

Caso de estudio: Diseño de un prototipo de generación de agua en base a la condensación

Resumen— La escasez de agua es un fenómeno natural, pero también un fenómeno inducido por los seres humanos. Aun cuando hay suficiente agua dulce en el planeta para satisfacer las necesidades de una población mundial de cerca de siete mil millones de personas, su distribución es desigual tanto en el tiempo como en el espacio, y mucha de ella es desperdiciada, contaminada y manejada de manera insostenible. No existe en el mundo escasez de agua como tal, en su lugar hay un número de regiones en el mundo que sufren escasez de agua, esto debido a que el uso de este recurso ha crecido más del doble en relación con la tasa de incremento poblacional en el último siglo. Por esta razón, se diseñó e implementó un prototipo generador de agua mediante la humedad del aire a través del proceso de condensación con el uso de un sistema de refrigeración, permitiendo obtener un promedio de al menos medio litro de agua al día. Para el diseño de esta de este prototipo, se siguió un procedimiento de 4 etapas como metodología de estudio, permitiendo la obtención 64 ml de agua por hora como principal resultado. Se concluye que se logra obtener un sistema de producción estable y eficiente, dejando las bases para el diseño de un proceso de producción de alto consumo con la selección de compresores y sistema de secuencia.

Keywords—aire, psicrometría, refrigeración, ciclo de Carnot, condensación (key words)

I. INTRODUCTION

En la actualidad, la escasez del agua es una temática de mucha importancia a nivel mundial, debido a que la demanda de agua está creciendo rápidamente, lo que pone en peligro la disponibilidad de agua para la producción alimentaria y genera un riesgo para la seguridad global, así como en muchas otras áreas que es necesario el uso del agua. Con la escasez del agua, se pueden tener muchas consecuencias, los autores [1] proyectaron que para el año 2025, la escasez de agua causará anualmente pérdidas globales de 350 millones de toneladas cúbicas del potencial de producción de alimentos, siendo una gran limitante de la alimentación, de igual manera, se espera que la extracción de agua para diversos usos (doméstico, industrial y ganadero) habrá aumentado en al menos un 50%.

La escasez de agua representa para muchos países el desafío más importante para el desarrollo socioeconómico y humano en general. La escasez de agua es un fenómeno no solo natural sino también causado por la acción del ser humano. Sin embargo, existe la cantidad de agua potable suficiente en el planeta para abastecer a todas las personas que lo habitamos, pero, no se encuentra distribuida de forma regular, además, se desperdicia,

se gestiona de forma insostenible hasta una gran parte de ella ha sido afectada negativamente por la contaminación. [2]

, además, de los animales que viven en los alrededores.

II. ANTECEDENTES

A. Situación Actual Sobre la Escasez del Agua

La escasez de agua se ha convertido en una problemática a nivel mundial, a la cual se le debe prestar mucha atención, de lo contrario se tendrán consecuencias significativas en un futuro. Ya que alrededor de 1,200 millones de personas, que es el equivalente a un aproximado de una quinta parte de la población mundial, vive en lugares donde existe la problemática de la escasez del agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta misma situación. Por otro lado, un cuarto de la población mundial, equivalente a 1,600 millones de personas, se enfrentan a diversas situaciones de escasez económica de agua, a causa de que los países carecen de la infraestructura requerida para transportar el agua desde ríos y acuíferos. [3]

En Honduras miles de hondureños están sufriendo por el deficiente suministro de agua a causa, por un lado, del precario abastecimiento y, por otro, porque las cuencas que abastecen sus hogares se van secando con el paso de los años, de 2.2 millones de viviendas, en las que habitan unos nueve millones de personas, solo 1.8 millones (casas) tiene conexión directa con tubería. En esas 1.8 millones de viviendas habitan alrededor de 7.6 millones de personas. El resto de la población (1.4 millones) recibe agua de otras fuentes, como ríos, riachuelos, quebradas, pozos, cisternas, carros pailas, manantiales y sus vecinos. [3]

La demanda de agua, un recurso cada vez más escaso en el mundo, va creciendo de una manera muy rápida, lo que pone en peligro la disponibilidad de agua para la producción alimentaria y genera un riesgo para la seguridad alimentaria global. El sustento de una población cada vez más grande, depende en gran medida de la agricultura, la cual compite por el escaso suministro de agua junto con los usos industriales, domésticos y ambientes, a medida que aumenta la demanda de agua de todos los usuarios, se va agotando el agua subterránea, se contaminan y degradan otros ecosistemas acuáticos y resulta cada vez más costoso desarrollar nuevas fuentes de agua [1]. Por esto, se deben buscar diferentes alternativas con el fin de combatir la escasez de agua que afecta a cada país a nivel mundial, incluyendo nuestro país [4]. El total del requerimiento global de

agua al año es de más de cuatro billones de litros al año, y las fuentes naturales del precioso líquido ya no dan abasto [5].

B. Psicrometría

La psicrometría es una rama de la ciencia dedicada al estudio de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y al efecto de la humedad atmosférica en los materiales y en el confort humano. La humedad del aire se debe al vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera. El vapor procede de la evaporación de los mares y océanos, de los ríos, los lagos, las plantas y otros seres vivos. La cantidad de vapor de agua que puede absorber el aire depende de su temperatura. El aire caliente admite más vapor de agua que el aire frío. [6]

La composición del aire es considerada la mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre, los cuales permanecen alrededor de la Tierra gracias al accionamiento de la fuerza de gravedad en el planeta. El aire está compuesto en proporciones ligeramente variables por sustancias tales como el nitrógeno en un 78%, el oxígeno en un 21%, el vapor de agua variable entre 0 a 7%, ozono, dióxido de carbono, hidrógeno y algunos gases nobles como el criptón, el argón, las cuales son el 1% de otras sustancias [7].

El punto de rocío es el valor al que debe descender la temperatura del aire para que el vapor de agua existente comience a condensarse, a medida que disminuye la temperatura de una masa de aire, va disminuyendo la capacidad que tiene para contener vapor de agua, es decir, va disminuyendo la humedad relativa de ésta, si dicha masa de aire continúa enfriándose llegará un momento en que el aire alcanzará el punto de saturación y, a partir de ahí, podrá producirse la condensación [8].

La condensación es el cambio en la materia de una sustancia a una fase mucho más densa, como por ejemplo, de un gas o vapor a líquido, comúnmente, la condensación sucede cuando un vapor disminuye su temperatura o se enfría, pero también podría ocurrir si ese se comprime (es decir, si se aumenta la presión) o se somete a una combinación de refrigeración y compresión. Al vapor de agua del aire que se condensa de forma natural en superficies frías se le llama rocío. [9]

C. Refrigeración

La refrigeración es un proceso en el cual consiste en bajar o mantener el nivel de calor de un cuerpo o un espacio, teniendo en consideración que realmente el frío no existe y que debe hablarse de mayor o menor cantidad de calor o de mayor o menor nivel térmico, además, refrigerar consiste en un proceso de la termodinámica en el cual se extrae el calor del objeto considerado (reduciendo su nivel térmico), y se lleva a otro lugar capaz de admitir esa energía térmica sin problemas [10].

Para este sistema de refrigeración se utilizó el ciclo de Carnot inverso o de compresión. El ciclo de Carnot es totalmente reversible, permitiendo que los cuatro procesos que comprenden el ciclo puedan invertirse. El resultado es un ciclo que opera en dirección contraria a las manecillas del reloj, que se llama ciclo invertido de Carnot [11]. Este ciclo se basa su funcionamiento en que un fluido, denominado como refrigerante, absorbe el calor al evaporarse, permitiendo de tal manera disminuir la temperatura de aquello que se desea reducir la temperatura en el proceso. Por otra parte, el fluido cederá calor al ambiente

cuando este sea condensado, cerrando de esta manera el circuito [12]. Si, por medio de un compresor y una válvula de expansión, se consigue variar la presión de tal modo que la temperatura a la que se evapora es menor que la de condensación, e podrá extraer el calor de un foco a temperatura baja para devolverlo a otro de mayor temperatura [13].

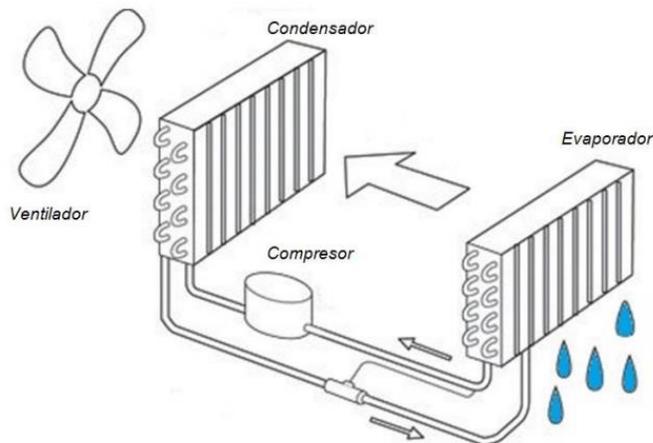


Fig 1. Generación de agua a partir de aire

En la figura 1, se muestra gráficamente el ciclo de obtención de agua con sus diferentes componentes involucrados que juegan un papel muy importante, de los cuales se detallarán en las secciones posteriores. Al enfriar una corriente de aire para condensar agua, no solamente se obtendrá la reducción de la humedad específica, sino que además, la corriente de salida tendrá una temperatura inferior [14]. Como el único efecto buscado es el primero, se puede utilizar esta corriente fría para refrigerar el condensador del ciclo, obteniéndose así un menor gasto energético en el compresor, ya que esto permite acercar las temperaturas entre las que traba el ciclo.

El refrigerante o fluido frigorífero es utilizado en la transmisión de calor que, en un sistema de refrigeración, absorbe calor a bajas temperatura y presión, cediéndolo a temperatura y presión más elevadas, este fluido pasa por todos los estados y componentes expuestos en el proceso. Por esta razón se deben de cumplir con diferentes requisitos químicos, físicos y termodinámicos [15].

III. TEORÍA Y MÉTODOS

Se determinó que la presente investigación fue realizada bajo un enfoque cuantitativo. El enfoque cuantitativo fue establecido debido a que las variables a investigar en el presente proyecto son variables cuantificables, lo que permite realizar procedimientos basados en la medición de los valores numéricos de estas variables de estudio. Incluyendo, que permite un mayor nivel de control e inferencia sobre el diseño del prototipo de generador de agua, por lo tanto, se logró describir, estudiar y analizar estas variables de datos numéricos que afectaron directamente este prototipo.

Con el fin de poder manipular las variables de investigación en condiciones controladas, se estableció la presente investigación como experimental. Esta investigación es de tipo experimental y longitudinal, ya que se manipularán variables en condiciones controladas, y se obtendrán datos de muestras

aleatorizadas, y se le llevó un seguimiento a lo largo de un período concreto, establecido en el cronograma de actividades.

Fue necesario el uso de técnicas de condensación y refrigeración con el fin de lograr producir agua a un mejor ritmo. Para el control y medición de las variables a investigar se utilizaron sensores adecuados, estos sensores fueron, el LM35, para la medición de la temperatura ambiente del lugar donde se encuentra el prototipo, y el temp&hum 11 click, el cual fue utilizado para la medición de la temperatura ambiente y la humedad relativa. Estos sensores, fueron incorporados en un sistema de control, donde la cabeza de este sistema de control fue el microcontrolador o microprocesador PIC.

Fue indispensable el uso de diferentes materiales con el fin de lograr la construcción del prototipo generador de agua, los materiales involucrados para la construcción del prototipo fueron los siguientes:

- 1) Sistema de Control
 - 1.1) TEMP&HUM 11 CLICK: Utilizado para la medición de temperatura ambiente y humedad relativa, es un sensor compatible con el microprocesador PIC.
 - 1.2) Sensor de Temperatura LM35: Este sensor fue utilizado para la medición de la temperatura del evaporador.
 - 1.3) Microprocesador PIC18F45K22: Este microprocesador es la cabeza del sistema de control, el cual tomó lectura de las diferentes variables de retroalimentación a través de sus periféricos.
- 2) Sistema de Refrigeración
 - 2.1) Evaporador
 - 2.2) Condensador
 - 2.3) Compresor
 - 2.4) Tubo Capilar

Con el fin de responder al problema de investigación planteado con anterioridad, fue de suma importancia seguir una metodología de estudio, la cual describe los procedimientos, actividades con el fin obtener resultados contundentes. De esta manera, la presente investigación, fue desarrollada a través de un proceso esquematizado y secuencial, el cual consta de 4 etapas.

En la primera etapa de obtención de datos, se recolectó toda la información más relevante sobre los diferentes sistemas de generación de agua, que utilizan. Se obtuvo toda la teoría de sustento para el diseño de un sistema de refrigeración junto con el uso de un sistema de control con un microprocesador PIC.



Fig 2. Metodología de estudio

Seguidamente, se realizó un diseño de todo el prototipo de generador de agua, con los respectivos componentes o materiales del sistema de refrigeración y el sistema de control, aquí se determinan las diferentes características que posee cada componente de refrigeración, incluyendo el compresor, condensador y evaporador, con el fin de obtener la máxima capacidad de producción de agua.

Posteriormente, al ya tener el diseño del prototipo, con la respectiva selección de los diversos componentes sus características, se realizaron pruebas, estas pruebas incluían la observación de la cantidad de agua generada por el prototipo a partir de los componentes utilizados, en caso de obtener un resultado apropiado, se proseguía a la siguiente etapa. De ser que no tuviera una producción de agua apropiada, se realiza nuevamente el diseño de todo el prototipo, hasta obtener el mejor diseño que permita la mayor producción de agua posible. Las pruebas realizadas incluyen el uso de diferentes motores disponibles, variando sus características, como ser potencia, velocidad, etc.

Finalmente, cuando se obtenga el mejor diseño se presentan los resultados finales, junto con la entrega final del prototipo que permite generar la mayor cantidad de agua.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El diseño tridimensional fue realizado con ayuda del software SolidWorks, el cual permitió asignar las medidas y parámetros deseados con el fin de obtener el mejor resultado. El diseño final fue toda la estructura del sistema de refrigeración que permitiera la obtención de agua a partir del aire.

A. Diseño del Sistema

Se inició con el diseño de todo el prototipo generador de agua, donde fue diseñado cada componente y material presente en el sistema de refrigeración y en el sistema de control. En la figura 3, se muestra el diseño final obtenido para la realización del prototipo en físico las posteriores evaluaciones y diversas pruebas.

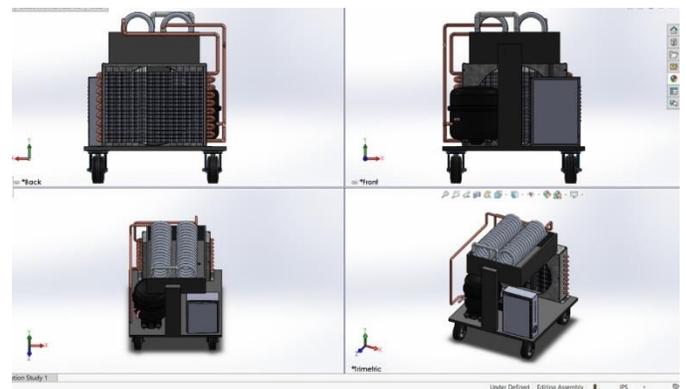


Fig 3. Diseño final del prototipo

Posteriormente, se diseñó el sistema de control, el cual permitió tener lectura de la temperatura y humedad en tiempo real, donde se midió la temperatura ambiente, junto con la relatividad y también la temperatura del evaporador, todos estos datos fueron retroalimentados al microprocesador PIC18F45K22.

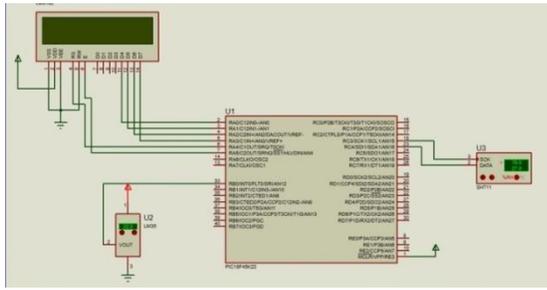


Fig 4. Diseño del sistema de control

Una vez con el diseño tridimensional de guía, se procedió a la fabricación del prototipo, fabricando cada componente, y creando el sistema de refrigeración para la producción de agua a partir de este sistema, en la figura 4, se muestra la fabricación de algunos de los componentes del diseño.



Fig 5. Fabricación de componentes

Como se aprecia en la fig 4, el diseño del tubo capilar, el cual posee una distancia de 10 pies, el cual posee como la función de un evaporador en el sistema de refrigeración. Para el sistema de refrigeración se seleccionó un motor de un quinto de caballo de fuerza, lo suficiente para movilizar el refrigerante y lograr un mejor rendimiento en el sistema de refrigeración.



Fig 6. Prototipo Final

En la fig 6, se muestra el prototipo final diseñado. Una vez diseñado y fabricado todo el prototipo se procedió a la ejecución de las pruebas, con el fin de obtener los resultados de producción de agua.

B. Prueba de Compresores

Para evaluar el funcionamiento del prototipo se realizaron diversas pruebas de producción de agua a partir de aplicar alguna modificación en el compresor utilizado en el sistema de refrigeración. Para el sistema de refrigeración se seleccionó una longitud total de 10 pies de tubo capilar, este parámetro del sistema de refrigeración se mantuvo constante, ya que no afectó en el sistema de refrigeración hacer algún cambio, de igual forma, los parámetros del condensador se mantuvieron constantes. El refrigerante utilizado en todas las pruebas realizadas fue el R134.

Inicialmente, se evaluaron 3 diferentes compresores, en los cuales se modificó la potencia de este, la potencia de los motores evaluados fue de un quinto de caballo de fuerza, un cuarto de caballo de fuerza, y un tercio de caballo de fuerza.

Se realizaron un total de 5 pruebas por cada compresor, donde fue tomado en cuenta la temperatura ambiente, la temperatura del evaporador, la humedad relativa, el punto de rocío, y la producción final obtenida con los respectivos parámetros del prototipo, todos estos datos fueron obtenidos a través de la retroalimentación proporcionada por los sensores seleccionados para las respectivas mediciones, donde éstas fueron entregadas al controlador. La producción fue medida en mililitros generados por cada hora, por lo tanto, la duración de cada prueba fue de una hora, cabe detallar, de igual manera, que el compresor se encontró en total funcionamiento a lo largo de toda la hora de evaluación, y esto se aplicó en todas las 5 pruebas de cada compresor evaluado. Se inició con las pruebas del compresor de un quinto de caballo de fuerza, donde en la tabla 1, se muestran las mediciones obtenidas, y el resultado de la producción de agua obtenida, a partir de los parámetros estipulados.

TABLA 1. Pruebas con el compresor de 1/5 Hp

| Temperatura Ambiente (°C) | Temperatura del Evaporador (°C) | Humedad Relativa (% HR) | Punto de Rocío (°C) | Producción Final (mL) |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| 30 | 5 | 44 | 16.44 | 26 |
| 29 | 4 | 43 | 15.17 | 27 |
| 30 | 6 | 45 | 16.79 | 25 |
| 30 | 7 | 47 | 17.48 | 24 |
| 28 | 3 | 41 | 13.53 | 28 |

En la tabla 1, se muestran los resultados obtenidos en base a las 5 pruebas realizadas con el primer compresor, el cual posee una potencia de 1/5 Hp. De acuerdo a los resultados obtenidos, se muestra como la temperatura ambiente se mantiene dentro de un rango de 28 a 30 °C, de igual forma, la humedad relativa se mantuvo dentro del rango de 44 a 47 % HR, donde estos valores afectaron el punto de rocío obtenido, además, de la temperatura que se obtuvo, a través de la lectura del sensor, del evaporador, o en el tubo capilar. Con estas mediciones obtenidas, se logró producir hasta un máximo de 28 mililitros a lo largo de una hora, con una producción mínima de 24 mililitros.

TABLA 2. Pruebas con el compresor de 1/4 Hp

| Temperatura Ambiente (°C) | Temperatura del Evaporador (°C) | Humedad Relativa (% HR) | Punto de Rocío (°C) | Producción Final (mL) |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| 28 | 0 | 41 | 13.53 | 31 |
| 29 | 2 | 42 | 14.81 | 31 |
| 30 | 3 | 44 | 16.44 | 30 |
| 29 | 4 | 45 | 15.88 | 30 |
| 29 | 4 | 47 | 16.56 | 28 |

En la tabla 2, se presentan los resultados adquiridos a través de las evaluaciones ejecutadas con el compresor de 1/4 Hp. Donde la temperatura ambiente no presento tanto cambio, vario entre 28 a 29 °C. De igual forma, la humedad relativa presento una variación que va de 41 a 47 % HR, con estos dos datos obtenidos en la lectura, se calculó el punto de rocío. Además, se midió la temperatura del evaporador la cual se encontró oscilando entre 0 a 4 °C. Con todos estos parámetros, se logró generar un máximo de 31 mililitros de agua y un mínimo de 28 mililitros de agua.

TABLA 3. Pruebas con el compresor de 1/3 Hp

| Temperatura Ambiente (°C) | Temperatura del Evaporador (°C) | Humedad Relativa (% HR) | Punto de Rocío (°C) | Producción Final (mL) |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| 30 | 3 | 44 | 15.53 | 32 |
| 31 | 4 | 43 | 16.99 | 32 |
| 31 | 2 | 44 | 17.35 | 33 |
| 30 | 2 | 42 | 15.71 | 33 |
| 28 | 1 | 45 | 14.97 | 35 |

Como se presentan en la tabla 3, la temperatura ambiente obtenida a lo largo de estas evaluaciones con el compresor de 1/3 Hp, se encontraron con poca variación la cual va desde 28 hasta 31°C. La humedad relativa, presentó una variación menor, en comparación a las anteriores evaluaciones realizadas, donde varió desde 42 hasta 45 % HR. Igualmente, la temperatura del evaporador presentó leves variaciones que van de 1 a 4 °C. A partir de estas evaluaciones con las respectivas mediciones obtenidas, se logró generar hasta 35 mililitros de agua, y un mínimo de 32 mililitros.

Con la finalidad de seleccionar el compresor más adecuado para la mayor producción o generación de agua, se evaluaron diversos de estos compresores con diferentes características. En base a las pruebas, se determinó el que mayor agua produjo en promedio, como se muestra en la fig 7.

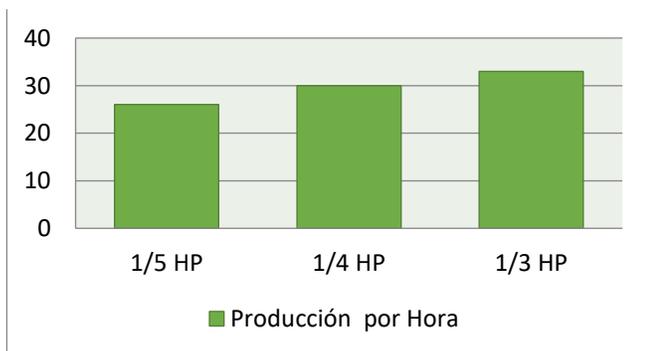


Fig 7. Producción por hora de los compresores

En la fig 7, se muestra el de producción de mililitros de agua por hora por cada compresor, de acuerdo a las pruebas realizadas con anterioridad. Se obtuvo, que el compresor de 1/5 HP, posee un promedio de producción de agua de 26 mililitros por hora, el compresor con potencia de 1/4 HP, presentó un promedio de generación de agua de 30 mililitros de agua por hora y por último, el compresor de 1/3 HP, logró producir un promedio de 33 mililitros de agua por hora. En base a estos resultados, se seleccionó el motor de 1/3 HP, ya que se busca la mayor producción de agua posible, con los parámetros evaluados.

C. Prueba de Control

Una vez seleccionado el compresor, este fue sometido a ciertas pruebas del control de este, en estas pruebas, se manipuló la secuencia de apagado y encendido del compresor, se seleccionó diferentes intervalos de tiempo entre encendido y apagado, formando un ciclo, estas pruebas fueron realizadas por 5 horas con el fin de obtener la secuencia más apropiada para la mayor generación de agua posible.

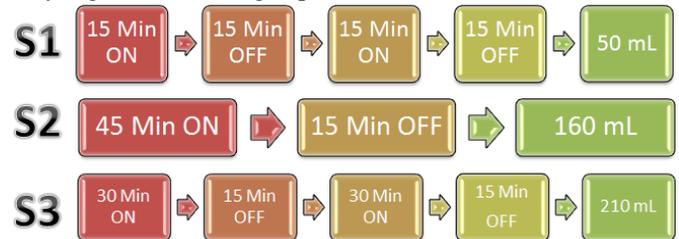


Fig 8. Pruebas de control de tiempo por ciclo

Como se muestra en la figura 8, se evaluaron 3 secuencia de control de encendido y apagado del compresor seleccionado, el de cuenta con una potencia de 1/3 HP. La primera secuencia (S1), consistió, en que inicialmente, el compresor fuera encendido durante 15 minutos, luego, este fuera apagado por 15 minutos, y repetir estos dos pasos nuevamente, hasta completar las 5 hora de evaluación. Con esta secuencia, se logró producir hasta 50 mililitros. Esta secuencia fue la menor que produjo, debido a que el compresor estuvo menos tiempo encendido en comparación de otras secuencias, por lo tanto, se obtuvo el resultado más apropiado para reducir la temperatura en el evaporador.

En la segunda secuencia (S2), se inició encendiendo el compresor durante 45 minutos, y en los últimos 15 minutos del ciclo, el compresor sería apagado, esto se repitió a lo largo de 5 horas. Al utilizar esta secuencia, se obtuvo una producción total de 160 mililitros, siendo muy cercana a la cantidad de producción obtenida anteriormente, cuando durante toda la hora de evaluación el compresor se encontraba en accionamiento. Aquí, se produjo una mayor cantidad de agua en comparación a la secuencia 1, ya que el tiempo de activación del compresor es mayor, generando suficiente congelamiento en evaporador para generar más agua.

En la tercera y última secuencia (S3) evaluada, se empezó con el encendido del compresor durante los primeros 30 minutos de la evaluación, luego, este sería apagado por 15 minuto, este fue el ciclo de la tercera secuencia, de la evaluación por 5 horas. En base a la aplicación a esta secuencia, se generó un total de 210 mililitros de agua, siendo una cantidad mayor producida por

las secuencias anteriores. Esta secuencia logró generar más agua, ya que se tiene el suficiente tiempo para reducir a la temperatura adecuada el evaporador, y producir mayor cantidad de hielo, por lo tanto, 30 minutos de tiempo de encendido fue el idóneo, debido a que fue suficiente tiempo para congelar el evaporador, y para que se derritiera el hielo y pasar a estado líquido, por esta razón, logró generar una mayor cantidad de agua.

Por lo tanto, en base a las pruebas realizadas y los resultados obtenidos en estas pruebas, se seleccionó el compresor con una potencia de 1/3 HP, con la tercera secuencia (S3), ya que se busca obtener la máxima producción de agua a partir del prototipo diseñado. En pruebas adicionales se logro producir 64.4 ml por hora en promedio.

V. CONCLUSIONES

Se desarrolló, diseñó y fabricó un prototipo que fue capaz de generar agua a partir del aire que se encuentra en la atmósfera, esto fue gracias al uso del método de condensación junto con el sistema de refrigeración con un ciclo de compresión, y sustentando todo en la psicrometría, para la obtención de agua existente en el aire.

En base a las pruebas realizadas con el prototipo final del generador de agua, se logró determinar el compresor adecuado para la mayor generación de agua, obteniendo al final como resultado, que el compresor de 1/3 HP es el más apropiado para generar mayor cantidad de agua en comparación a los otros compresores evaluados.

Se definieron los componentes y materiales indispensables para el prototipo, donde el tupo capilar cuenta con una longitud de 10 pies.

Se realizaron pruebas de secuencias de control del tiempo de apagado y encendido de un compresor, y se concluyó que la tercera secuencia (S3) evaluada fue con la que más se logró generar agua, en comparación a las otras dos secuencias evaluados, donde la S3 inicia con 30 minutos de encendido, luego 15 minutos de apagado.

Con el diseño del prototipo de generador de agua desarrollado y fabricado, se logró obtener una producción máxima de agua de 210 mililitros de agua en 5 horas, o 42 mililitros de agua por hora, en base a los resultados de las diversas pruebas realizadas al prototipo en cuestión. Por lo tanto, se afirma que el prototipo diseñado, desarrollado y fabricado logró obtener una producción total de 336 mililitros de agua cada 8 horas, o su equivalente de 1.008 litros de generación de agua al día. Se logra obtener un sistema de producción estable y eficiente, dejando las bases para el diseño de un proceso de producción de alto consumo.

VI. RECOMENDACIONES

Pese a la generación de agua que posee este dispositivo es necesario optimizar la producción del agua, para lo cual los autores animan al desarrollo de un prototipo de mayores dimensiones. Además, es necesario analizar estadísticamente el efecto de la humedad y la temperatura sobre la generación de agua, con el fin de encontrar una línea de tendencia que permita optimizar este proceso.

REFERENCIAS

- [1] M. W. Rosegrant, X. Cai, y S. A. Cline, «Panorama Global del Agua Hasta el Año 2025: Como impedir una crisis inminente», *International Food Policy Research Institute (IFPRI), International Water Management Institute (IWMI)*, sep-2002.
- [2] PNUD, «Informe sobre Desarrollo Humano 2006: Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua», *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*, 2006.
- [3] ONU, «Water Scarcity», *UN WATER ORG*, 2005.
- [4] K. Pontious, B. Weidner, N. Guerin, A. Dates, O. Pierrakos, y K. Altaii, «Design of an atmospheric water generator: Harvesting water out of thin air», *2016 IEEE Syst. Inf. Eng. Des. Symp. SIEDS*, pp. 6-11, 2016.
- [5] A. Y. Hoekstra y M. M. Mekonnen, «The water footprint of humanity», *Proceeding Natl. Acad. Sci. U. S. Am. PNAS*, vol. 109, n.º 9, pp. 3232-3237, 2012.
- [6] R. Chávez y M. Costas, *PSICROMETRÍA. Principios y protocolos experimentales diversos*, 1ra ed. México: UNAM, Facultad de Química, 2015.
- [7] R. Rogers, *Física de las Nubes*. Barcelona: Editorial Reverte, 2003.
- [8] R. Rajput, *Ingeniería Termodinámica*, 3a ed. México: Cengage Learning Editores, S. A. de C. V., 2011.
- [9] X. Sun y D. Xia, «Condensation predicting simulation using varying physical characteristics method», *Int. Conf. Remote Sens. Environ. Transp. Eng. Nanjing*, pp. 3026-3029, 2011.
- [10] J. Primožic y R. Svecko, «Control in refrigeration systems», *IEEE Int. Conf. Ind. Technol. 2003 Maribor Slov.*, vol. 2, pp. 1040-1045, 2003.
- [11] S. A. Klein, D. T. Reindl, y K. Brownell, «Refrigeration system performance using liquid-suction heat exchangers», *Int. J. Refrig.*, vol. 23, n.º 8, pp. 588-596, 2000.
- [12] C. Thybo, R. Izadi-Zamanabadi, y H. Niemann, «Toward high performance in industrial refrigeration systems», *Proc. Int. Conf. Control Appl.*, vol. 2, pp. 915-920, 2002.
- [13] J. Oliden, J. Manrique, y W. Ipanaqué, «Model and control of a refrigeration system for fruit preservation», *2017 Chil. Conf. Electr. Electron. Eng. Inf. Commun. Technol. CHILECON*, pp. 1-7, 2017.
- [14] C. Cerro, «Developing solutions for dealing with water and food scarcity: Atmospheric water generator and urban farm tower», *2018 Adv. Sci. Eng. Technol. Int. Conf. ASET Abu Dhabi*, pp. 1-6, 2018.
- [15] M. Ordoñez, *Mantenimiento de Sistemas de Refrigeración y Lubricación de los Motores Térmicos*, 1ra Ed. Málaga: IC Editorial, 2012.

