NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA: CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO
13 - 16 DE SEPTIEMBRE 2022 CARTAGENA DE INDIAS, COLOMBIA
Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI

Implementación de un prototipo para la producción de agua potable usando un sistema de refrigeración por compresión de vapor alimentado de energía solar fotovoltaica

Elena Urán Usuga

Institución Universitaria Pascual Bravo
Medellín, Colombia

Resumen

El agua es un recurso indispensable para la vida de todos los ecosistemas que se encuentran en la tierra, la falta de este recurso hídrico representa diferentes problemáticas como: La escasez de agua, falta de sistemas de distribución y saneamiento.

Es sabido que, la falta del recurso hídrico en cantidad y calidad provoca efectos negativos en la biodiversidad, deteriorando las fuentes naturales de agua. En consecuencia, se muestran repercusiones importantes en la salud, alimentación, higiene, educación, equidad y estilo de vida de las personas. Las zonas más afectadas son la población de bajos recursos, ya que viven en lugares de difícil acceso, fuentes contaminadas y con escaso suministro de agua. Ahora bien, el crecimiento demográfico y el desarrollo tecnológico plantean retos significativos respecto a la falta de recurso hídrico e incremento en la contaminación.

Por otra parte, actualmente 1.100 millones de personas carecen de instalaciones necesarias para abastecerse de agua y 2.400 millones no tienen acceso a sistemas de saneamiento. Con el fin de mitigar esta problemática, se investiga sobre la cantidad de agua que necesita una persona para vivir. Por ejemplo, en niños de ambos sexos, de 1-3 años, se recomienda tomar 1 L/día de agua; y de 4-8 años, 1.2 L/día de agua; en hombres, 1.9 L/día de agua y para mujeres1.6 L/día de agua.

Basado en lo anteriormente mencionado, se encuentran alternativas baratas y sencillas para la obtención del agua en lugares remotos, donde no es posible garantizar el acceso a las

comunidades. La solución que se proyecta para estas zonas es capturar la humedad en el aire para la obtención de agua apta para el consumo.

Como se sabe, el agua dulce de la tierra contiene vapor de agua en el aire, con una cantidad total de 15 billones de litros. Incluso en áreas remotas y desiertos áridos, hay mucho vapor de agua. Además, el vapor de agua en el aire contiene menos impurezas y bacterias, por lo que, el agua recolectada de este espacio puede alcanzar el estándar de agua potable sin un complicado proceso de purificación.

Por medio de esta investigación, se desea implementar un sistema de refrigeración por compresión de vapor para obtención del agua potable en comunidades con intermitencias y deficiencias en el acceso al recurso vital en la ciudad de Medellín. Para el cumplimiento del objetivo, inicialmente se diseñará un modelo CAD del prototipo. Posteriormente se ensamblará el prototipo con base en el diseño CAD realizado. Luego se validará el prototipo construido, a través de pruebas de campo en condiciones reales. Con la información anterior, se realizará un análisis comparativo del diseño CAD y el prototipo real. Se espera que el prototipo sea funcional de tal forma que se puede generar la cantidad de agua condensada sea suficiente para satisfacer una persona.

Palabra clave: condensación; humedad relativa; sistemas de refrigeración

Abstract

Water is an indispensable resource for the life of all ecosystems found on earth, the lack of this water resource represents different problems such as: Water scarcity, lack of distribution systems and sanitation.

It is known that the lack of water resources in quantity and quality causes negative effects on biodiversity, deteriorating natural water sources. Consequently, there are important repercussions on people's health, food, hygiene, education, equity and lifestyle. The areas most affected are the low-income population, since they live in places of difficult access, contaminated sources and with scarce water supply. However, population growth and technological development pose significant challenges with respect to the lack of water resources and increased pollution.

On the other hand, 1.1 billion people currently lack water supply facilities and 2.4 billion have no access to sanitation systems. To mitigate this problem, research is being conducted on the amount of water a person needs to live. For example, in children of both sexes, 1-3 years old, it is recommended to drink 1 L/day of water; and 4-8 years old, 1.2 L/day of water; in men, 1.9 L/day of water and for women, 1.6 L/day of water.

Based on the above, there are cheap and simple alternatives for obtaining water in remote places, where it is not possible to guarantee access to the communities. The projected solution for these areas is to capture the humidity in the air to obtain water suitable for consumption.

As is known, fresh water on earth contains water vapor in the air, with a total amount of 15 trillion liters. Even in remote areas and arid deserts, there is a lot of water vapor. In addition, the water vapor in the air contains less impurities and bacteria, so the water collected from this space can reach the standard of drinking water without a complicated purification process.

Through this research, it is desired to implement a vapor compression refrigeration system to obtain drinking water in communities with intermittent and deficient access to this vital resource in the city of Medellin.

To achieve this objective, initially a CAD model of the prototype will be designed. Subsequently, the prototype will be assembled based on the CAD design. Then, the prototype will be validated through field tests in real conditions. With the previous information, a comparative analysis of the CAD design and the real prototype will be performed. It is expected that the prototype will be functional in such a way that it can generate enough condensed water to satisfy a person.

Keyword*: condensation; relative humidity; cooling systems*

1. Introducción

El agua es el elemento más abundante en la Tierra, únicamente 2,53% del total es agua dulce y el resto es agua salada. Aproximadamente las dos terceras partes del agua dulce se encuentran inmovilizadas en glaciares y al abrigo de nieves perpetuas. (UNESCO, 2003). El agua es parte esencial de los diferentes ecosistemas, marinos, agua dulce, desértico, montañoso, forestal y artificial.

La falta del recurso hídrico provoca efectos negativos en la biodiversidad, deteriorando las fuentes naturales de agua. Las zonas más afectadas son la población de bajos recursos porque viven en lugares de difícil acceso, fuentes contaminadas y con escaso suministro de agua.

El crecimiento demográfico y el desarrollo tecnológico plantean retos significativos respecto a la falta de recurso hídrico e incremento en la contaminación. A mediados del presente siglo, 7.000 millones de personas en 60 países sufrirán escasez de agua en el peor de los casos y en el mejor de estos, se tratará de 2.000 millones de personas en 48 países. (UNESCO, 2003). Actualmente, 1.100 millones de personas carecen de instalaciones necesarias para abastecerse de agua y 2.400 millones no tienen acceso a sistemas de saneamiento.

Podemos observar en la figura, el abastecimiento y saneamiento de agua asociado con la distribución de poblaciones sin servicio y para los diferentes continentes, con el fin de visualizar la problemática a nivel mundial.

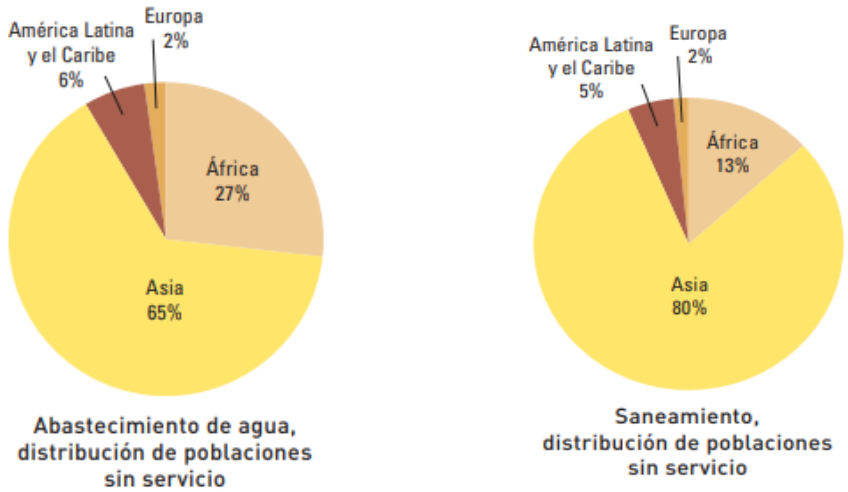

Figura 1. Población carente de acceso al agua y al saneamiento.
Fuente: https://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf

La población vulnerable que carece del recurso hídrico enfrenta una problemática precaria debido a situaciones de pobreza, enfermedades, escasez agua y el saneamiento, creando la necesidad de buscar soluciones que contribuyan a un cambio en el servicio obteniendo mejor calidad del agua, abastecimiento y saneamiento.

Este cambio refleja en una mejora en nuestro ecosistema ayudando a tener conciencia de la protección de la fuente, el tratamiento y la distribución del agua potable.

2. Formulación

¿Cómo se desarrolla un sistema de refrigeración por compresión de vapor que suministre agua potable para zonas de baja disponibilidad del recurso hídrico**?**

3. Objetivos

Objetivo General

Implementar un sistema de refrigeración por compresión de vapor para obtención del agua potable en comunidades con intermitencias y deficiencias en el acceso al recurso vital en la ciudad de Medellín.

Objetivos específicos

- Diseñar el sistema de refrigeración por compresión de vapor para la condensación del aire de la ciudad de Medellín por medio de una herramienta computacional CAD con ayuda del software SolidWorks.
- Construir un sistema de refrigeración por compresión de vapor para la determinación de la cantidad de recolección y condensación de agua obtenida.
- Realizar la purificación de agua por medio del cumplimiento de indicadores que rige el Decreto 1575 de 2007, el cual establece un Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo.

4. Marco Teórico

Para desarrollar este proyecto es importante conocer las definiciones de los componentes, con el fin de identificar los términos relevantes. Por eso, se abordarán los conceptos: ciclo de refrigeración, su funcionamiento, compuestos; coeficiente de rendimiento (COP); flujo másico; QL; QH; entre otros. Desde un primer momento, es necesario aclarar que las variaciones en cuanto a la denominación y significado se presentan de acuerdo con la posición de un autor.

4.1 Condensación

La condensación es el cambio del agua de su estado gaseoso (vapor de agua) a su estado líquido. Este fenómeno ocurre en la superficie fría de la atmosfera, se conoce como punto de roció, esto sucede cuando la temperatura del aire se calienta y se enfría disminuyendo la capacidad de almacenar el vapor de agua en exceso por lo tanto se condensa y formas las gotas de nube. (Dra. Carolina Vera)

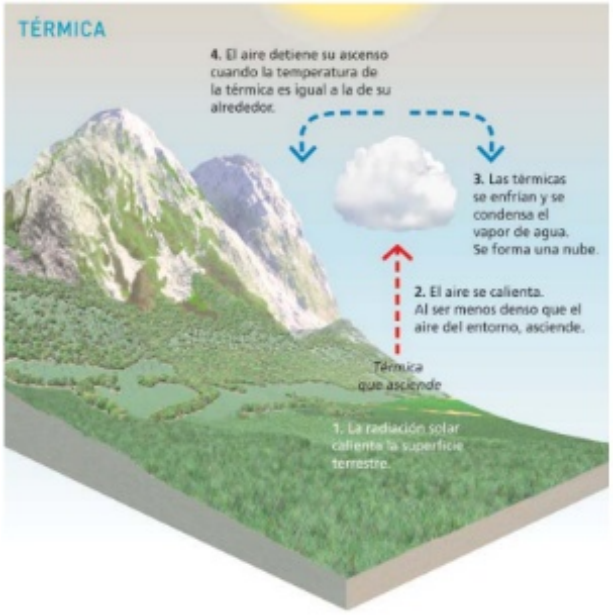

Figura 2. Ciclo de condensación. (Dra. Carolina Vera)

4.2 Vapor de agua

Cuando el agua tiene una variación en la energía calorífica, cambia la entalpia y el estado físico; a medida que la temperatura del fluido va aumentando, la densidad disminuye. La vaporización depende de la velocidad a la que se transmite el calor al agua. La temperatura a la cual se produce a ebullición depende de la pureza del agua y de la presión absoluta. (CAPITULO I.- CALORIMETRIA DEL VAPOR DE AGUA, s.f.)

4.3 Vapor de Agua Saturado

El vapor producido en la ebullición corresponde a la presión absoluta, este es llamado vapor Saturado porque puede estar completamente en partículas de agua sin vaporizar o llevado en suspensión, por esta razón el vapor puede estar seco o húmedo. (CAPITULO I.- CALORIMETRIA DEL VAPOR DE AGUA, s.f.)

4.4 Temperatura

Es una magnitud que refleja el nivel térmico de un cuerpo; es decir, su capacidad para ceder o perder energía calorífica e indica en qué sentido fluye el calor: de mayor a menor temperatura. Así entonces, el calor es una forma de energía que, para dos cuerpos en contacto, fluye del que tiene mayor hacia el de menor temperatura, siguiendo la tendencia de la naturaleza al equilibro térmico. (Adalberto Tejeda Martínez, 2018)

4.5 Punto de rocío

La temperatura a la cual el aire debe ser enfriado para llegar a saturarse a presión constante es llamada temperatura del punto de rocío. (Adalberto Tejeda Martínez, 2018)

4.6 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. 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.

4.7 Aire: Composición aceptada

La atmósfera terrestre es un sistema sumamente complejo. Su composición, temperatura y presión varían con la altitud entre límites muy amplios. Es por ello que, a partir de 1947, se acepta convencionalmente que la composición del aire a nivel del mar es la que indica la Tabla.

Componentes		Concentración Aproximada
Nitrógeno	(N)	78.03 % en volumen
Oxigeno	(O)	20.99 % en volumen
Dióxido de Carbono	(CO_2)	0.03 % en volumen
Argón	(Ar)	0.94 % en volumen
Neón	(Ne)	0.00123 % en volumen
Helio	(He)	0.0004 % en volumen
Criptón	(Kr)	0.00005 % en volumen
Xenón	(Xe)	0.000006 % en volumen
Hidrógeno	(H)	0.01 % en volumen
Metano	(CH_4)	0.0002 % en volumen
Oxido Nitroso	(N_2O)	0.00005 % en volumen
Vapor de Agua	(H_2O)	Variable
Ozono	(O_3)	Variable
Partícula		Variable

Figura 3. Composición del Aire.
Fuente: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/atmosfera

4.9 Coeficiente de rendimiento – COP

Para los refrigeradores se define el coeficiente de desempeño (COPR) según el mismo principio que para las máquinas térmicas siendo "lo que se saca" el calor | Qf | que se extrae del foco frío y "lo que cuesta" el trabajo | W | necesario para ello. A diferencia del rendimiento de una máquina térmica, el coeficiente de desempeño puede ser mayor que la unidad (normalmente lo es). (Sevilla, s.f.)

4.10 Flujo másico

Es la velocidad a la que la masa de una sustancia pasa a través de una superficie dada. De manera similar, el flujo volumétrico, es la velocidad a la que el volumen de un líquido pasa a través de una superficie dada. Estas medidas se utilizan ampliamente en la dinámica de fluidos, y con frecuencia es necesario convertir estas medidas de flujo. Nota que ambos líquidos y gases se consideran fluidos en el contexto de la dinámica de fluidos. Cantidad de material expresado en unidades de masa, que atraviesa una sección transversal de área en un ducto por unidad de tiempo (ejemplo, kg/min) (khan academy, s.f.).

4.8 Ciclo refrigeración sus componentes y funcionamiento.

Para saber cómo funciona el ciclo de refrigeración, se deben conocer cuáles son sus partes básicas y principales.

- Compresor.
- Condensador.
- Válvula de expansión.
- Evaporador.

Estos son los cuatro elementos principales que componen el ciclo de refrigeración, si faltara alguno de ellos, no sería posible que se ejecutaran las funciones correspondientes en el ciclo

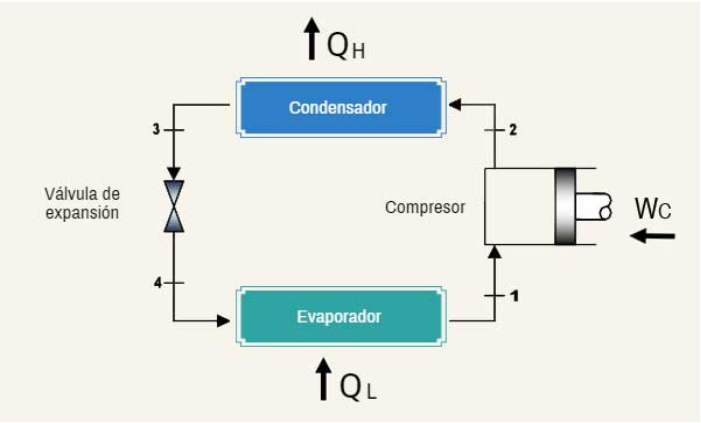

Figura 4. Sistema de Refrigeración por Compresión de Vapor. (Arnabat, 2021)

A continuación, se especifican cada una de las partes, además del objetivo de estas dentro del circuito frigorífico y su principio de funcionamiento.

- **Compresor**

Es una maquina diseñada para aumentar la presión y desplazar los fluidos compresibles como los gases y vapores. Su función en el ciclo de refrigeración consiste en aspirar el vapor del evaporador y ayudarlo a entrar en el condensador. Este trabajo lo consigue mediante la aportación de una energía exterior como la electricidad. (Arnabat, 2021)

Figura 5. Compresor Danfoss
Fuente: https://listado.mercadolibre.com.mx/compresor-secop#!messageGeolocation

- **Condensador**

El objetivo del condensador es extraer calor del refrigerante. Este calor en principio es la suma del calor absorbido por el evaporador y el producido por el trabajo de compresión.

Figura 6. Condensador.
Fuente: https://comofuncionahoy.com/condensador/

- **Válvula de expansión**

La válvula d expansión tiene como objetivo proporcionar la diferencia de presión establecida entre los lados de alta y baja presión del circuito de refrigeración. La forma más simple para lograrlo es mediante un tubo capilar entre el condensador y el evaporador, de manera que este le produzca una pérdida de carga al refrigerante. Esta solución, del tubo capilar, es válida para pequeñas instalaciones, pero cuando se trata de regular grandes cantidades de refrigerante es conveniente el uso de la válvula de expansión.

Figura 7. Válvula de expansión
Fuente: https://aireacondicionadototal.com/valvula-de-expansion-aire-acondicionado/

- **Evaporador**

Este elemento intercambia calor; por sus necesidades caloríficas, absorbe calor del medio en el que se encuentra, con lo cual lo enfría. Normalmente es de circulación forzada de aire mediante ventilador, y para este se utilizan tubos de aletas para aumentar la superficie

de intercambio. Ya a este punto, conociendo los principales elementos que forman el ciclo de refrigeración, solo queda saber cuál es el comportamiento del refrigerante en el evaporador, compresor, condensador y la válvula de expansión.

Figura 8. Evaporador
Fuente: https://aireacondicionadototal.com/evaporador-de-aire-acondicionado/

5. Metodología.

Este proyecto consiste en recolectar información especializada sobre los sistemas de refrigeración por compresión de vapor.

Primero, se investiga la temperatura y humedad relativa de la ciudad de Medellín con equipos de medición especializados (anemómetro, hidrómetro, termómetro digital). Con los datos obtenidos se comienzan a seleccionar los componentes principales del sistema. Al obtener los parámetros variables de la ciudad de Medellín, podemos determinar la cantidad de agua que se produce al día, de tal forma que se recolecte la mayor cantidad de agua posible.

5.1 Balances de humedad, temperatura y diseño preliminar de los componentes

Al obtener las especificaciones técnicas del equipo, se realizan los balances de temperatura y humada del aire, los cuales permiten obtener el punto de roció y flujo másico. Estas variables en el sistema son necesarias para dimensionar preliminarmente el diseño y selección de los diferentes componentes: Compresor, condensador, evaporador y válvula de expansión. Asimismo, se realiza el balance de energía, diagrama eléctrico y cálculos que permitan el funcionamiento adecuando.

5.2 Simulación de Resistencia Mecánica

En esta etapa se identifican los parámetros que rigen las condiciones geométricas del sistema de refrigeración por compresión de vapor, las cuales se analizan en programación CAD mediante el software SolidWorks, simulando cada uno de los componentes del sistema garantizando que la selección de los componentes es la adecuada.

5.3 Construcción y puesta a punto del prototipo

Una vez definidas las configuraciones geométricas para cada uno de los componentes del sistema de condensación, se elaboran los planos de detalle y el plano de montaje, se especifican y seleccionan los materiales requeridos para la construcción de la base, componentes principales y auxiliares (accesorios y sistema de control). Luego de tener el prototipo construido, se procederá a hacer las pruebas de estática, con el fin de poder medir la correlación de las cargas aplicadas en los materiales propuestos. Al finalizar los ensayos, se evaluará la eficiencia energética presente y el grado de confiabilidad del modelo.

5.4 Evaluación y caracterización del sistema desarrollado

Después de construir el prototipo se realizan una serie de pruebas preliminares de puesta a punto para evaluar el funcionamiento de cada componente. En esta etapa también se realiza el análisis del agua para luego ser tratada bajo el decreto colombiano y si cumple con los objetivos señalados, los cuales permiten evaluar el funcionamiento del prototipo y estudiar experimentalmente como generar mayor calidad de agua.

6. Referencias

- Adalberto Tejeda Martínez, N. C. (2018). LA HUMEDAD EN LA ATMOSFERA. En *LA HUMEDAD EN LA ATMOSFERA Bases físicas, instrumentos y aplicaciones* (pág. 265). Colima, México. Obtenido de http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/La-humedad-en-la-atmosfera_466.pdf
- Arnabat, I. (4 de 10 de 2021). *Calor y Frio.com*. Obtenido de https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-instalaciones-componentes/sistemas-de-refrigeracion-compresion-absorcion.html
- *CAPITULO I.- CALORIMETRÍA DEL VAPOR DE AGUA*. (s.f.). Obtenido de https://fim.umich.mx/teach/rguerrero/notas/CAPITULO%20I%20CALORIMETRIA%20DEL%20VAPOR%20DE%20AGUA.pdf
- Colombia, C. d. (2007). DECRETO 1575 DE 2007. República de Colombia. Obtenido de file:///C:/Users/Elena%20Uran%20Usuga/Downloads/decreto_1575_de_2007.pdf
- Dra. Carolina Vera, D. I. (s.f.). EL CICLO DEL AGUA. *EXPLORA LAS CIENCIAS EN EL MUNDO CONTEMPONAREO*, 16.
- *khan academy*. (s.f.). Obtenido de https://es.khanacademy.org/science/physics/fluids/fluid-dynamics/a/what-is-volume-flow-rate
- Sevilla, U. d. (s.f.). *Departamento de Física Aplicadas II*. (Refrigeradores y bombas de calor) Obtenido de http://laplace.us.es/wiki/index.php/Refrigeradores_y_bombas_de_calor
- UNESCO. (2003). WATER FOR PEOPLE, WATER FOR LIFE. *Organization (UNESCO), Paris, France*. Obtenido de file:///C:/Users/Elena%20Uran%20Usuga/Downloads/Agua%20para%20todos.pdf

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)