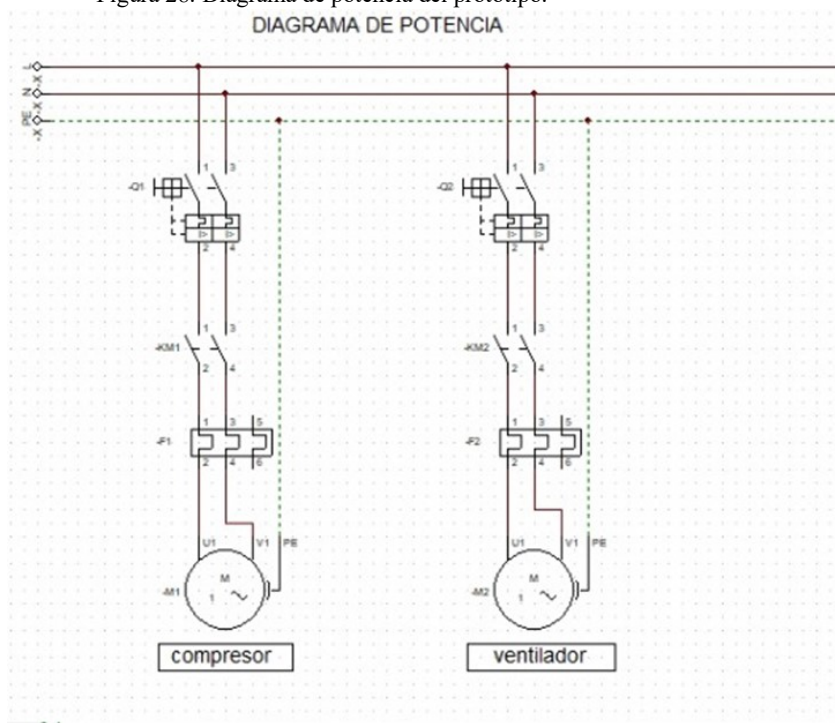


Figura 27: Temporizador, contactor e interruptor.

A continuación, se muestra el diagrama de potencia del sistema del control del prototipo, se observa una descripción grafica del cableado de la máquina.

Figura 28: Diagrama de potencia del prototipo.



En la siguiente figura, se encuentra el diagrama de control del prototipo, se puede notar como todos los elementos del sistema de control están conectados para que se pueda cumplir con su función (Encender el compresor por el tiempo programado deseado y luego encender el ventilador para que se pueda descongelar la humedad condensada en el evaporador) (figura 29)

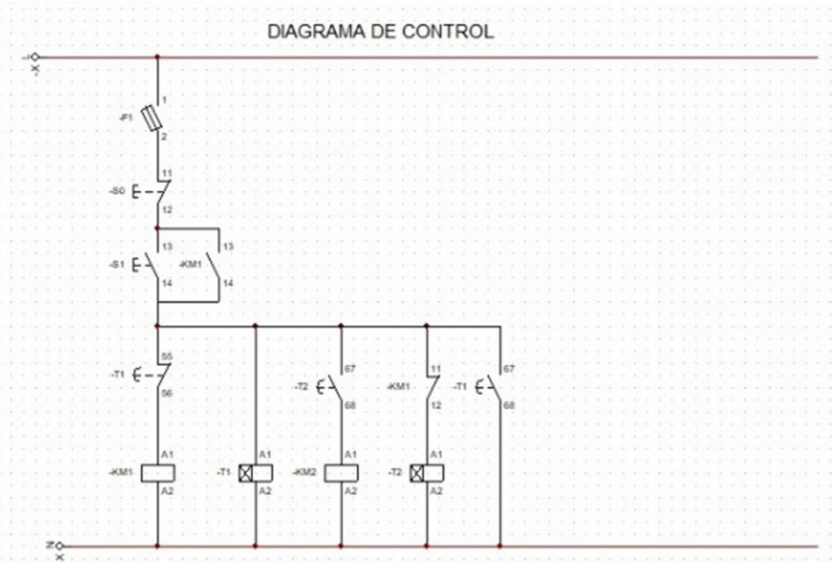


Figura 29: Diagrama de control del prototipo.

Terminado el sistema de control del prototipo, se cubrió la del evaporador con la ayuda de láminas de icopor con el objetivo de mantener la temperatura lo más baja posible (figura 30 y 31).



Figura 30: Prototipo terminado, con todos los elementos funcionando de la mejor manera.



Figura 31: Parte del evaporador y colector de agua del prototipo.

En las siguientes figuras los elementos complementarios instalados y funcionando de la mejor manera. El ciclo de refrigeración se lleva a cabo y el evaporador es capaz de llegar al punto rocío y de esa manera condensar la humedad del aire (figura 32 y 33).



Figura 32: Compresor, condensador, ventilador y tubo capilar del prototipo.



Figura 33: Evaporador, recolector de agua y ventilador para descongelamiento.

En la figura a continuación se observa el diagrama de bloque del prototipo, el cual sigue los conceptos del ciclo de Carnot Inverso, solo que el prototipo tiene un sistema de control que automatiza el ciclo, el temporizador controla el tiempo de trabajo del compresor, luego que el tiempo del temporizador se cumpla el ventilador se enciende y de esta manera pasa a descongelar el evaporador (figura 34).

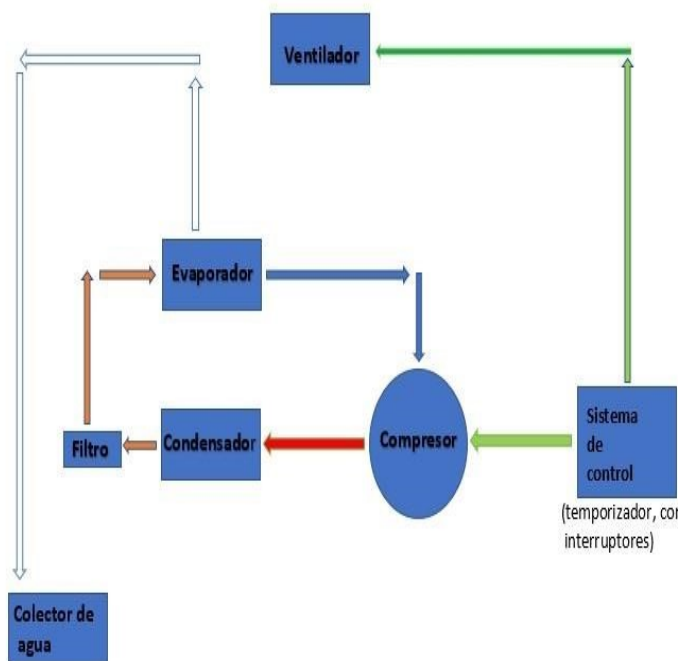


Figura 34: Diagrama de bloque del prototipo.

D. Evaluación de la humedad relativa y temperatura con respecto a la producción de agua del prototipo.

La temperatura y humedad relativa son variables que cambian con relación al tiempo. Por tal motivo, fue necesario registrar las dos variables por 33 días. La humedad relativa y temperaturas mostradas en la figura dos, son un promedio de los datos recolectados por los 33 días. El tiempo de evaluación durante 33 días fue desde las 00:00 hasta las 23:00, con el objetivo de encontrar en qué momento del día la humedad relativa y temperatura son máximas. Como se puede observar en la figura 2 la temperatura mínima registra fue de 27 °C desde 00:00 hasta 01:00. En cuanto, a la temperatura máxima registrada fue de 31 °C desde 10:00 hasta 16:00(Tabla 4).

Por otro lado, la humedad relativa presento algunos cambios con respecto a la temperatura. La humedad relativa mínima registrada fue de 70% a las 13:00 horas. En cambio, la humedad relativa máxima fue de 87% a las 00:00 hasta 01:00 horas. En conclusión, la diferencia entre la temperatura máxima (°31C) y temperatura mínima (27°C) es de 4°C. Por lo que se refiere a la diferencia entre la humedad relativa mínima (70%) y humedad relativa máxima (87%) es de 17%. Así pues, es vital destacar que el prototipo puede trabajar a cualquier hora en la ciudad de Santa Marta y sus alrededores. Ya que, la ciudad cuenta con los factores ambientales favorables para condensar humedad del aire (Figura 35).

Humedad Relativa y Temperatura promedio de 15 de abril a 18 de mayo		
Hora	Humedad Relativa %	Temperatura °C
0:00	87%	27
1:00	87%	27
2:00	85%	28
3:00	85%	27
4:00	84%	27
5:00	84%	27
6:00	84%	27
7:00	84%	28
8:00	81%	29
9:00	79%	29
10:00	75%	30
11:00	72%	31
12:00	71%	31
13:00	70%	31
14:00	71%	31
15:00	71%	31

16:00	73%	31
17:00	77%	30
18:00	81%	29
19:00	82%	28
20:00	82%	28
21:00	82%	28
22:00	82%	28
23:00	82%	28

Tabla 5: Promedio de Humedad Relativa y Temperatura de las 00:00 a las 23:00.

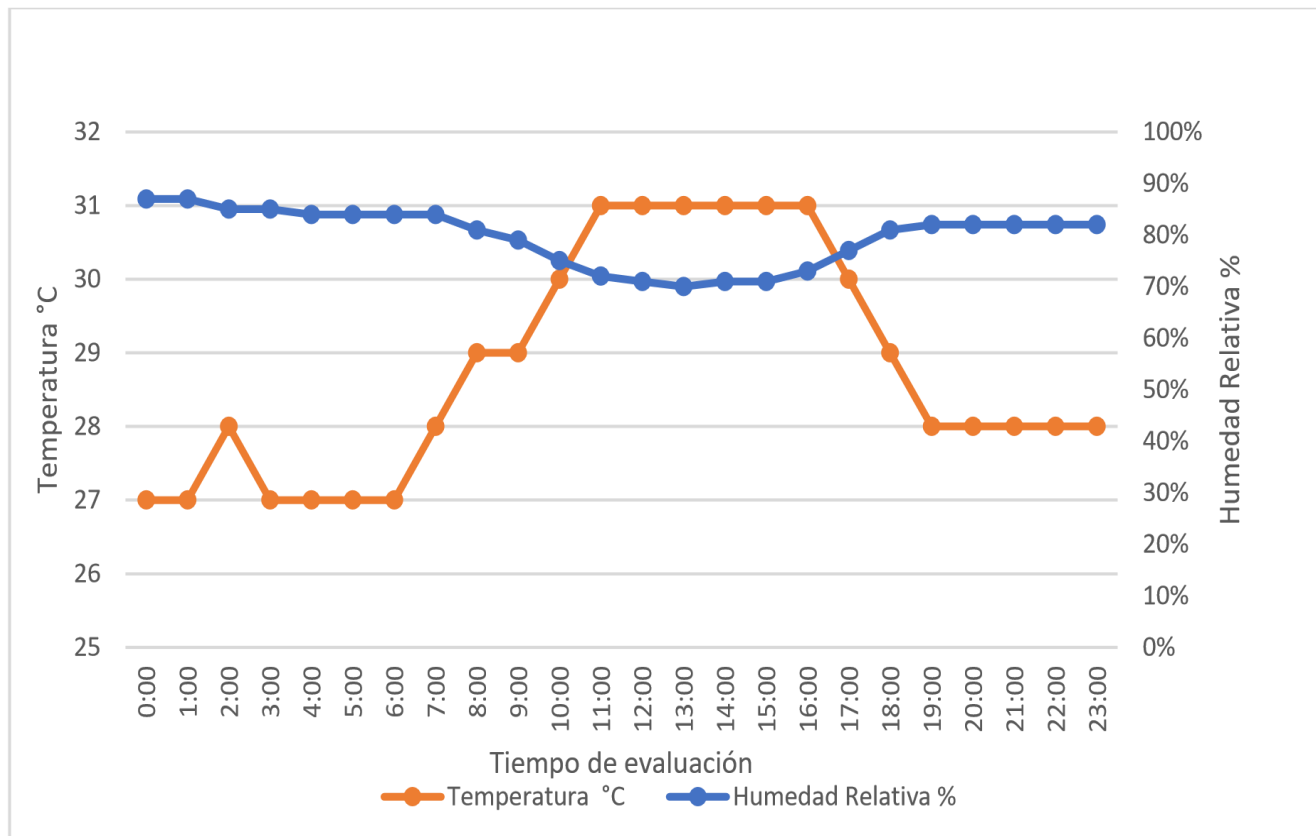


Figura 35: Descripción grafica promedio de la humedad relativa y temperatura de las 00:00 las 23:00.

Hay que destacar que la producción de agua cambia con respecto al intervalo del día. Tal como muestra el prototipo genero mayor cantidad de agua condensada desde las 00:00 hasta 07:00 con una producción total de 748 ml en un intervalo de 8 horas. Con respecto, a la producción de agua que genero durante las 09:00 hasta las 17:00 horas fue de 652 ml en un intervalo de 8 horas. En definitiva, la producción de agua es mayor durante las horas de la noche y la madrugada (Figura 36).

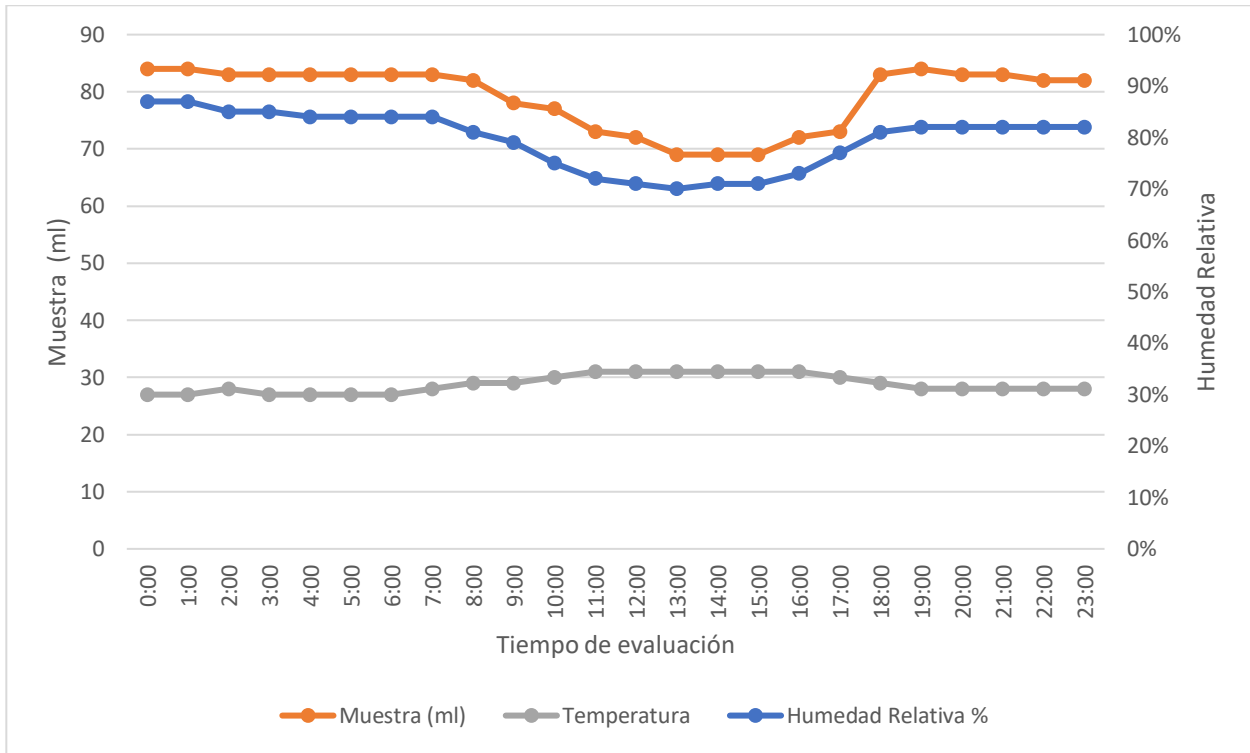


Figura 36: Los datos representados en la figura son promedio de volumen de agua recolectada (muestra), temperatura y humedad relativa funcionando 24 h.

XIII.COMPARACIÓN CON PROYECTOS PREVIOS

Es necesario evaluar los resultados obtenidos de esta investigación con previas realizadas. Los datos a comparar son los siguientes: agua condensada en un intervalo de 15 horas, k W consumido por hora (Figura 37).

Tal como presenta la figura a continuación el prototipo 1 tiene una eficiencia mucho mejor con respecto al prototipo 2(Autor) debido que produce casi un 41% más que el prototipo 2 en un periodo de 15 horas. El prototipo 1 fue realizado por Bautista-Olivas [20]. Hay que tener en cuenta que el prototipo 1 tiene un evaporador más grande, como se puede observar en el Figura 35. Pero el consumo de kwh es menos en el prototipo 2 por casi un 50% y por consiguiente el costo de producción de agua es menor (figura 38).

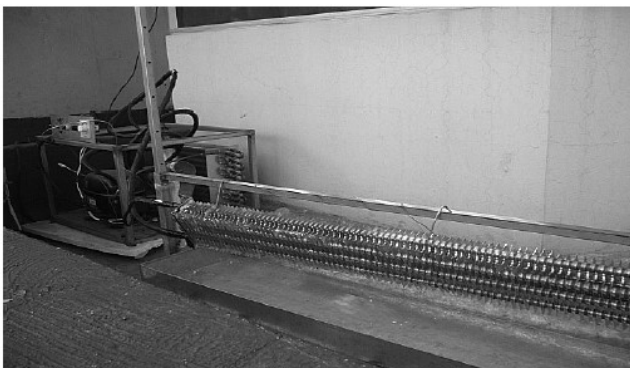


Figura 37: Prototipo 1, realizado por [21].

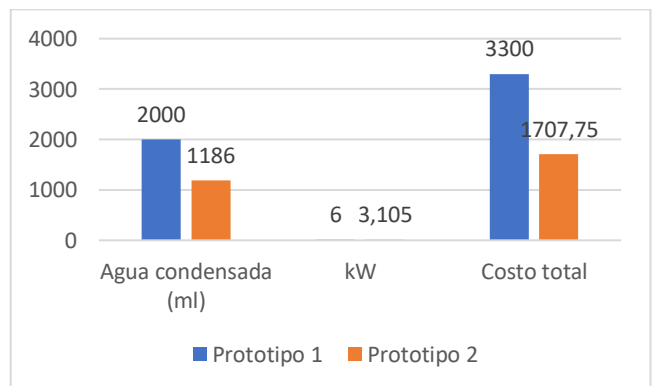


Figura 38: Comparación entre prototipo 1 (Investigación previa) y prototipo 2 (Investigación actual) con respecto al agua condensada en 15 horas, kW que consumió cada prototipo y el costo total en pesos colombianos.

XIV. ANÁLISIS DE COSTO

Descripción del recurso físico	Recursos Estudiante			
	Cant	Und	Valor Unitario	Valor Total
Compresor	1	1	\$98.000	\$98.000
Estructura en ángulos 3/4	1	1	\$234.000	\$234.000
Filtro secador	1	1	\$14.000	\$14.000
Condensador	1	1	\$84.000	\$84.000
Evaporador	1	1	\$120.000	\$120.000
Recolector de agua	1	1	\$13.000	\$13.000
Refrigerante	3	1	\$14.000	\$42.000
Láminas de icopor	3	1	\$4.000	\$1.000
Silicona	1	1	\$7.000	\$7.000
Temporizador	2	1	\$16.000	\$32.000
Contactador	2	1	\$89.000	\$178.000
Pulsador	1	1	\$10.700	\$10.700
TOTAL				\$833.700

Tabla 6: Inversión del proyecto

Teniendo en cuenta que el consumo de energía del prototipo es de 0.21 kW h, el funcionamiento del prototipo por hora tiene un valor de 115.5 pesos. Sabiendo que el kW h tiene un valor comercial alrededor de 550 pesos.

El prototipo produce un total de 1,897 Lt de agua en un periodo de 24 horas, lo cual su costo de funcionamiento es de 2,772 pesos colombianos.

El prototipo puede producir al mes un total de 56.91 Lts de agua con un costo de funcionamiento de 83,160 pesos. Esta producción de agua es poca debido a la escala del proyecto. Se puede aumentar la producción del agua y disminuir el consumo energético al contar con mejores elementos para construir un mejor prototipo.

Comparación agua embotellada vs agua producida por el prototipo		
Agua	Litros de Agua	Valor
Agua embotellada	2	\$2000

Prototipo de la investigación	2	\$2922,50
-------------------------------	---	-----------

Tabla 7: Valor de agua comercial en el mercado y agua producida por el prototipo.

Como se puede observar en la siguiente tabla. El agua comercial potable es más económica por un valor de 922,50 pesos. Esto quiere decir que no existe un beneficio económico obteniendo agua con la ayuda del dispositivo. Además, el agua producida por el prototipo no es potable aun, es necesario agregar un sistema de potabilización dentro del prototipo, lo cual incrementaría el costo del prototipo.

Es importante resaltar que con el pasar de los años la escasez del agua sea mayor. Lo mas posible, es que en un futuro no muy lejano las fuentes de agua tradicionales estén agotadas y propuestas como la de este proyecto sean utilizadas para obtener el agua necesaria en la vida cotidiana del ser humano.

XVI. RECOMENDACIONES

El prototipo construido en este proyecto puede ser mejorado, al aplicar ciertos avances donde la eficiencia aumentaría razonablemente. Por ejemplo: El tubo capilar debe ser reemplazado por una válvula de expansión termostática, el diámetro del evaporador tiene que ser mayor que del condensador. El evaporador y condensador deben de compartir el mismo ventilador con el objetivo de disminuir el consumo energético. Además, se podría usar un aislante en el serpentín como una resina para que no se contamine el agua. También se podría añadir como fuente de alimentación eléctrica alguna energía renovable como la fotovoltaica. Para finalizar, es posible la instalación de un proceso de potabilización del agua dentro del prototipo elaborado.

XVII. CONCLUSIONES

De este estudio realizado se concluyó desde el contexto de los objetivos específicos lo siguiente:

- Gracias a los antecedentes encontrados en Google Académico se consultó que las Celdas de Peltier tiene una eficiencia baja y su consumo en amperios es baja.
- El sistema más económico y eficiente para condensar la humedad del aire es el sistema de refrigeración, se concluye lo anterior gracias a los resultados de los antecedentes.

- La humedad relativa en la ciudad de Santa Marta esta alrededor de 70% a 87% la temperatura mínima es de 27 °C entre el 15 de abril al 18 de mayo.
- La mayor producción de agua se dio entre las 19:00 hasta las 08:00. Debido a que la humedad relativa es mayor entre este tiempo mencionado anteriormente.
- El punto de rocío del prototipo ronda entre los 5 °C a los 9 °C.
- Se elaboro el prototipo de refrigeración para poder condensar la humedad del aire de la ciudad de Santa Marta, el prototipo consumió 0.21 kwh y produce un total de 1,897 Lt de agua en 24 horas.
- El coste beneficio del proyecto a la escala en la que se realizó en esta investigación no es el mas favorable, ya que a nivel comercial el costo del agua es barata en comparación al costo de producción del prototipo. Pero se tiene en cuenta la construcción de este prototipo a gran escala, donde obtendríamos resultados competitivos e incluso con muchas más ventajas dentro del mercado.

XVIII. Bibliografía

- [1] O. G. Gómez-Duarte, «Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública,» *Revista de la Facultad de Medicina*, 2018.
- [2] D. & M. I. Beysens, «The case for alternative fresh water sources,» *Pour les ressources alternatives en eau, Secheresse*, 2000.
- [3] Marroquín ,Felipe «Samarios se quejan por mal estado del agua que reciben,» 16 Marzo 2020.
- [4] B. Velázquez Martí, *Conceptos fundamentales de psicrometría*, 2018.
- [5] F. J. Gálvez, Curso teórico practico de fundamentos físicos de la ingeniería, 1998.
- [6] D. Lide, « CRC Manual de Química y de Física,» *CRC Press*, 1992.
- [7] F. P. Incropera, Fundamentos de transferencia de calor, México: Prentice Hall, 1999.
- [8] C. V. Calahorro, Química general: introducción a la química teórica, 1995.
- [9] Ç. Yunus A, Termodinámica, 6ta edición, Mc Graw Hil, 2009.
- [10] M. R. Ortega, Lecciones de Física (4 volúmenes), Monytex, 1989-2006.
- [11] S. Pezzotti, *Estudio experimental del efecto Magnus en cuerpos cilíndricos de secciones transversales diversas*, (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata), 2016.
- [12] C. A. P. B. & E. B. Camargo Gonzalez, *Sistema de Generación de Agua Mediante Humedad del Aire*.
- [13] L. Huertas, «El control ambiental en invernaderos: humedad relativa,» *Hortícola*, nº 205, pp. 52-54, 2008.
- [14] E. & L. L. Martines, «Cálculo de la Temperatura de Punto de Rocío a Diferentes Valores de Presión,» *Centro Nacional de Metrología*, 2008.
- [15] W. C. & J. W. M. Whitman, Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado (Vol. 3), Editorial Paraninfo, 2000.
- [16] P. B. J. CARLOS, «REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR.»
- [17] M. d. S. Publica, *Decreto 475 de 1998*, Colombia.
- [18] A. Sacristán Gómez, *Obtención de agua a partir de humedad atmosférica empleando células de efecto Peltier*, 2011.
- [19] C. A. & B. P. B. E. Camargo Gonzalez, *Sistema de generación de agua mediante humedad del aire*.
- [20] A. L. T.-S. J. L. P.-V. O. L. & M.-V. O. R. Bautista-Olivas, *La humedad atmosférica como fuente opcional de agua para uso doméstico*, 2011.
- [21] A. K. Biswas, «Agua para el mundo en desarrollo en el siglo XXI: temas e implicaciones,» *Tecnología y ciencias del agua*, 2015.
- [22] R. F. C. C. & B. L. P. Hernández Sampieri, *Metodología de la investigación*, 2010.

