

Artisanal prototype to desalinate seawater with solar energy to obtain fresh water in rural areas

Prototipo artesanal para desalinizar agua de mar con energía solar para la obtención de agua dulce en zonas rurales

Manuel Jesús Luna Hernández

Maestro en Gestión Ambiental, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú,
mjesuslunah@yahoo.com, ORCID: 0000-0001-7487-8543,
<https://scholar.google.com/citations?user=R7fjbnAAAAJ>

Juan Carlos Goycochea Sandoval

Maestro en Contaminación Ambiental, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España,
jgoycocheasa17@ucvvirtual.edu.pe, ORCID: 0000-0002-9125-0720,
<https://scholar.google.es/citations?user=XjoH350AAAAJ&hl=es>

Elsa Rosa Chunga Pacherre

Maestra en Gestión Pública, Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú,
echungap@ucvvirtual.edu.pe, ORCID: 0000-0002-7457-7051
https://scholar.google.es/citations?hl=es&pli=1&user=CFWoY3gAAAAJ#d=gs_hdr_drw

Yubel Mayela Carrasco Nuñez

Maestra en Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Lurigancho-Chosica, Perú,
ymcarrasco@uncp.edu.pe, ORCID: 0000-0002-2842-5989
<https://scholar.google.com/citations?user=X1LvAI8AAAAJ&hl=es>

Revista Iberoamericana de la Educación
Vol – Especial 1 2021
e-ISSN: 2737-632x

Abstract: The study has made it possible to build an artisanal prototype (DPV) to desalinate seawater or purify polluted water using solar energy to produce fresh water in rural areas far from the drinking water network. An advantage of the equipment lies in using renewable energy, it can also be scaled to larger dimensions to obtain large amounts of fresh water; Likewise, the prototype, when operating with solar energy, does not produce greenhouse gases, mitigating climate change.

The solar prototype was selected based on criteria such as: low initial and maintenance costs, easy operation, replicability and scalability, low energy consumption, and use of national components. With a dome the prototype in 8 hours produces a volume of 6.5 liters desalinated water, at atmospheric pressure; Likewise, with two domes in similar conditions, it produces 7.5 liters of desalinated water. This amount of desalinated water increases to 20 liters when the prototype operates in a vacuum between 0.7 to 0.8 atmospheres.

It is recommended to continue with the technical characterization of the prototype, carrying out more runs in different places and weather seasons, and adding automatic control systems, to bring the prototype to the category of industrial equipment, controlled with artificial intelligence (AI).

Key words: Solar watermaker, seawater, seawater, solar prototype.

Resumen: El estudio ha permitido construir un prototipo artesanal (DPV) para desalinizar agua de mar o purificar aguas contaminadas utilizando energía solar para producir agua dulce en zonas rurales alejadas de la red de agua potable. Una ventaja del equipo radica en usar energía renovable, además se puede escalar a dimensiones mayores para obtener grandes cantidades de agua dulce; asimismo, el prototipo al operar con energía solar, no produce gases de efecto invernadero, atenuando el cambio climático.

El prototipo solar se seleccionó en base a criterios como: bajos costos iniciales y de mantenimiento, fácil operación, replicabilidad y escalabilidad, bajo consumo energético, y utilización de componentes nacionales. Con un domo el prototipo en 8 horas produce un volumen de 6.5 lt agua desalinizada, a presión atmosférica; asimismo, con dos domos en condiciones similares produce 7.5 lt de agua desalinizada. Esta cantidad de



agua desalinizada se incrementa hasta 20 lt cuando el prototipo opera en vacío entre 0.7 a 0.8 atmósferas.

Se recomienda continuar con la caracterización técnica del prototipo, realizando mayor cantidad de corridas en diferentes lugares y temporadas climáticas, y adicionándole sistemas de control automático, para llevar al prototipo hasta la categoría de equipo industrial, controlado con la inteligencia artificial (IA).

Palabras clave: Desalinizador solar, agua de mar, energía solar, prototipo solar.

INTRODUCTION

El estudio de investigación ha permitido construir un prototipo artesanal para desalinizar agua de mar o purificar aguas contaminadas utilizando energía solar para producir agua dulce en zonas rurales alejadas de la red de servicios de agua potable, el mismo que aprovecha los principios en los que se basa el fenómeno de la evaporación natural de líquidos, utilizando como fuente de energía la radiación solar Gaceta del IMTA (2007).

Una gran ventaja de este prototipo radica en que usa una fuente energética gratuita y renovable, además se puede escalar a dimensiones mayores para obtener grandes cantidades de agua dulce. Asimismo, el prototipo al operar con energía solar, no produce gases de efecto invernadero, atenuando de esta manera el cambio climático Bergues, C. (2009).

La construcción del prototipo artesanal permitirá su identificación y caracterización técnica; además, evidenciará las ventajas que presenta el mismo frente a la tecnología convencional para la obtención de agua dulce Berriz Pérez, L., Álvarez González, M. (2008). Asimismo, el prototipo solar



se seleccionó en base a criterios como: bajos costos iniciales y de mantenimiento, fácil operación y mantenimiento, replicabilidad y escalabilidad, bajo consumo energético y la utilización de la mayor cantidad de componentes nacionales en lo posible Bériz Pérez, L. (1976).

El aumento de la población y los cambios climatológicos que han experimentado algunas zonas del planeta, han producido un desequilibrio entre la demanda y el suministro de agua de calidad, no sólo para abastecer a la población, sino también para la agricultura y la industria Valencia J. (2000). Se estima que aproximadamente 2000 millones de personas carecen de una fuente segura de abastecimiento de agua potable en la actualidad. No obstante, esta escasez de agua potable se da en muchas zonas que poseen abundantes recursos de agua salobre, bien procedente del mar o bien procedente de pozos subterráneos, que se han ido salinizando con el paso de los años Ra Ximhai (2012).

1.1. Antecedentes y estado del arte

Lisa A. Fredin, Wärnmark, Sundström, Persson (2016), investigadores de la Universidad de Lund en Suecia han explicado satisfactoriamente cómo colorantes a base de hierro funcionan a nivel molecular en las células solares. Este hallazgo, afirman, acelerará el desarrollo de células solares de bajo costo y más respetuosas con el medio ambiente. El objetivo es ser capaz de utilizar colorantes a base de hierro en las células solares en el futuro. Durante décadas, investigadores de diferentes universidades han tratado de desarrollar colorantes a base de hierro, pero sin éxito. La razón de esta dificultad es que la consecución de las propiedades electrónicas adecuadas en los tintes a base de hierro es mucho más difícil en comparación con otros metales. Pero donde otros han fallado, los investigadores de Lund han tenido éxito, y su hallazgo puede redundar en un aumento



significativo de la demanda de paneles solares, ya que el uso de hierro en lugar de otros metales más caros y raros logrará que la producción de células solares y receptores de luz sea más barata y respetuosa con el medio ambiente.

Ballester (2015), sostiene el término “Riega con el Sol”, el cual es el lema de la última campaña emprendida por la Fundación Desarrollo Sostenible (FDS). Según esta entidad sin ánimo de lucro con sede en la Región de Murcia, el empleo de energía solar en la agricultura ahorra hasta un 70% del costo actual de la energía proporcionada por compañías eléctricas. La Fundación estima además que el precio del m³ de agua desalinizada con energía solar tendría un valor de 25.12 céntimos de dólar, en comparación a la que utiliza electricidad convencional que alcanza valores de 40 céntimos por m³. Esta campaña persigue el objetivo de facilitar la integración de la energía solar en la gestión del agua. Acorde con el presidente de la Fundación, Emilio Ballester, se pretende concientizar a la sociedad sobre el alto consumo energético que implica la administración del agua y sobre los beneficios ambientales, socio-laborales y económicos que supone el uso de las energías renovables, y más concretamente, de la energía solar fotovoltaica en la gestión de la misma.

Calle (2013), afirma que el sol es una fuente de energía abundante, intermitente e inagotable. Teóricamente la energía solar puede ser usada por cualquier proceso que requiera calor o potencia, por lo que se ha incrementado el interés general de la utilización de ésta como fuente de energía alterna. El abastecimiento de agua contribuye de varias e importantes maneras al desarrollo económico y social de un país. Optimizar el método de desalinización del agua de mar, mediante el uso de la energía solar.

Encontrar una aplicación útil en el departamento de Arequipa al proyecto de "desalinización del agua de mar" para que se pueda aprovechar para el consumo humano, la agricultura, entre otras. Hay dos opciones para desalinizar el agua. Desalinizadoras baratas (\$80 o \$120 millones) con agua cara o desalinizadoras caras (\$250 a \$350 millones) que dan agua barata. Creo que la única solución es que se construya una desalinizadora grande

donde el precio del metro cúbico esté al alcance de los consumidores, que ronda entre \$ 0.30 a \$ 0.50 el metro cúbico.

Villalobos (2015), está entre los investigadores del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) que apoyados por la compañía Jain Irrigations Systems lograron ganar el premio Desal 2015 con un proyecto en el que plantean un método de desalinización de agua de bajo costo potenciado con energía solar. El método de nombre Electrodiálisis es un proyecto que lleva varios años de desarrollo en el MIT. Éste ganó por cumplir de manera correcta con los tres requerimientos para el premio Desal: es eficiente, sustentable y de bajo costo. Amos Winter, científico involucrado en este proyecto señala los elementos más importantes de este método: La electrodiálisis funciona haciendo pasar una corriente de agua entre dos electrodos con cargas opuestas. Debido a que la sal disuelta en agua consiste en iones positivos y negativos, los electrodos jalan a los iones fuera del agua, dejando el agua más fresca en el centro de la corriente. Una serie de membranas separa la corriente de agua potable de las corrientes cada vez más saladas.

Los Ecológicos (2015), a diferencia de otros sistemas que utilizan energía solar, donde el calentamiento, la evaporación y condensación ocurre en un solo aparato, nosotros usaremos dos equipos conectados entre sí, uno para calentar el agua y el aire y otro donde se realizará la evaporación. Aumentaremos la temperatura del agua que se va a evaporar en la cámara de evaporación del desalinizador lo más posible, mediante un calentamiento de ésta en el colector solar, usando la energía solar. Aumentaremos también la temperatura del aire que arrastrará el vapor en la cámara de evaporación, usando aire calentado con la energía solar, en el colector solar. Aumentaremos la velocidad de flujo de aire caliente, dentro del equipo usando un extractor de aire. El extractor también servirá para sacar el vapor generado en la cámara de evaporación.

Aumentaremos el área de la masa de evaporación usando un sistema de rodillos giratorios en los que se mueve una banda. Esta banda es una malla que permite que se adhiera el agua para ser transportada dentro de la cámara de evaporación, pero también permite el paso del aire caliente por sus orificios. Disminuiremos el espesor de la capa de agua en contacto con el aire caliente, humedeciendo la banda de malla en el líquido a evaporar.

1.2. Planteamiento del problema

Existen sistemas que utilizan energía solar que constan de dos equipos conectados entre sí, uno para calentar el agua de mar y el aire de ingreso, y otro equipo donde se realizará la evaporación y luego la condensación. En el caso nuestro, el prototipo solar constará de un solo equipo, en donde se realizará el calentamiento, la evaporación y la condensación.

A este respecto también Hernández, Fernández y Baptista (2003), se preguntan y responden ¿Qué es plantear el problema de investigación?... En realidad, plantear el problema no es sino afinar y estructurar más formalmente la idea de investigación.

A partir de las teorías expuestas podemos formular el problema general: ¿La implementación del prototipo artesanal desalinizador de agua de mar con energía solar, permitirá la obtención de agua dulce?

CARE (2021), El Perú es uno de los países más ricos del mundo en agua, el problema se encuentra principalmente, en la distribución desigual de este recurso. Según la Autoridad Nacional del Agua, el volumen anual promedio de agua en Perú es de 1'768172 millones de metros cúbicos, lo cual podría hacer pensar que el país no presenta ningún problema en el abastecimiento de este recurso; sin embargo, el 97.7% de la disponibilidad de agua está distribuida en la Sierra y Amazonía, que alberga tan solo el 30.76% de la población. Por otro lado, el 2.18% de la disponibilidad de agua se encuentra en la vertiente del Pacífico que alberga al 65.98% de la población. El estrés hídrico en la costa peruana es elevado y

preocupante. Según la Encuesta Nacional de Hogares 2018 (ENAH0) del INEI, más de 3.6 millones de peruanas y peruanos no tienen acceso al agua potable. De este número, unas 342 mil personas viven en Lima y se abastecen, sobre todo, a través de camiones cisterna, lo que les supone un elevado costo a diferencia de los hogares que cuentan con este servicio.

La carencia de agua potable se debe tanto a la falta de inversiones en sistemas de agua como a su mantenimiento inadecuado. Cerca del 40% del agua en los sistemas de suministro de agua potable en los países en desarrollo como el nuestro se pierde por fugas, conexiones ilegales y vandalismo. En algunos países, el agua potable es altamente subsidiada para aquellos conectados al sistema, generalmente son personas en una mejor situación económica, mientras que la población pobre que no está conectada al sistema, dependen de vendedores privados costosos o de fuentes inseguras.

1.3. Justificación

El cambio climático que se está experimentado durante los últimos años, ha permitido que la opinión pública se sensibilice más sobre el tema de la escasez de agua dulce, interesándose por la desalinización del agua de mar. Pero hay que decir que la desalinización del agua de mar no es un producto de la tecnología moderna, ya que sus orígenes se remontan a siglos antes de Jesucristo. Lo que si es cierto, es que esta tecnología ha ido perfeccionándose a lo largo de los siglos, experimentado un gran auge durante las últimas décadas del siglo XXI Farid, M.M. Parekh, S. Selman J.R. and Al – Hallaj, S. (2002).

Casi el 97% del agua del planeta tierra es salada y solo el 3% es agua dulce. Y de aquí a unos años el consumo del agua por los humanos aumentará. Imagínense si se pudiera transformar el agua de mar en agua potable. Vamos a desalinizar el agua de mar, usando la energía solar para poder realizar este proceso. Se estima que el volumen total de agua en el mundo es de 1.4 billones de Km³, de los cuales más del 97% es agua de mar que todavía no

puede ser desalinizada en gran escala (se necesitan, cerca de 15 KWh de energía para producir 1 galón de agua destilada). Se va a realizar el adecuado proceso para el buen desarrollo del proyecto de transferencia de calor, utilizando las herramientas de consulta (Luigee Calle Oré).

UNESCO (2020), La UNESCO predijo que para el año 2020 la escasez de agua se convertiría en uno de los peores problemas alrededor del mundo; tanto es así de grave que en el Plan de Abastecimiento del Agua y Gestión Integrada de las aguas residuales para Guanacaste, en Costa Rica declararon en 2008, de interés nacional y de alta prioridad los proyectos de iniciativa pública o privada que promovieran procesos de desalinización del agua marina para el consumo humano, riego y demás usos.

- **Implicancia práctica:** la implementación del prototipo solar contribuirá a disponer de tecnologías viables para desalinizar agua de mar para la agricultura y consumo humano en zonas rurales, donde este recurso es escaso; estableciéndose características técnicas de su construcción y operación, disminuyendo los costos de energía fósil.
- **Conveniencia:** la implementación del prototipo solar aportará mejoras al proceso de producción de agua potable, en áreas donde no se cuenta con el servicio, reduciendo el uso de energía fósil, menores impactos ambientales negativos, y mayor seguridad y salud en el trabajo.
- **Relevancia social:** contribuirá al uso racional de los recursos energéticos y agua dulce natural, permitiendo mayor disponibilidad de los recursos naturales, generando menores impactos negativos a la salud y al medio ambiente y mejorando la calidad de vida de la población. Estas contribuciones del prototipo solar, facilitará a las organizaciones productivas o de servicios, cumplir con su responsabilidad socio-ambiental.

MATERIALS AND METHODS

La presente investigación fue de enfoque cuantitativo porque usa la recaudación de datos con el fin de comprobar la hipótesis y estadística. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). El tipo de investigación fue básica porque contribuye al conocimiento de la problemática de estudio (Hernández, Fernández y Baptista 2010). El diseño de la investigación es experimental, porque un conjunto de variables se mantienen constantes, mientras que el otro conjunto de variables se miden como sujeto del experimento. Es importante para una investigación experimental establecer la causa y el efecto de un fenómeno, lo que significa que debe ser claro que los efectos observados en un experimento se deben a la causa. La metodología experimental se fundamenta en tres grandes pilares o componentes básicos: aleatorización, control e hipótesis de causalidad (Gad 1999). El método fue hipotético deductivo, ya que se probaron las hipótesis y se obtuvo conclusiones. (Hernández et al, 2006).

Asimismo, la presente investigación posee un alcance amplio a nivel de trabajo piloto, por lo que puede llegar a generar un impacto positivo directo sobre una población específica; sin embargo, es un estudio que permite generar en el futuro, investigaciones que sugieran su implementación en lugares determinados del país, donde existan aguas contaminadas o salobres, careciendo estos lugares de facilidades de acceso al agua potable.

Los criterios para la selección de muestra fueron:

- Bajos costos iniciales y de mantenimiento.
- Fácil operación y mantenimiento.
- Fácil Transporte.
- Replicabilidad y escalabilidad.
- Bajo consumo energético.
- La utilización de la mayor cantidad de componentes nacionales posibles.

La técnica de recolección de datos estuvo basada en fuentes primarias y secundarias, a través de trabajos de campo realizados en las compañías u organizaciones dedicadas a la venta e investigación respectivamente de equipos dedicados a la desalinización solar, de la siguiente manera:

Etapa de Planificación

- Se coordinó con los representantes de organizaciones dedicadas a la venta e investigación de equipos dedicados a la desalinización solar y recopilación de información.
- Se coordinó, con los responsables del área de prueba del prototipo para definir el inicio de los trabajos y aprobación del plan de trabajo.
- Etapa de Gabinete: se revisó información técnica proporcionada por las compañías u organizaciones, sobre los detalles técnicos de las actividades que se desarrollaron en las etapas de construcción y operación del prototipo (acondicionamiento de las instalaciones) y operación (memorias descriptivas, esquemas, etc.).
- Etapa de Campo: se reconoció las instalaciones donde operó el prototipo: Reconocimiento del ámbito de influencia del proyecto, determinación de las posibles fuentes de contaminación, identificación de los principales factores productivos, mediciones de parámetros energéticos del área, etc.

Actividades para la construcción del prototipo

En la elaboración y construcción del prototipo, se evaluaron diversos materiales a utilizar, seleccionando los que fuesen de menor corrosión y de mayor conductividad calórica, teniendo como resultado la mejor opción para el sistema, en segunda instancia, se elaboró una secuencia de procesos para facilitar el montaje y ensamblaje de las partes del equipo, a fin de poder mejorar y optimizar los tiempos de construcción; además, se realizaron las siguientes actividades:

- Revisión bibliográfica especializada: Se efectuó el procesamiento, sistematización, evaluación y análisis de la información obtenida.
- Desarrollo de cálculos que simulen el comportamiento del sistema en la condición de operación, para el posterior dimensionamiento del prototipo solar. Diseño computarizado 3D del prototipo solar y selección de materiales de acuerdo a su resistencia.
- Se seccionó los materiales para la construcción del prototipo artesanal: Discusión de los posibles elementos constituyentes y materia prima como alternativa para la construcción del prototipo. Preferentemente, se inició la construcción con componentes de aluminio o cobre para la bandeja de evaporación, material de acrílico para los domos evaporador-condensador y fibra de vidrio para la carcasa por donde discurre el vapor condensado. Prueba de estanqueidad de los ductos de cobre instalados. Construcción del equipo, ductos de aire y soportes estructurales. Adquisición de un extractor manual de vapor-aire para hacer vacío.
- Construcción y operación del prototipo: Se realizó el montaje del prototipo y se inició el protocolo de prueba para su funcionamiento.
- Análisis de parámetros del prototipo: Se realizó el análisis de los factores operativos, se tomaron los datos experimentales y se interpretaron los resultados.

Partes y funciones en el prototipo DPV

- **Domos de acrílico**, montados concéntricamente, cuya función principal es permitir y acumular el calor producido por la radiación solar; asimismo, retener el vapor y el condensado que se va formando similar a niebla en la superficie interna del domo de menor diámetro.
- **Bandeja de evaporación de cobre**, se ubica en la parte inferior de los domos de acrílico, y posee pendiente anular en forma de plato cónico, que recibe por la parte central inferior y por diferencia de nivel, agua de mar precalentada con el vapor que discurre externamente por una tubería concéntrica. La bandeja de evaporación no es visible a simple vista, ya que se encuentra ubicada internamente en la carcasa de fibra de vidrio.

- **Carcasa de fibra de vidrio**, encargada de recolectar el vapor condensado, drenándose el mismo hacia una tubería externa ubicada en la parte central inferior, y que transfiere su calor al agua de mar fría que asciende por una tubería interna hacia la bandeja de evaporación.
- **Intercambiador de calor**, ubicado en la parte central inferior de la carcasa de fibra de vidrio y de la bandeja de evaporación de cobre, y en posición vertical; asimismo, está formado por dos tuberías concéntricas, siendo la externa por donde drena el vapor que se va condensado al transferir su calor al agua fría de mar que va ascendiendo hacia la bandeja de evaporación.
- **Cámara de evaporación**, conformada por los domos de acrílico y la bandeja de evaporación de cobre.
- **Tanque cisterna**, provisto de boya para el control de nivel, abastece de agua de mar (por gravedad debido a la diferencia de nivel) a la bandeja de evaporación de cobre, por intermedio de una tubería interna ubicada en su parte inferior central.
- **Estructura metálica de soporte**, conformado por tuberías de fierro tipo andamio, que soporta a las partes y accesorios del equipo DPV.

RESULTS

De acuerdo al diseño del prototipo en nuestro caso lo denominaremos destilador parabólico de vacío (DPV), que consta de un solo equipo donde se realizó el calentamiento, la evaporación y la condensación, llegando hasta 80 °C de temperatura en la bandeja de evaporación que contiene el agua de mar. Asimismo, aumentó al máximo posible la temperatura del aire que arrastró el vapor de la cámara de evaporación del desalinizador. También, fue necesario aumentar la velocidad de flujo de vapor y aire caliente, dentro de la cámara del evaporador, usando un extractor manual de vapor-aire para hacer vacío; el mismo que sirvió para extraer el vapor generado en la cámara de evaporación.

El equipo presenta cuatro innovaciones para el aumento de la eficiencia en la producción de agua desalinizada, por cuanto utiliza domo doble de material acrílico para la captación homogénea del calor solar, creando un invernadero que retiene el calor, aumentando de esta manera la evaporación del agua marina en la bandeja de evaporación, la misma que posee una pendiente anular dirigida hacia el centro en forma de plato cónico; asimismo, la condensación del vapor se acelera por que el intercambiador de calor aprovecha el ingreso de agua fría de mar que asciende a contraflujo con la salida del vapor que drena, ingresando el agua fría de mar por gravedad por la parte inferior central de la bandeja de evaporación, por una tubería interna concéntrica a la tubería externa de drenaje de vapor a contraflujo, lo que permite la condensación del vapor rápidamente.

El ingreso al prototipo de agua de mar por gravedad y a temperatura ambiente se produce por la diferencia de nivel en el que se ubica el tanque cisterna de alimentación de agua de mar; además, el equipo posee un dispositivo manual para producir vacío en la cámara de evaporación de 0.7 a 0.8 atmósferas, permitiendo de esta manera disminuir la temperatura de evaporación del agua de mar, lográndose aumentar el flujo de condensados hasta 20 lt en una jornada de 8 horas.

El prototipo fue instalado en el mes de enero del año 2019, en una zona de Lima para la producción de agua desalinizada a partir de agua de mar cuya composición promedio se indica en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1: Composición química promedio del agua de mar

| Componente | Cantidad | Unidades |
|-------------------------|-----------------|-----------------|
| Cloruro de sodio | 24.0 | gramos |
| Cloruro de magnesio | 5.0 | gramos |
| Sulfato neutro de sodio | 4.0 | gramos |
| Cloruro de calcio | 1.1 | gramos |

| | | |
|----------------------|-------|------------|
| Cloruro de potasio | 0.7 | gramos |
| Bicarbonato de sodio | 0.2 | gramos |
| Bromuro de sodio | 0.096 | gramos |
| Ácido bórico | 0.026 | gramos |
| Cloruro de estroncio | 0.024 | gramos |
| Fluoruro de sodio | 0.003 | gramos |
| Agua destilada | 1.000 | mililitros |

Fuente: Elaborado por los investigadores

En la Tabla N° 2 se puede observar que en una jornada de 8 horas el equipo produce 6.5 lt de agua desalinizada, trabajando con un solo domo de acrílico y a presión atmosférica. Asimismo, se puede observar que en horas de la tarde (12-16 horas) donde se presentan mayores temperaturas (27-28 °C), es mayor la producción de agua desalada (990-1000 mml).

Tabla N° 2: Agua desalada en el prototipo con un domo (enero 2019)

| Hora | Temperatura promedio (°C) | Agua desalada (mml) |
|--------------|----------------------------------|----------------------------|
| 08 - 09 | 18 | 600 |
| 09 - 10 | 19 | 650 |
| 10 - 11 | 20 | 710 |
| 11 - 12 | 22 | 750 |
| 12 - 13 | 27 | 990 |
| 13 - 14 | 28 | 1 000 |
| 15 - 16 | 27 | 1 000 |
| 16 - 17 | 22 | 800 |
| 8 hr. | | 6 500 |

Fuente: Elaborado por los investigadores

En la Tabla N° 3 se observa que en una jornada de 8 horas el equipo produce 7.5 lt de agua desalinizada, trabajando con dos domos de acrílico y a presión atmosférica. Asimismo, se puede observar que en horas de la tarde (12-16 horas) donde se presentan mayores temperaturas (26-28 °C), es mayor la producción de agua desalada (1100-1400 mml).

Tabla N° 3: Agua desalada en el prototipo con dos domos (enero 2019)

| Hora | Temperatura promedio (°C) | Agua desalada (mml) |
|--------------|----------------------------------|----------------------------|
| 08 - 09 | 19 | 700 |
| 09 – 10 | 19 | 780 |
| 10 – 11 | 20 | 810 |
| 11 – 12 | 23 | 890 |
| 12 – 13 | 26 | 1 100 |
| 13 – 14 | 28 | 1 400 |
| 15 – 16 | 26 | 1 000 |
| 16 - 17 | 21 | 820 |
| 8 hr. | | 7 500 |

Fuente: Elaborado por los investigadores

En la Tabla N° 4 se puede observar que en una jornada de 8 horas el equipo produce hasta 20 lt de agua desalinizada, trabajando el mismo con dos domos de acrílico y a presión de vacío de 0.7 a 0.8 atmosferas. Cabe precisar que la producción de vacío para extraer el vapor que luego se condensa, se produce de forma manual, y hay que realizarlo constantemente. Asimismo, se puede observar que en horas de la tarde (12-16 horas) donde se presentan mayores temperaturas (26-28 °C), es mayor la producción de agua desalada (3100-3950 mml).

Tabla N° 4: Agua desalada en el prototipo con dos domos y en vacío (enero 2019)

| Hora | Temperatura promedio (°C) | Agua desalada (mml) |
|--------------|----------------------------------|----------------------------|
| 08 – 09 | 19 | 1 500 |
| 09 – 10 | 19 | 1 550 |
| 10 – 11 | 20 | 1 800 |
| 11 – 12 | 23 | 2 300 |
| 12 – 13 | 26 | 3 100 |
| 13 – 14 | 28 | 3 950 |
| 15 – 16 | 25 | 3 800 |
| 16 - 17 | 20 | 2 000 |
| 8 hr. | | 20 000 |

Fuente: Elaborado por los investigadores

Asimismo, de la Tabla No 4 se deduce que el DPV produce 20 litros diarios de agua desalada, y si consideramos las dimensiones proyectadas del área del domo sobre la bandeja de evaporación, es aproximadamente de un metro cuadrado; por tanto, la producción de agua desalinizada sería de 20 litros/m².

DISCUSSION

Existen diversos métodos para la desalinización de agua de mar, los que pueden ser clasificados en una serie de grupos según las características de funcionamiento que presenten; por tanto, es importante identificar el método más adecuado para cumplir el objetivo definido, considerando todos los recursos disponibles como son: los económicos, humanos, materiales, geográficos, entre otros. Un elemento fundamental para el desarrollo del estudio de investigación es la utilización de energías renovables como la energía solar; siendo el ámbito definido en este estudio de investigación las zonas rurales, debido a que estas son las más afectadas por la carencia de agua potable y además se caracterizan por tener altas emisiones de radiación solar.

En nuestro caso, el diseño del destilador parabólico de vacío (DPV) presenta cuatro innovaciones tecnológicas, como son: domo doble, pendiente anular de la bandeja de evaporación en forma de plato cónico, intercambiador de calor a contraflujo y dispositivo manual para producir vacío. Por las facilidades tecnológicas mencionadas, el prototipo permite suministrar la máxima cantidad de calor al agua de mar, que se evapora en la cámara de evaporación del desalinizador, considerando que en nuestro caso se trata de un solo equipo donde se realiza el calentamiento, la evaporación y la condensación, llegando hasta 80 °C de temperatura en la bandeja de evaporación que contiene el agua de mar. Asimismo, aumentó al máximo posible la temperatura del aire que arrastra el vapor de la cámara de evaporación del desalinizador. También, fue necesario aumentar la velocidad de flujo de vapor y aire caliente, dentro de la cámara del evaporador, usando un extractor manual de vapor-aire para hacer vacío; el mismo que sirvió para extraer el vapor generado en la cámara de evaporación.

Los datos experimentales muestran que en una jornada de 8 horas el equipo produce 6.5 lt de agua desalinizada, trabajando el equipo con un solo domo de acrílico y a presión atmosférica. En el caso que se opera con dos domos y a una atmósfera, se obtienen 7.5 lt de agua desalinizada, por el efecto de invernadero que produce el espacio entre los dos domos de acrílico. Asimismo, se puede observar en las Tablas Nos 2, 3 y 4, que en horas de la tarde (12-16 horas) donde se presentan mayores temperaturas (27-28 °C), es mayor la producción de agua desalada.

El equipo produce hasta 20 lt de agua desalinizada, trabajando con dos domos de acrílico en una jornada de 8 horas y a presión de vacío de 0.7 a 0.8 atmósferas; este fenómeno es debido a la menor presión sobre la superficie del líquido, por tanto las moléculas de agua líquida pasan más fácilmente a estado de vapor; ya que el punto de ebullición de un líquido varía según la presión que lo rodea. Un líquido en un vacío parcial tiene un punto de ebullición más bajo que cuando ese líquido está a la presión atmosférica.

A continuación “Se presentan los resultados experimentales obtenidos con diferentes destiladores solares, como producción, rendimiento, costo de fabricación y costo de producción de agua desalada. Para este trabajo se han utilizado un destilador cilíndrico parabólico (DCP), un destilador Fresnel lineal (DFL), un destilador de bandeja escalonada modificado (DBEm), un destilador híbrido Fresnel lineal – bandeja escalonada modificado (DFL+DBEm) y un destilador de bandeja escalonada modificado con tubos de borosilicato al vacío (DBEm+tubos). Con los resultados obtenidos se ha determinado que el destilador que presenta mayor producción de agua desalada es el híbrido DFL+DBEm con 10.5 litros diarios y el de menor producción es el DBEm con 3.96 litros. Sin embargo, si se consideran las dimensiones de los destiladores, el DBEm es el que más produce con 5.9 litros/m², mientras que el menor es el DFL+DBEm con solo 1.7 litros/m². En relación a los costos de producción de agua desalada, el agua más costosa se obtiene del DCP con 0.66 soles/litro, mientras que el agua más barata se obtiene en el DBEm con 0.13 soles/litro. En conclusión, el destilador más simple y barato, el DBEm, es el que produce el agua desalada más barata” (Erich Saettone 2015, Análisis comparativo entre diferentes destiladores solares de agua marina, Universidad de Lima, Instituto de Investigación Científica (IDIC)).

Finalmente, si comparamos los tipos de equipos mencionados anteriormente, el destilador parabólico de vacío (DPV) presenta ventajas comparativas, al producir 20 litros diarios de agua desalada, con un rendimiento de 20 litros/m².

CONCLUSIONS

El estudio de investigación y la revisión bibliográfica sobre las diversas tecnologías que se utilizan a nivel global, en el proceso de desalinización de agua de mar para abastecer la evidente escasez de agua dulce y potable que presenta la humanidad doliente; encuentra una alternativa a través de la destilación solar, la misma que es un proceso económico y de mayor accesibilidad para poblaciones rurales, donde las condiciones de abastecimiento del

recurso hídrico son limitadas y contrariamente la radiación solar de esas zonas es favorable al diseño de estos equipos.

El prototipo (DPV) tiene mayor rendimiento y eficiencia comparado con los otros tipos de equipos similares, en la producción de agua desalinizada, esto es debido a las cuatro innovaciones tecnológicas en su diseño (domo doble de acrílico, pendiente anular de la bandeja de evaporación de cobre, intercambiador de calor a contraflujo y dispositivo manual para producir vacío) y además opera exclusivamente con energía solar, evitando la emisiones de gases de efecto invernadero.

Con un solo domo en una jornada de 8 horas produce un volumen de 6.5 lt agua desalinizada, a presión atmosférica, asimismo con dos domos en condiciones similares produce 7.5 lt de agua desalinizada. Esta cantidad de agua desalinizada se ve incrementada significativamente hasta 20 lt cuando opera en vacío entre 0.7 a 0.8 atmosferas.

El extractor de vapor-aire para hacer vacío, al ser de uso manual, su operación es tediosa en las jornadas de trabajo, por lo que puede reemplazarse por otro extractor a motor eléctrico, produciéndose la electricidad con paneles fotovoltaicos.

El prototipo (DPV) es una alternativa viable y puede ser potenciado en la producción de agua desalinizada, si se adiciona una fuente de energía que ejerza una influencia calorífica importante en la aceleración de la evaporación, tal como resistencias eléctricas, produciéndose la electricidad con paneles fotovoltaicos.

El prototipo es replicable y escalable para producir cantidades significativas de agua desalinizada.

En base a los resultado obtenidos, existen dos factores que afectaron el estudio durante su realización, el primero es el tiempo que tarda la evaporación para llevar a cabo el proceso

total en los que fueron necesarios días completos, así como la incidencia de los rayos soles y las estaciones del año, no permitiendo la utilización del prototipo en días nublados, de lluvia o en las noches; por tanto, se recomienda su implementación en zonas geográficas de radiación solar constante durante las estaciones del año.

Otro factor que presento dificultades, fue el material de acrílico con el que se construyó los domos del desalinizador, el cual fue adquirido en forma de planchas planas, por lo que se tuvo que darles forma de domos a través de un proceso de horneado.

Otra dificultad fue el proceso para realizar la estanqueidad del equipo, entre los domos de acrílico de evaporación-condensación y la bandeja de evaporación ubicada en la parte inferior, especialmente para su trabajo en vacío.

Se recomienda continuar con la caracterización técnica del prototipo, realizando mayor cantidad de corridas en diferentes lugares y temporadas climáticas, adicionándole accesorios automáticos de control, para convertirlo en modelo tipo industrial, controlado con la inteligencia artificial (IA).

REFERENCES

- Bergues, C. (2009). Algunos aspectos de los cambios tecnológicos en secadores solares cubanos. *Rev. Tecnología Química*, (2).
- Bérriz Pérez, L. (1976). Desarrollo de un prototipo de calentador solar de agua, en informe del ININTEF.
- Bérriz Pérez, L., Álvarez González, M. (2008). Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares. La Habana: Editorial CUBASOLAR.
- CARE Peru 2021, Escasez de Agua Uno de los Mayores Desafíos del Siglo XXI.
- Crean método barato para potabilizar agua de mar. *Notimex/México* 13/02/2014. Milenio Digital.

Daniel Villalobos (2015), artículo: “Se Puede Extraer Hasta un 90% de Agua Potable con la Técnica Electrodialisis”.

Desalinización del agua EcuRed. Conocimiento con todos y para todos 9 de febrero del 2015.

Emilio Ballester, La Energía Solar Abarata el Riego Hasta en un 70% (www.energias-renovables.com, 07/Setiembre/2015), artículo: “Riega con el Sol”.

Farid, M.M. Parekh, S. Selman J.R. and Al – Hallaj, S. “Solar desalination with a humidification – dehumidification cycle: mathematical modeling of the unit”, Desalination 151 (2002).

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2006). Metodología de la Investigación. México: Mc Graw Hill.

Lisa A. Fredin; Kenneth Wärnmark; Villy Sundström; Petter Persson (www.energias-renovables.com, 24/Marzo/2016), artículo: “Células Solares del Futuro Podrían Basarse en Moléculas de Hierro”.

Luigee Calle Oré (10 de Abril de 2013), artículo: “Desalinización de Agua de Mar con Energía Solar”.

Los Ecológicos (seudónimo, folio de inscripción 1176124, 2015), artículo: “Desalinizador de Agua de Mar”.

La desalación del agua. Gaceta del IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua No. 6. Octubre del 2007.

Peuser, F. Remmers, K. Schnauss, M. (2004), “Sistemas Solares Térmicos: Diseño e Instalación”. SolarPraxis.

Técnicas para desalinizar agua de mar y su desarrollo en México. Ra Ximhai, vol. 8, núm. 2., mayo-agosto, 2012, pp. 57-68. Universidad Autónoma Indígena de México.

UNESCO (2020), Informe del 2020 - Agua y cambio climático.

Valencia J. (2000), Teoría y práctica de la purificación del agua. Editorial Mc GrawHill, Bogotá, Colombia, pp. 793.



ANNEX

Figura 1: Desalinizador parabólico de vacío (DPV)



Fuente: Elaborado por los investigadores

Modo de operación del desalinizador parabólico de vacío (DPV)

En la figura se observa el prototipo denominado desalinizador parabólico de vacío (DPV), provisto en la parte superior de doble domo de material acrílico, el cual permite retener la evaporación-condensación, unida herméticamente por la parte inferior a una carcasa de fibra de vidrio que colecta el vapor condensado, escurriéndose el mismo hacia una tubería externa ubicada en la parte inferior central. Asimismo, se puede observar la estructura de tubería metálica tipo andamio que soporta al equipo

En la parte superior derecha se ubica el tanque cisterna con su boya de control de nivel, que abastece de agua de mar (por gravedad debido a la diferencia de nivel) por intermedio de una tubería interna ubicada en la parte inferior central hacia la bandeja de evaporación de

cobre, la misma que no es visible por estar ubicada internamente en la carcasa de fibra de vidrio.

El intercambiador de calor se ubica en la parte inferior central de manera vertical, formado por dos tuberías concéntricas, escurriéndose el vapor condensado por la tubería externa, y ascendiendo por la tubería interna el agua de fría de mar, depositándose en la bandeja de evaporación de cobre.

El dispositivo para hacer vacío se ubica en la parte final de la tubería externa del vapor condensado, ubicándose cerca la salida de condensado, que es el agua desalinizada.

