

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA QUÍMICA



INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN
“DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR EMPLEANDO NANOFLUIDOS
EN COLECTOR SOLAR”

AUTOR:

Dr. CESAR GUTIERREZ CUBA

PROFESORES COLABORADORES:

MSc. HÉCTOR RICARDO CUBA TORRE

MSc. ALEX WILLY PILCO NUÑEZ

CALLAO, 2022

PERÚ

Andy

Andy

R

AGRADECIMIENTO

A la UNAC por el financiamiento del desarrollo de la investigación a través del Fondo Especial de Desarrollo Universitario (FEDU).



ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	4
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Objetivos	13
1.4. Limitantes de la investigación.....	13
II. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Antecedentes.....	14
2.1.1 Internacional	14
2.1.2 Nacional.....	15
2.2. Bases teóricas.....	16
2.3. Conceptual.....	27
2.4. Definición de términos básicos.....	30
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	29
3.1.1. Hipótesis	29
3.2. Definición conceptual de variables.....	29
3.2.1. Operacionalización de variable	30



IV. DISEÑO METODOLÓGICO.....	31
4.1 Tipo y diseño de investigación.....	31
4.2. Método de investigación.....	31
4.3. Población y muestra.....	32
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado.....	32
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	32
4.6. Análisis y procesamiento de datos.....	32
V. RESULTADOS.....	40
5.1 Resultados descriptivos.....	40
5.2. Resultados inferenciales.....	57
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	58
CONCLUSIONES.....	62
RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	30
Tabla 2 Productividad y conductividad de agua desalinizada para tipos de configuraciones sin nanofluido (CSN).....	58
Tabla 3 Productividad y conductividad de agua desalinizada para tipos de configuraciones con nanofluido (CCN).....	59



ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Figura 1 Extracción del agua, producto bruto interno per cápita y población mundial...	15
Figura 2 Colector solar de pendiente simple.....	17
Figura 3 Colector solar de pendiente simple.	17
Figura 4 Colector solar de doble pendiente.....	18
Figura 5 Alambique solar de doble pendiente indicando puntos de medida de temperatura.....	18
Figura 6 Diagrama esquemático del desarrollo de la desalinización de agua de mar con energía solar.....	20
Figura 7 Diagrama esquemático del principio de desalinización fototérmica de Agua de mar.....	21
Figura 8 Tanque de almacenamiento de agua de mar.....	32
Figura 9 Precalentador... ..	33
Figura 10 Colector solar F-cubed Carocell 3000.....	33
Figura 11 Principio de funcionamiento colector solar.....	34
Figura 12 Termómetro infrarrojo, termómetro digital y termómetros de mercurio.....	35
Figura 13 pH Tester HI98103 Checker.....	36
Figura 14 Medidor de conductividad Adwa modelo AD 310.....	37
Figura 15 Sistema Arduino.....	38
Figura 16 Sistema Arduino más sensores.....	38



Figura 17 Probetas para medición volumétrica.....	39
Figura 18 Puntos de medición de temperatura al interior del colector solar empleando el sistema Arduino sensores de temperatura.....	40
Figura 19 Puntos de medición de temperatura mica externa colector solar.....	41
Figura 20 Configuración experimental Tanque agua de mar-colector solar.....	42
Figura 21 Temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar configuración tanque con agua de mar-colector solar.....	43
Figura 22 Configuración tanque con agua de mar en función del tiempo configuración tanque con agua de mar-colector solar.....	44
Figura 23 Temperatura de la mica externa del colector en función al tiempo, puntos Y1, Y2, Y3, Y4 y Y5 configuración tanque con agua de mar-colector solar	45
Figura 24 Temperatura del tanque de agua de mar en función al tiempo configuración tanque con agua de mar-colector solar.....	45
Figura 25 Configuración tanque con agua de mar-colector solar con recirculación.....	46
Figura 26 Temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar configuración tanque -colector solar con recirculación.....	47
Figura 27 Temperatura del tanque con agua de mar (TT) y la temperatura del concentrado (TC) configuración tanque -colector solar con recirculación.....	47
Figura 28 Configuración Tanque agua de mar-precalentador-colector solar con recirculación.....	48
Figura 29 Temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar configuración tanque con agua de mar-precalentador-colector	

solar con recirculación.....	49
Figura 30 Temperatura del tanque con agua de mar (TT) en función al tiempo para configuración tanque con agua de mar-precalentador-colector solar con recirculación.....	50
Figura 31 Temperatura de salida del colector solar de concentrado (TC) en función al tiempo para configuración tanque con agua de mar-precalentador-colector solar con recirculación.....	50
Figura 32 Temperatura de entrada al colector solar (TEC) en función al tiempo para configuración tanque con agua de mar-precalentador-colector solar con recirculación.....	51
Figura 33 Nanopartícula de Fe ₃ O ₄	52
Figura 34 Configuración tanque con agua de mar-nanofluido Fe ₃ O ₄ 11 g-colector solar con recirculación.....	52
Figura 35 Temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar configuración tanque con agua de mar-nanofluido Fe ₃ O ₄ 11 g-colector solar con recirculación.....	53
Figura 36 Temperatura del tanque con agua de mar (TT) y temperatura del concentrado (TC) en función al tiempo para configuración tanque-nanofluido Fe ₃ O ₄ 11 g-colector solar con recirculación.....	53
Figura 37 Configuración tanque con agua de mar-nanofluido Fe ₃ O ₄ 11 g-precalentador-colector solar con recirculación.....	54

Figura 38 Temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar configuración tanque con agua de mar-nanofluido Fe3O4
11 g-precalentador-colector solar con recirculación.....55

Figura 39 Temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar configuración tanque con agua de mar-nanofluido Fe3O4
11 g-precalentador-colector solar con recirculación.....56

Figura 40 Configuración tanque con agua de mar-nanofluido Fe3O4 22 g
-precalentador-colector solar con recirculación.....57



RESUMEN

La demanda de agua potable en el mundo aumenta rápidamente. Si bien se tiene la disponibilidad de agua de mar en grandes cantidades, este requiere de un tratamiento previo para ser una alternativa de solución a la escasez. Para la desalinización de agua de mar se utilizan muchas tecnologías que recurren al uso de energías no renovables. En este trabajo de investigación se utilizó un sistema de desalinización con energía renovable, energía solar, para producir agua desalinizada a partir de agua de mar. Se presentaron dos grupos de tipos de configuración de sistemas de desalinización, uno con fluido base (agua de mar) y otro con nanofluido (mezcla de nanopartícula Fe_3O_4 con agua de mar). El tipo de configuración tanque con agua de mar-precalentador-colector solar sin nanofluido resultó con mayor productividad de agua desalinizada igual a 16,3 kg y disminución de la conductividad del agua desde 57000 hasta 1457 $\mu S/cm$, encontrándose ésta última cantidad por debajo del límite máximo permisible de la calidad organoléptica del Anexo II del Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-SA). Se concluye que los tipos de configuración sin nanofluido presentan buenos resultados en productividad y conductividad de agua desalinizada.

Palabras claves: Desalinización, agua de mar, colector solar, nanofluido.



ABSTRACT

The demand for drinking water in the world is increasing rapidly. Although seawater is available in large quantities, it requires prior treatment to be an alternative solution to scarcity. For the desalination of seawater, many technologies have been used that resort to the use of non-renewable energies. In this research work, a desalination system with renewable energy, solar energy, was used to produce desalinated water from seawater. Two groups of desalination system configuration types were presented, one with base fluid (seawater) and the other with nanofluid (mixture of Fe_3O_4 nanoparticle with seawater). The type of configuration tank with seawater-preheater-solar still-without nanofluid resulted in higher productivity of desalinated water 16,3 kg and decreasing in the conductivity of the water from 57000 to 1457 $\mu\text{S}/\text{cm}$, the latter amount being found below the maximum permissible limit of the organoleptic quality of Annex II of the Regulation on the Quality of Water for Human Consumption (DS N° 031-2010-SA). It is concluded that the types of configuration without nanofluid present good results in the productivity and conductivity of desalinated water.

Keywords: Desalination, seawater, solar still, nanofluid.



INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional que actualmente se tiene, está poniendo en riesgo que en un futuro muy cercano se llegue a tener una crisis global por el agua, sin bien tenemos disponibilidad de agua de mar en grandes cantidades, este requiere de un tratamiento previo para poder ser una alternativa de solución a esta necesidad. Usualmente, se utilizan otras tecnologías que utilizan energías no renovables como la producida por ejemplo por combustibles fósiles; entonces, el uso de la energía renovable de la luz solar es una buena opción de poder incrementar su utilización para resolver la necesidad creciente del agua desalinizada.

Nuestro trabajo está enfocado en el uso de la luz solar para obtener un mayor rendimiento del agua desalinizada, en ese sentido en el presente estudio se desarrolla configuraciones y/o arreglos que nos permitan obtener una mayor productividad del agua desalinizada a partir del agua de mar.



I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua dulce es la esencia de la vida y un requisito humano básico para fines domésticos, industriales y agrícolas. El suministro de agua dulce y saludable sigue siendo uno de los principales problemas en diferentes partes del mundo, especialmente en áreas áridas y remotas.

La disponibilidad de agua potable se reduce día a día; y el requerimiento de agua potable está aumentando rápidamente. Para superar esta necesidad, se necesita alguna fuente sostenible como la energía solar.

El colector solar permite que los efectos sinérgicos se puedan utilizar con el agua de mar para obtener agua desalinizada.

1.1. Descripción de la realidad problemática

El crecimiento poblacional hace que la demanda de recursos como el agua sean cada vez mayores para la supervivencia de la humanidad y coexistencia con los demás seres vivos. Actualmente existen cambios a nivel mundial que están afectando su disponibilidad, la desalinización del agua de mar constituye una mejor opción para satisfacer la creciente demanda de agua potable fresca. En los países subdesarrollados y en desarrollo, más de 768 millones de personas beben agua de fuentes poco fiables. Según la Organización Mundial de la Salud, 2100 millones de personas de la población mundial (29%) no tienen acceso a servicios gestionados de forma segura agua.

Los administradores del agua utilizan diferentes tratamientos del agua, medidas de planificación y realizan estimaciones para superar estos retos (Miller et al., 2021). En muchas áreas costeras no se cuentan con recursos de energía



eléctrica para producir agua potable y utilizan técnicas de desalinización convencionales, o flash-multietapa, como también la ósmosis inversa y compresión de vapor.

Un colector solar permite destilar el agua de mar utilizando la radiación solar como fuente de energía, pero la energía solar está limitada y asociada a las velocidades de evaporación y de condensación del vapor en la superficie o cubierta del sistema de destilación. Para incrementar estas velocidades son necesarios conservar la energía térmica haciendo recirculaciones y el uso de otros materiales absorbentes de energía.

1.2. Formulación del problema

Problema general

¿Cuál será el tipo de configuración del sistema de desalinización con energía solar que permita obtener la mayor la productividad y la menor conductividad del agua desalinizada?

Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto de empleo del nanofluido en cada tipo de configuración sobre la productividad y la conductividad del agua desalinizada?
- ¿Cuál es el efector del precalentamiento en la productividad y la conductividad de agua desalinizada?
- ¿Cuál es el efecto de la recirculación del concentrado en la productividad y la conductividad del agua desalinizada?



1.3. Objetivos

Objetivo General

Determinar la productividad y la conductividad del agua desalinizada de los tipos de configuración del sistema de desalinización con energía solar.

Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de nanofluido en cada tipo de configuración sobre la productividad y la conductividad del agua desalinizada.
- Determinar el efecto del precalentamiento en la productividad y la conductividad de agua desalinizada.
- Determinar el efecto de la recirculación del concentrado en la productividad y la conductividad del agua desalinizada.

1.4. Limitantes de la investigación (teórico, temporal, espacial)

La investigación que se realizó con el tipo de colector solar CAROCELL™ 3000, no se encontró información detallada sobre productividad de agua desalinizada a partir de agua de mar.

La investigación se realizó en los meses febrero y marzo (estación de verano), aprovechando las máximas radiaciones solares.

La investigación se realizó en un lugar alejado de la fuente de agua de mar, por lo que el suministro de agua de mar al colector solar no fue directo.



II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 INTERNACIONALES

La desalinización del agua de mar constituye uno de los procesos más viables para satisfacer la creciente demanda de agua fresca. Actualmente existen 15906 plantas desaladoras operativas con capacidad total de desalación de aproximadamente 95,37 millones de m³/día (Jones et al., 2019). Se proyecta que la capacidad de desalinización supere los 200 millones de m³/día para el 2030 (Ihsanullah et al., 2021).

Las tres principales tecnologías de desalinización lo constituyen:

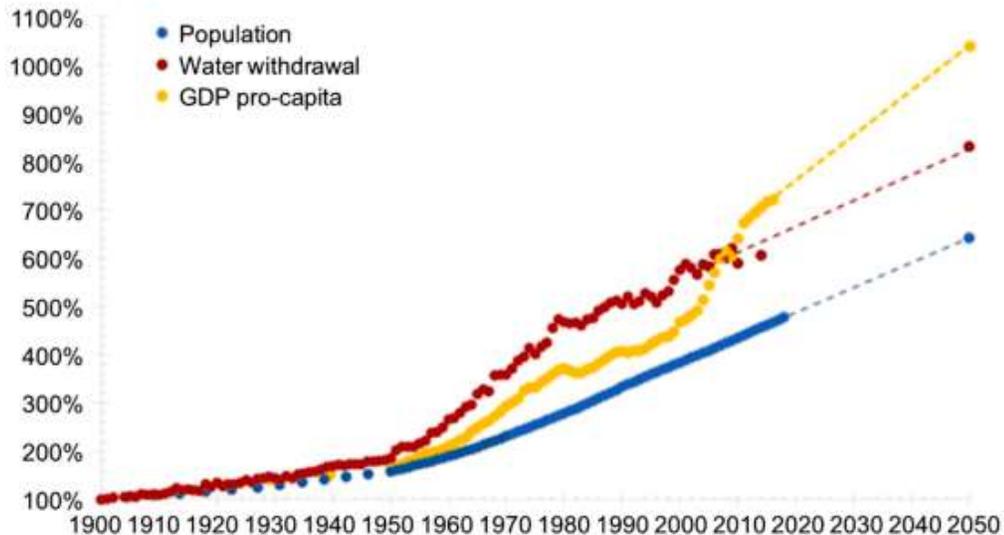
- A. La ósmosis inversa (OI),
- B. Destilación de efecto múltiple (DEM) y
- C. Destilación multi-flash (DMF).

El 94% de la producción de agua desalinizada corresponden a plantas utilizando estas tecnologías, mientras que el 6% restante lo aportan otras pequeñas plantas (Jones et. al., 2019). Los recursos hídricos están disminuyendo debido al crecimiento de la demanda, el aumento de la población y la mala gestión del agua, además sumado por el cambio climático (Rasifaghihi et al., 2020), la extracción de agua podría no ser capaz de suplir este aumento en demanda de agua, como se muestra en la Figura 1 (Boretti y Rosa, 2019). Se estima que aumentarán los procesos de desalinización de agua y estos puedan triplicarse para el 2050 (Gao et al., 2017).



Figura 1

Extracción del agua, producto bruto interno per cápita y población mundial



Fuente: A. Boretti y L. Rosa, 2019.

2.1.2 NACIONALES

Bustinza Félix (2020) en su tesis construyó y evaluó un prototipo de destilador solar tipo batea, para la obtención de agua para consumo humano, utilizando energía solar. Con el conocimiento de los parámetros físicos, químicos, biológicos y meteorológicos de la ciudad del Cusco, se determinó la eficiencia del sistema. En el contenido de la investigación, se muestra la aplicación de los principios y conceptos de la Ingeniería de los Procesos Químicos, termodinámicos y de transferencia de calor, los cuales posibilitan el desarrollo del trabajo. El uso de energía solar (energía limpia y renovable) en el proceso de purificación de aguas salobres para consumo humano, permite disminuir los costos de operación y reducir las emisiones de gases contaminantes al ambiente, dado que la mayoría de las plantas tradicionales de destilación de aguas, emplean combustibles fósiles.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. COLECTOR SOLAR

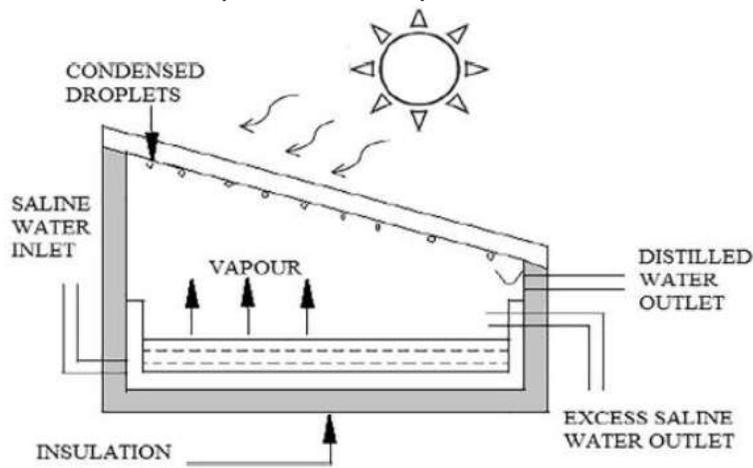
Entre las diversas tecnologías de desalinización, la destilación solar es la más adecuada para su aplicación porque representa la mejor solución técnica para producir agua dulce en lugares remotos sin depender de la alta tecnología y la experiencia. Los colectores solares funcionan con energía solar barata y renovable, consumiendo poca energía eléctrica. Además, los colectores solares son fáciles de construir y operar. Finalmente, la destilación solar es más económica que otras tecnologías de desalinización para proporcionar agua a hogares y pequeñas comunidades (Bhardwaj, 2015). Kumar y Tiwari (2009) sugirieron que una planta de destilación solar con una capacidad inferior a 200 kg/día es la más económica que otros tipos de plantas desaladoras.

El colector solar es el dispositivo de desalinización solar simple. Los colectores solares no son muy utilizados debido a su menor productividad del agua potable. Arunkumar et. al, (2013) mencionan que la baja productividad de los colectores solares se debe primero a la dificultad de rechazar el calor latente de condensación a la atmósfera y, segundo, la dificultad de elevar la temperatura de evaporación y disminuir la temperatura de condensación. Los colectores solares pueden tener pendiente simple (figuras 2 y 3) o doble (figuras 4 y 5).



Figura 2

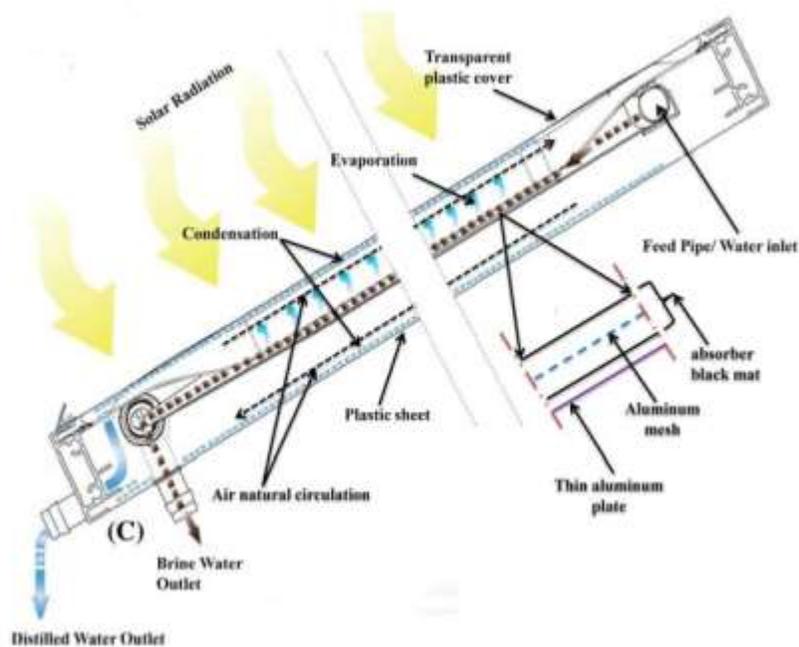
Colector solar de pendiente simple



Fuente: Selvaraj et al., (2018)

Figura 3

Colector solar de pendiente simple

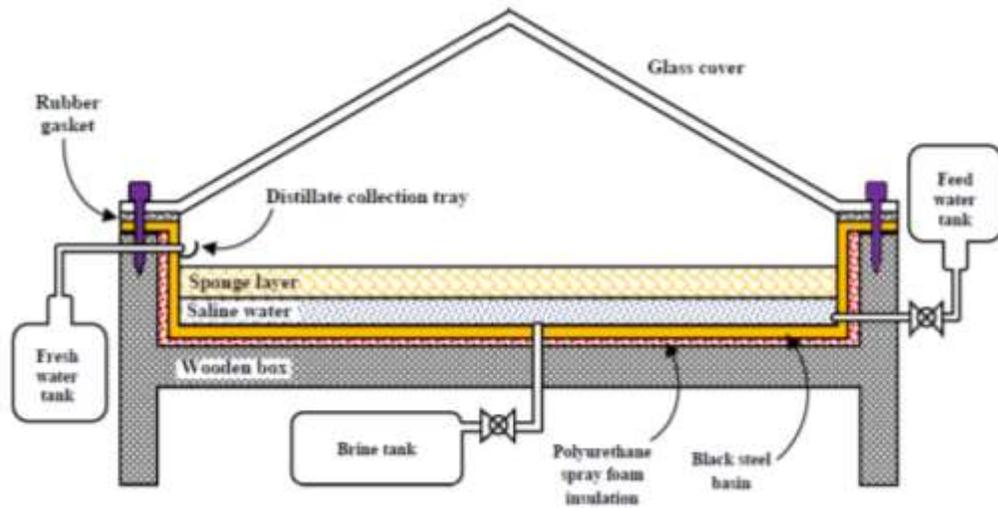


Fuente: Mashaly et al., (2015).

[Handwritten signatures]

Figura 4

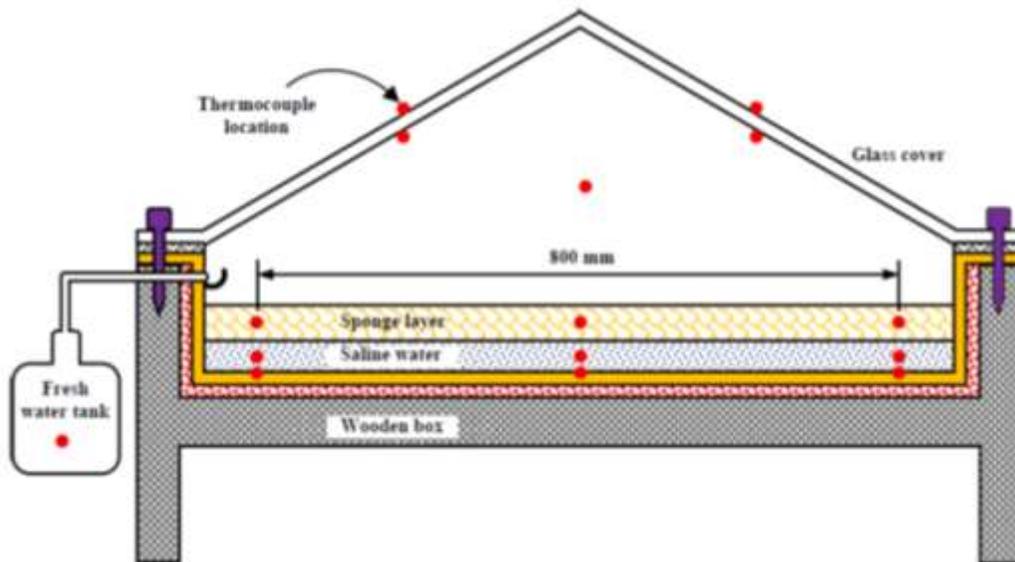
Colector solar de doble pendiente



Fuente: Salem et al., (2020)

Figura 5

Alambique solar de doble pendiente indicando los puntos de medida de temperatura



Fuente: Salem et al., (2020)

Handwritten signatures in blue ink.

Los colectores solares se clasifican ampliamente en dos tipos, colectores solares pasivos y activos. Los colectores solares pasivos evaporan el agua de la energía solar. Los colectores solares activos utilizan una configuración externa para entregar una energía térmica adicional, de tal manera que la evaporación sea más rápida. Las modificaciones de diseño de los colectores solares pasivos incluyen colector tipo mecha, colector solar esférico, y otros. Los colectores solares activos pueden ser, colector solar integrado con calentador solar, colector solar integrado con concentradores solares, colector solar con recuperación de calor residual o agua precalentada, colector solar activo regenerativo y colector solar con intercambiador de calor (Wang et al., 2021).

La forma como se utilizan los materiales fototérmicos para el agua de mar influye en el proceso de desalinización. En la desalinización tradicional, el material fototérmico está diseñado para ser calentado a través de una unidad oscura de almacenamiento en el fondo en contacto con el agua (Figura 6a). Este diseño tiene una eficiencia de evaporación inferior al 45%. Otro diseño consiste en la dispersión de un material fototérmico en el fluido (Figura 6b), donde la eficiencia de evaporación aumenta en pequeña cantidad, debido a que una gran parte de la energía en el calentamiento del agua se utiliza para aumentar la temperatura y generar vapor. Actualmente, una estrategia de calentamiento interfacial para lograr una evaporación eficiente mediante energía solar se ha obtenido haciendo flotar materiales fototérmicos en la superficie del líquido (Figura 6c). Los materiales fototérmicos flotantes se concentrarán en calentar la capa superficial del agua, convirtiendo la energía solar en energía térmica en la superficie. Esto reduce significativamente el consumo de energía solar y también reduce la pérdida de energía. La temperatura de la parte superior del agua aumenta rápidamente, mientras que la temperatura del agua permanece muy similar al entorno del ambiente. La Figura 6d muestra el balance de la radiación solar, la transferencia de masa y la pérdida de calor durante la evaporación en la

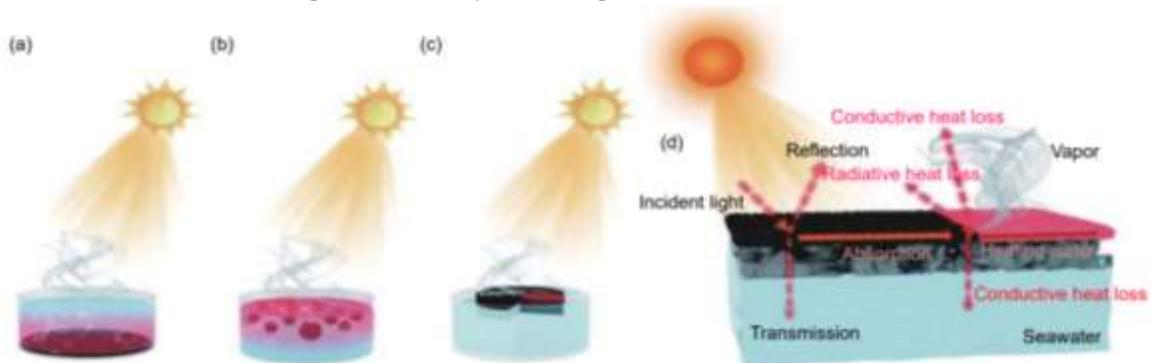


desalinización de agua de mar con energía solar (Wang et al., 2021).

El calor generado por el material fototérmico fluye por convección de abajo hacia arriba y una dispersión hacia el exterior en forma de radiación después de ser expuesto a la luz. La reducción del contenido de humedad en la superficie de evaporación puede minimizar la pérdida de calor, esto se debe a la temperatura de la superficie de evaporación y del agua.

Figura 6

Diagrama esquemático del desarrollo de la desalinización de agua de mar con energía solar: (a) modo de calentamiento inferior, (b) modo de calentamiento por suspensión, (c) modo de calentamiento interfacial, (d) diagrama esquemático de la desalinización de agua de mar por energía solar.



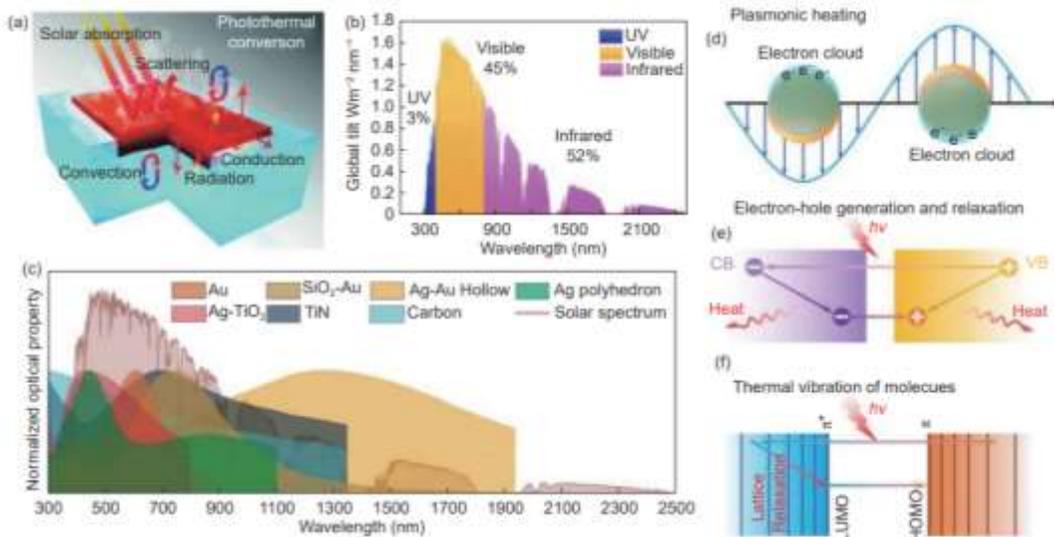
Fuente: Wang et al, (2021)

Luz visible en la longitud de onda en el rango de 400 a 700 nm representa el 45% de la energía solar total del espectro. Luz infrarroja en el rango de longitud de onda de 700–2500 nm representa el 52% del espectro solar total. De acuerdo con el rango de absorción de luz de varios materiales en la Figura 7c, se pueden encontrar materiales absorbentes de luz adecuados. Con el desarrollo de absorbedores de energía solar, una gran variedad de materiales como absorbentes solares se están utilizando, incluido el carbón, metales, semiconductores y materiales de biomasa (Dao et al., 2018).

La absorción de luz por los metales da como resultado la aparición de electrones calientes, que tienen alta energía cinética para convertir la energía de la luz en calor (Figura 7d). La excitación no radiactiva de semiconductores, como MoS₂, Ti₃O₄, CuS y Fe₃O₄, donde los pares electrón excitado por la luz se elevan hasta un nivel donde la brecha de banda en una forma no radiactiva y emiten fonones. Eventualmente, la energía solar la energía se puede convertir en calor (Figura 7e).

Figura 7

(a) Diagrama esquemático del principio de desalinización fototérmica de agua de mar, (b) UV, visible e infrarrojo como porcentaje de la iluminancia del espectro solar, (c) ancho de banda de absorción óptica de nanopartículas de uso común para la desalinización del agua de mar por energía solar, (d-f) diagrama esquemático del mecanismo fototérmico de (d) calentamiento de plasma, (e) generación y relajación de agujero de electrón, y (f) vibraciones térmicas moleculares.



Fuente: Wang et al, (2021)

[Handwritten signatures]

Los materiales fototérmicos pueden convertir la energía solar en calor, elevando así la temperatura superficial y corporal. Cuando el material fototérmico se calienta, el calor se difunde en agua circundante, lo que resulta en una evaporación acelerada del agua.

Tiwari et al. (2003) estudiaron la mejora en el rendimiento del destilador solar pasivo de doble pendiente (DSSS) utilizando nanopartículas de Al_2O_3 para 35 kg y 80 kg de agua de mar. La temperatura del fluido obtenido para DSSS pasivo, sobre la base del modelo desarrollado, realizó un análisis para el fluido base (sin nanopartículas) y para otra para el nanofluido con tres concentraciones diferentes (0,04%, 0,08% y 0,12%). También se experimentó el efecto de diferentes concentraciones de nanopartículas de Al_2O_3 sobre la temperatura del fluido, la conductividad térmica, los coeficientes internos de transferencia de calor (HTC) y el rendimiento del fluido. Para una concentración del 0,12% de nanopartículas de Al_2O_3 , y se encontró que la mejora del rendimiento para 35 kg y 80 kg de fluido base es del 12,2% y el 8,4%, respectivamente, en comparación con la del fluido base.

Kabeel et al. (2017), estudió numéricamente los efectos del uso de nanofluidos e integración del destilador solar con condensador externo. Se evaluó el rendimiento del sistema de desalación modificado y se comparó con el convencional en las mismas condiciones meteorológicas. Se desarrollo un análisis teórico de los mecanismos de transferencia de calor y masa para los alambiques solares. Se realizaron análisis en el rango de concentraciones de peso de 0,02 a 0,3% para nanopartículas de óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido cuproso (Cu_2O). Las propiedades termofísicas del nanofluido se consideran asumiendo que el nanofluido es un fluido monofásico. Los resultados de la simulación concuerdan bien con los datos experimentales publicados.



La eficiencia diaria del destilador modificado es de 84,16% y 73,85% cuando se utilizan nanopartículas de Cu_2O y Al_2O_3 , respectivamente, con el funcionamiento del ventilador. La eficiencia de los alambiques convencionales fue del 34%.

Mahian et al. (2017) estudió el rendimiento de un destilador solar equipado con un intercambiador de calor que utiliza nanofluidos tanto experimental como teóricamente a través de parámetros clave como el rendimiento de agua dulce y la eficiencia energética. Realizaron experimentos en una instalación, que estaba compuesta principalmente por dos colectores solares de placa plana conectados en serie y un destilador solar equipado con un intercambiador de calor. Después de calentarse en los colectores, el nanofluido ingresó al intercambiador de calor instalado en el depósito de destilación solar para intercambiar calor con el agua salobre. Los experimentos se llevaron a cabo para diferentes fracciones de volumen de nanopartículas, dos tamaños de nanopartículas (7 y 40 nm), dos profundidades de agua en la cuenca de destilación solar (4 y 8 cm) y tres velocidades de flujo másico de nanofluidos. Se encontró que las condiciones climáticas (principalmente la intensidad de la radiación solar) tienen una influencia dominante en el rendimiento de la destilación solar. Los resultados revelan que usar el intercambiador de calor a temperaturas inferiores a 60 °C no es ventajoso y el rendimiento correspondiente es menor que el del destilador solar sin el intercambiador de calor; aunque en tal caso, el uso de nanofluidos como fluido de trabajo en el intercambiador de calor puede mejorar los índices de rendimiento en aproximadamente un 10%. A mayor temperatura (por ejemplo, sobre los 70 °C), el uso de un intercambiador de calor es beneficioso; sin embargo, el uso de nanofluidos en lugar de agua puede aumentar los índices de rendimiento marginalmente, es decir, solo alrededor del 1%.



2.2.2. Parámetros que influyen la productividad y performance del colector solar

Es necesario comprender mejor los diversos parámetros que influyen en la productividad y el rendimiento de un destilador solar para hacerlo más viable para aplicaciones domésticas a pequeña escala a través de modificaciones de diseño adecuadas. La productividad y el rendimiento del destilador solar dependen de parámetros como la intensidad de la radiación solar, la diferencia de temperatura entre la placa de cubierta y el agua, la profundidad del agua del depósito, la inclinación de la placa de cubierta de vidrio y su espesor y la velocidad del viento. Los parámetros como la intensidad de la radiación solar y la velocidad del viento no están controlados por tratarse de parámetros meteorológicos. Otros parámetros, como el área del colector, la profundidad del agua del depósito y el aislamiento, etc., son controlables y deben gestionarse de manera eficaz para mejorar la productividad (Selvaraj y Natarajan, 2017).

Entre los parámetros más influyentes están la intensidad de radiación, área del colector, la profundidad del agua del depósito y diferencia de temperatura entre la placa de cubierta de vidrio y el agua. Omar et al. (2007) realizaron un análisis experimental y teórico en un alambique solar de pendiente única en función de la intensidad de la radiación solar. Llegaron a la conclusión de que la productividad y la eficiencia de la energía solar mejoran con el aumento de intensidad de la radiación solar. En particular, la máxima eficiencia se obtiene a primera hora de la tarde ya que la intensidad de la radiación solar es alta durante este período. Emad (2014) también ha inferido que la tasa de producción de destilado aumenta a medida que aumenta la intensidad de la radiación solar. Cuando la diferencia de temperatura entre el agua y la placa de cubierta de vidrio es alta, se produce más destilado. Ahmed et al. (2012), realizaron un análisis experimental en alambique solar de doble pendiente usando un calentador de



agua en la base de alambique solar para aumentar artificialmente la temperatura del agua y concluyeron que la productividad aumenta al 370% debido al aumento en la diferencia de temperatura. Como la velocidad de evaporación del agua en el destilador solar es directamente proporcional al área de exposición, la productividad del solar aún aumenta con el aumento de la superficie libre de agua en el depósito.

Los colectores solares están recubiertos con pinturas negras planas o mate para una mayor absorción de la radiación solar. Un recubrimiento superficial selectivo de la bandeja del lavabo dará como resultado una mayor productividad debido a su alta capacidad de absorción y menor emisividad. Además, tal recubrimiento evita la corrosión del material de la cubeta debido a la salinidad del agua alimentada.

Madhukeshwara et al. (2012), informaron de que el recubrimiento de cromo negro en los colectores solares tiene una mayor eficiencia térmica en comparación con los recubrimientos de sol-cromo y negro mate. La profundidad del agua de la cuenca tiene un efecto significativo sobre la productividad del destilador solar. Varios investigadores han inferido que la profundidad del agua es inversamente proporcional a la productividad del destilador solar. Suneja y Tiwari (1999) analizaron el efecto de la profundidad del agua y concluyeron que la disminución de la profundidad del agua aumenta la productividad del destilador solar. Bilal et al. (2000) concluyó que la productividad de la energía solar sigue disminuyendo linealmente con el aumento de la profundidad del agua a razón de 0,4 L por cm.

Rajamanickam et al. (2012), realizaron un experimento en un destilador solar de doble pendiente a diferentes profundidades de agua como 1 cm, 2,5 cm, 5 cm, 7,5 cm y obtuvo una producción máxima de destilado por día de 3,07 L / m² a 1 cm de profundidad de agua.



Los destiladores solares están cubiertos con materiales de alta transmisión, como una placa de vidrio transparente en la parte superior, donde se produce la condensación. Según el ángulo de latitud de los lugares, las placas de cubierta de los alambiques solares están inclinadas en un ángulo particular. Bilal et al. (2000) realizaron un análisis experimental en un destilador solar en diferentes ángulos, como 15°, 25°, 35°, 45°, 55° y encontró que el ángulo de inclinación óptimo para una mayor producción fue de 35°, durante el mes de mayo en Jordania el ángulo de latitud fue de 31°. Singh y Tiwari (2004) encontraron que el rendimiento anual del destilador solar es máximo cuando la inclinación de la cubierta de vidrio de condensación es igual a la latitud del lugar. Hitesh et al. (2012) realizaron un experimento en un destilador solar inclinado en un ángulo de 30° en Mehsana, Gujarat, donde el ángulo de latitud es 23,6°. Ehssan et al. (2013), analizaron el rendimiento del destilador solar en Egipto. El destilador estaba inclinado en un ángulo de 20°, mientras que el ángulo de latitud de Egipto es de 26°. Ghassan et al. (2013) realizaron un experimento en un destilador solar de un sólo depósito en Siria con un ángulo de inclinación de 45°, mientras que el ángulo de latitud de Siria es de 35°. Por lo tanto, muchos de los investigadores mantuvieron un ángulo equivalente al ángulo de latitud $\pm 10^\circ$.

El vidrio tiene la propiedad de permitir selectivamente que solo la radiación de mayor energía pase y bloquee las longitudes de onda más largas. Esta propiedad en particular ayuda a que se capture la energía solar con la mayor parte de la radiación de mayor energía entrante, pero no permite que se irradie hacia atrás. Dado que el vidrio está abierto en la atmósfera, sirve como superficie de condensación y tiene una temperatura más baja que el agua del interior.

Ghoneyem et al. (1997), utilizaron placas de cubierta de vidrio de 3 mm de espesor y 4 mm de espesor en alambiques solares. Se probó el destilador solar con una placa de cubierta de vidrio de 3 mm, 5 mm y 6 mm de espesor, de los cuales el destilador solar con una placa de cubierta de vidrio de 3 mm de espesor



dio como resultado una tasa de producción más alta del 15,5%.

El aumento de la velocidad del viento aumenta la transferencia de calor por convección entre el vidrio y el ambiente y, por lo tanto, da como resultado una mejor condensación del destilado. El-Sebaili (2000) concluyó que la productividad diaria de la energía solar vertical aún aumenta con la velocidad del viento hasta un valor típico. El-Sebaili (2004) también examinó el efecto de la velocidad del viento en la productividad diaria de la energía solar activa y pasiva mediante simulación y descubrió que la producción diaria aumenta con el aumento de la velocidad del viento hasta una velocidad típica más allá de la cual el aumento de la producción se vuelve insignificante. La velocidad típica para el verano se estima en 10 m/s y para el invierno en 8 m/s. Lo mismo ha sido confirmado por AlGarni (2012) y además se reporta un aumento de productividad del 50% a medida que la velocidad del viento cambia de 0 a 10 m/s.

2.3. Conceptual.

Se utilizó la radiación solar como fuente de energía convencional para calentar y evaporar agua de mar. El vapor de agua generado se condensa en una superficie que luego permite coleccionar el agua producida. El dispositivo que se utilizó para este proceso es el colector solar. También se probó diferentes configuraciones de disposición de equipos. Para realzar el rendimiento del destilado que se obtiene se empleó el Fe_3O_4 en forma de nanopartículas.

2.4. Definición de términos básicos:

DESALINIZACIÓN

Es el proceso de purificación de agua de mar que contiene alto contenido de sales a agua con mínimo o ningún contenido de sales.

COLECTOR SOLAR

Dispositivo que permite realizar la destilación de agua empleando la radiación solar.



RADIACION SOLAR

Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol que llegan a la superficie de la Tierra y hacen posible el desarrollo de la vida.

CONVECCIÓN

Proceso de transferencia de calor entre una superficie sólida o líquida y el medio ambiente (fase gaseosa).

RADIACIÓN

Proceso de transferencia de calor entre una superficie de un material y el medio ambiente (fase gaseosa).

NANOFLUIDO

Líquido que contiene material fino en forma de nanopartículas.



III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Hipótesis general

Una mayor productividad y una menor conductividad del agua desalinizada se obtendrá al menos con un tipo de configuración del sistema de desalinización con energía solar.

Hipótesis Específicas

- El uso del nanofluido en los tipos de configuración aumentará la productividad y disminuirá la conductividad del agua desalinizada usando.
- El precalentamiento del agua de mar antes de ingresar al colector solar aumentará la productividad y disminuirá la conductividad de agua desalinizada.
- La recirculación del concentrado en los tipos de configuración aumentará la productividad y disminuirá la conductividad del agua desalinizada.

3.2. Definición conceptual de variables

Variable dependiente:

Y= productividad de agua desalinizada

Definición conceptual: Es la cantidad de agua obtenida del proceso por día de operación de acuerdo con una configuración determinada.

Variables independientes:

X₁= Configuración del sistema de desalinización con energía solar.

Definición conceptual: Disposición del sistema para obtener la desalinización de agua de mar haciendo uso de la energía solar.



X₂= Concentración de nanopartícula en el agua mar.

Definición conceptual: Cantidad de material nanoparticulado que se agrega al agua de mar para modificar sus propiedades de esta última.

3.2.1. Operacionalización de variables

La operacionalización de variables se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Instrumento
Variable Dependiente:			
Productividad de agua desalinizada	Cantidad de agua desalinizada colectada	kg	Balanza
Variables independientes:			
Configuración del sistema de desalinización con energía solar	Configuración definida para la prueba	Tipo de configuración	
Concentración de nanopartícula en agua mar	Cantidad de nanopartícula agregado al agua de mar	g/kg	Balanza



IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y Diseño de investigación

La investigación es de tipo experimental.

4.2. Método de Investigación

El diseño metodológico de la investigación consiste en las siguientes etapas:

1. Se midió la conductividad del agua de mar antes y después del tratamiento.
2. Se realizaron las pruebas experimentales con las siguientes configuraciones:
 - a. Tanque con agua de mar - colector solar
 - b. Tanque con agua de mar - precalentador - colector solar
 - c. Tanque con agua de mar - colector solar con recirculación
 - d. Tanque con agua de mar - precalentador - colector solar con recirculación
 - e. Tanque con agua de mar - nanofluido 11 g - colector solar con recirculación
 - f. Tanque con agua de mar - nanofluido 11 g - precalentador - colector solar con recirculación
 - g. Tanque con agua de mar - nanofluido 22 g - colector solar con recirculación
 - h. Tanque con agua de mar - nanofluido 22 g - precalentador - colector solar con recirculación
3. Se estudio el efecto del precalentamiento del agua de mar en la productividad de agua desalinizada.
4. Se estudio el efecto del empleo de nanofluido en la productividad de agua desalinizada.



4.3. Población y Muestra

Población: Agua de mar del distrito de La Punta, provincia constitucional del Callao

Muestra: 45 L de agua de mar para cada tratamiento.

4.4. Lugar de Estudio

Domicilio del docente: Av. Micaela Bastidas 255, Urb. San Agustín, distrito de Comas.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Equipos utilizados:

- a. Tanque de almacenamiento de agua de mar: Se empleó un tanque con capacidad de 50 L, con salida de agua de mar en el fondo (ver Figura 8).

Figura 8

Tanque de almacenamiento de agua de mar



[Handwritten signatures]

- b. Precalentador: Se utilizó como precalentador un intercambiador de calor de dimensiones de 70 cm x 50 cm (ver Figura 9).

Figura 9

Precalentador



- c. Colector solar: Como colector solar se empleó el F-cubed Carocell 3000 que tiene como características un área de 3 m², dimensiones 1110 mm x 2880 mm x 50 mm y un peso de 17 kg (ver Figura 10).

Figura 10

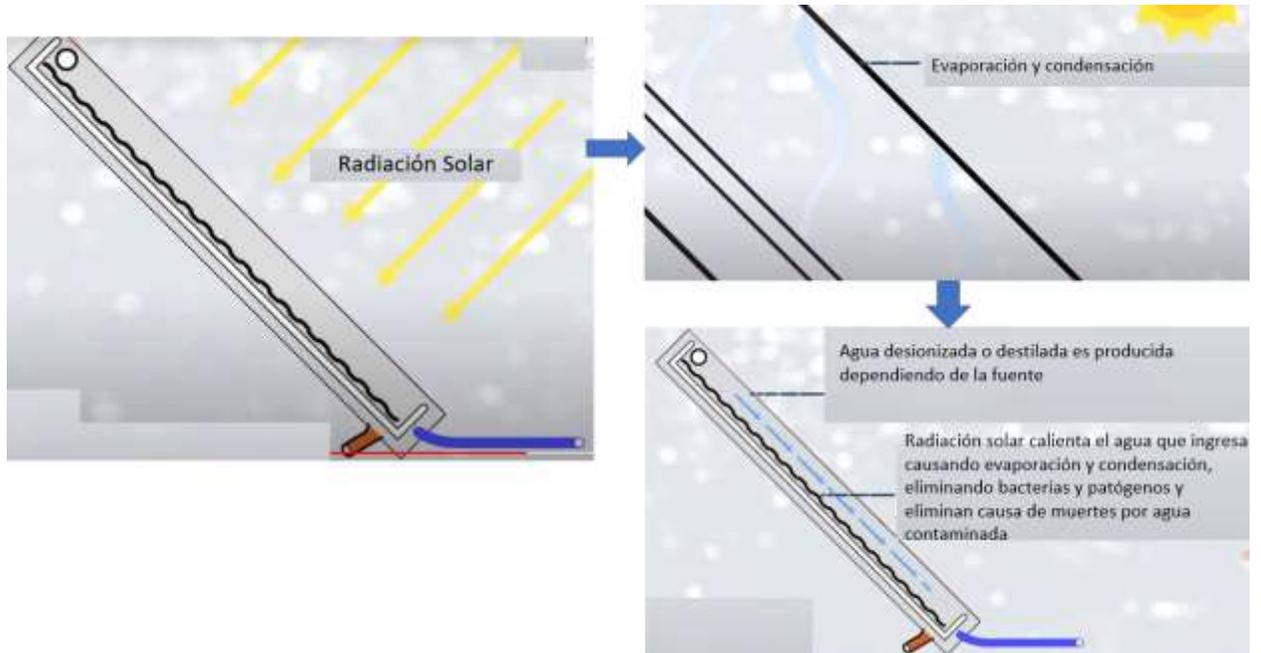
Colector solar F-cubed Carocell 3000



La Figura 11 muestra el principio de funcionamiento del colector solar.

Figura 11

Principio de funcionamiento colector solar



Se utilizó como instrumentos de medida para la recolección de la información:

a. Termómetro infrarrojo y termómetros de mercurio (ver Figura 12)

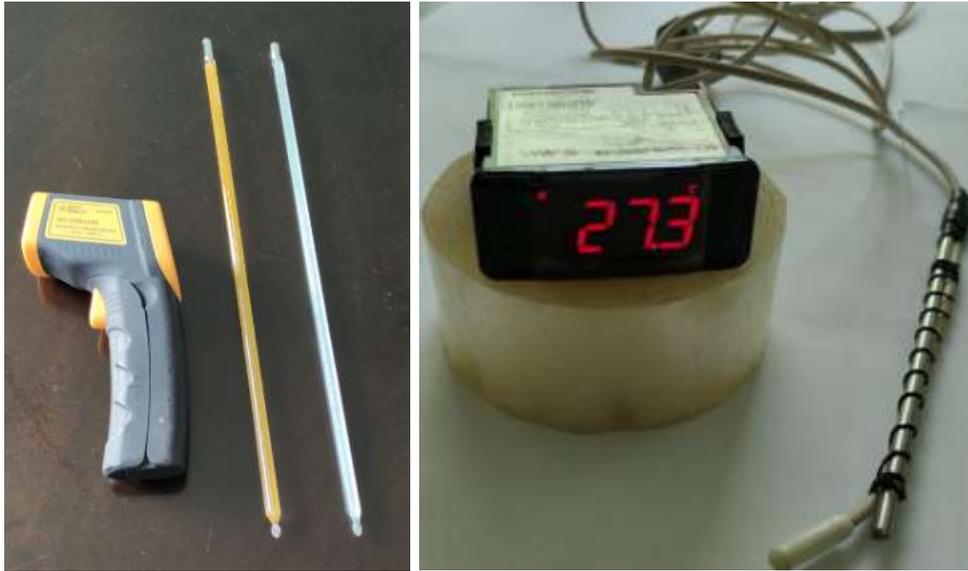
Para medir las temperaturas en la cubierta del colector solar se empleó un termómetro infrarrojo, marca Smart Sensor, modelo AR550 que tiene como características:

1. Rango de medición de $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$
2. Exactitud $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
3. Resolución $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$
4. Relación de punto de distancia 12:1
5. Emisividad 0,95 (pre establecida)

Para medir la temperatura del concentrado, se empleó un termómetro de mercurio con rango de -10 a 200 °C, para medir la temperatura del agua desalinizada se empleó un termómetro de mercurio con rango de 0 a 50 °C, y para medir la temperatura del agua de mar en el tanque se utilizó un termómetro digital MT-512e 2HP con rango de aplicación de 0 a 50 °C.

Figura 12

Termómetro infrarrojo, termómetro digital y termómetros de mercurio



- b. pH metro: Para la medición del pH, se empleó el pH Tester HI98103 Checker con resolución 0,1 de Hanna Instruments (ver Figura 13).

[Three handwritten signatures in blue ink]

Figura 13

pH Tester HI98103 Checker



- c. Conductímetro: Medidor de conductividad y temperatura portátil, marca Adwa, modelo AD 310 (ver Figura 14), que tiene como características:
- Rango de conductividad 19,99/199,9/1999 $\mu\text{S/cm}$, 19,99/199,9 mS/cm
 - Rango de temperatura de $-9,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $120,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Resolución en conductividad 0,01/0,1/1 $\mu\text{S/cm}$, 0,01/0,1 mS/cm
 - Resolución en temperatura 0,1 $^{\circ}\text{C}$
 - Exactitud en conductividad $\pm 1\%$
 - Exactitud en temperatura $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Compensación por temperatura automática o manual de $-9,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $120,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Coefficiente seleccionable de 0,00%/ $^{\circ}\text{C}$ a 6,00%/ $^{\circ}\text{C}$
 - Temperatura de referencia seleccionable a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ o $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Figura 14

Medidor de conductividad Adwa modelo AD 310



- d. Sistema Arduino con sensores: Sistema Arduino con seis sensores (ver Figuras 15 y 16) que fueron utilizados para medir la temperatura del líquido y aire circundante en puntos específicos al interior del colector solar.

[Handwritten signatures]

Figura 15

Sistema Arduino

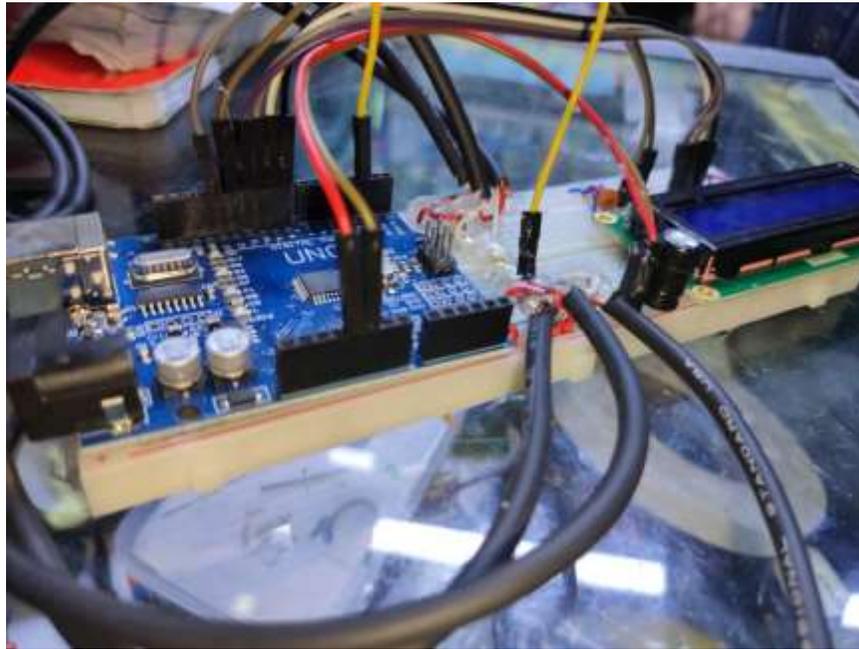
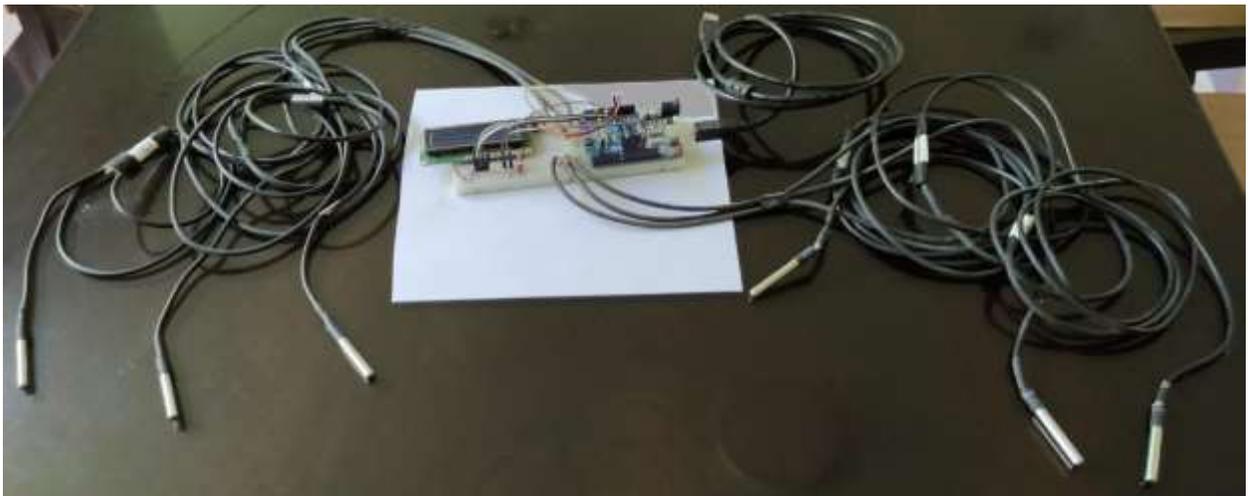


Figura 16

Sistema Arduino más sensores

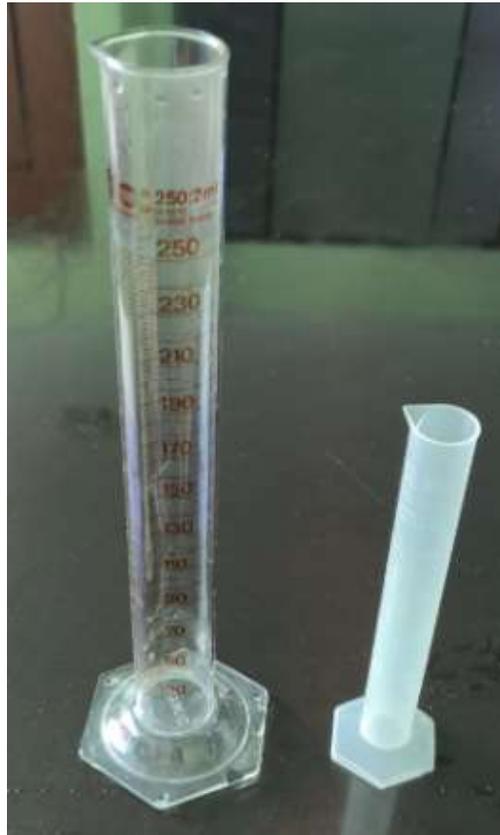


Handwritten signatures in blue ink, including the name "Dony" and other illegible marks.

- e. Equipos de medición volumétrica: Se empleó probetas de 250 y 100 mL (ver Figura 17).

Figura 17

Probetas para medición volumétrica



4.6. Análisis y procedimientos de datos

Para el análisis de datos se empleó el Excel de Office.

Three handwritten signatures in blue ink, arranged horizontally. The first is a stylized 'A', the second is a more complex signature, and the third is a large, bold 'P'.

V. RESULTADOS

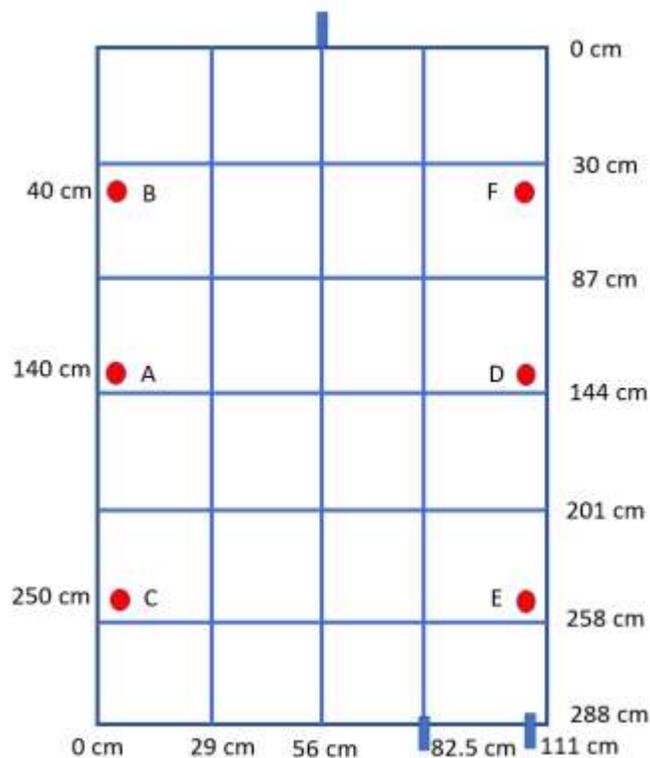
5.1 Resultados Descriptivos

Se midieron el pH y la conductividad del agua de mar obteniéndose 6,9 y 57 mS/cm, respectivamente.

La medición de la temperatura en diferentes puntos al interior del colector solar se muestra en la Figura 18. Los puntos A, B y C corresponden a las temperaturas del líquido y los puntos D, E y F corresponde a las temperaturas del aire-vapor.

Figura 18

Puntos de medición de temperatura al interior del colector solar empleando el sistema Arduino con sensores de temperatura



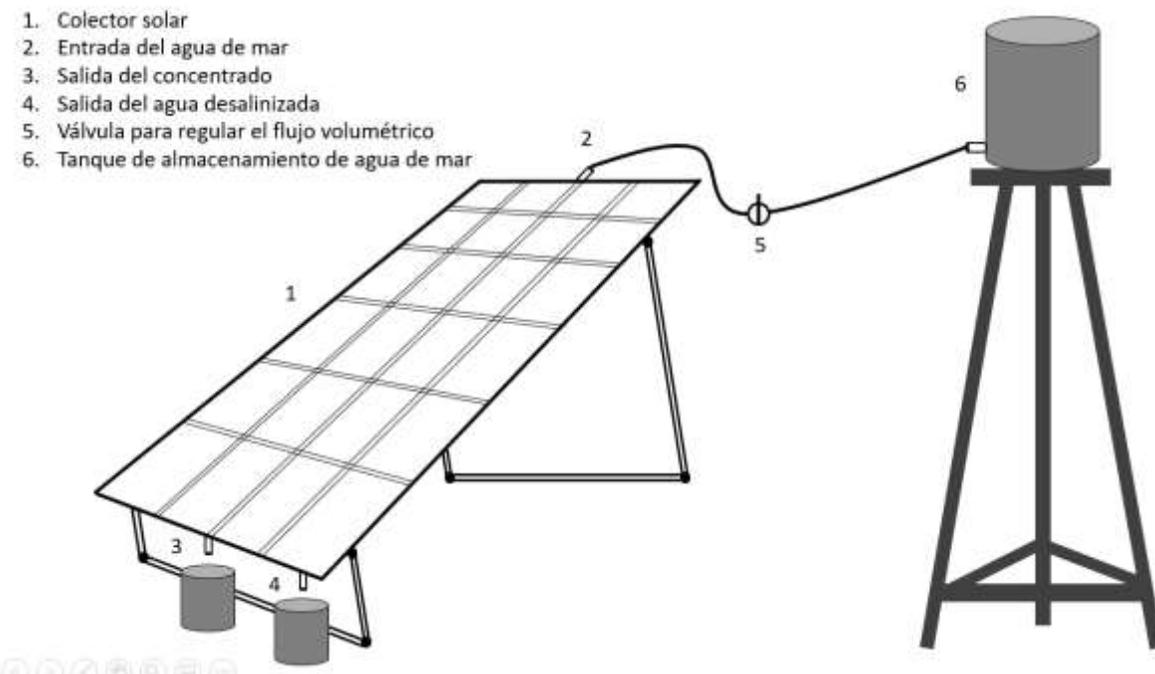
Respecto a las configuraciones se obtuvo los siguientes resultados:

a. Configuración tanque con agua de mar - colector solar

La Figura 19 muestra la configuración tanque con agua de mar - colector solar y sus componentes principales.

Figura 19

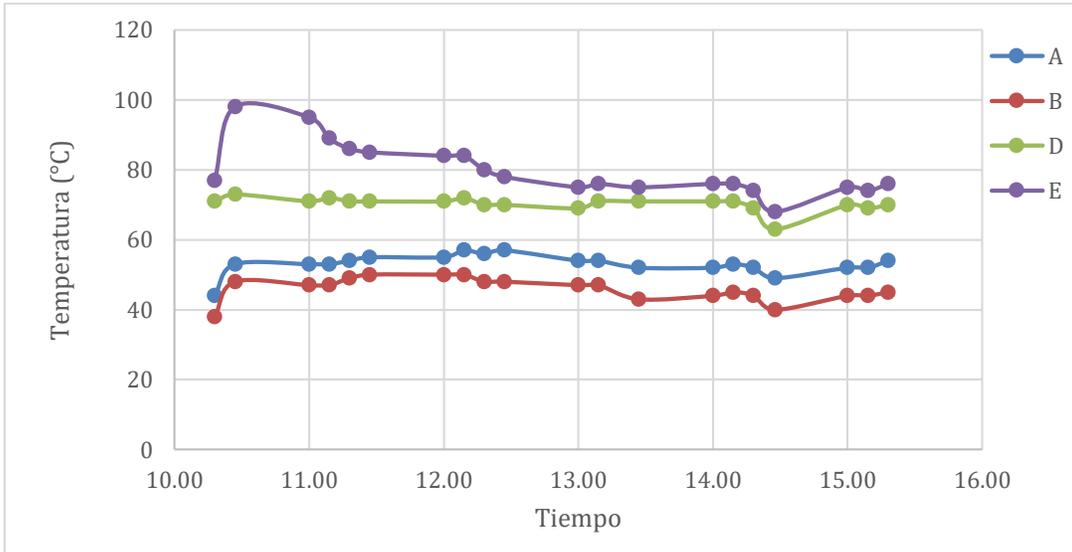
Configuración tanque con agua de mar - colector solar



La Figura 20 muestra la temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar.

Figura 20

Temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar configuración tanque con agua de mar-colector solar

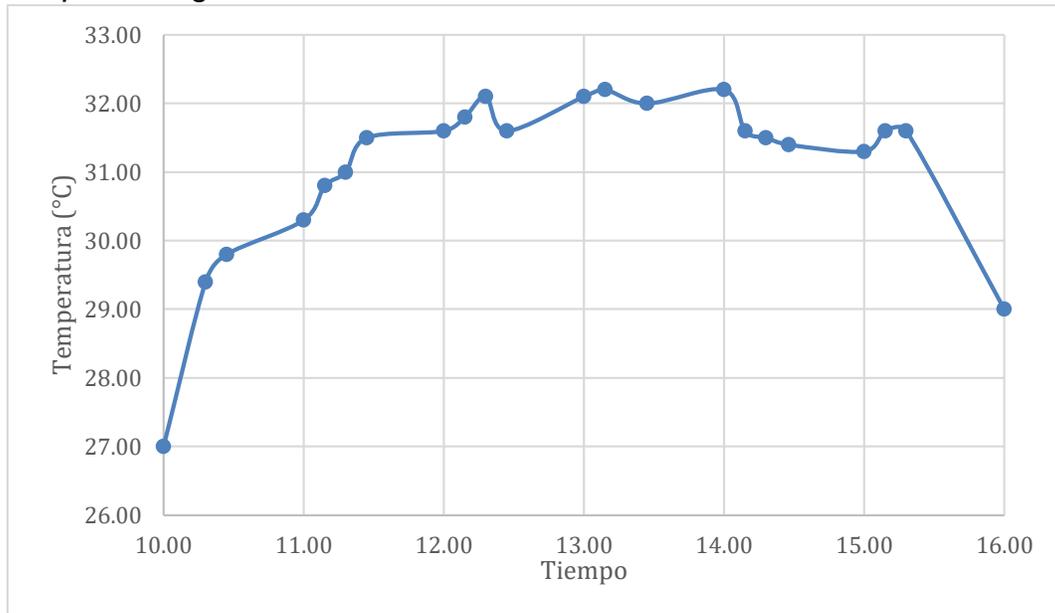


Nota: A y B temperatura del líquido y D y E temperatura del vapor de agua

La figura 21 muestra la temperatura del tanque con agua de mar en función del tiempo.

Figura 21

Temperatura del tanque con agua de mar en función del tiempo configuración tanque con agua de mar-colector solar



Productividad del agua desalinizada: 11,2 kg con una conductividad 923 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Flujo volumétrico agua desalinizada: 35,5 mL/min

Flujo volumétrico concentrado: 177 mL/min (en la mañana) y 314 mL/min (en la tarde)

Flujo volumétrico agua mar entrada al colector: 600 mL/min

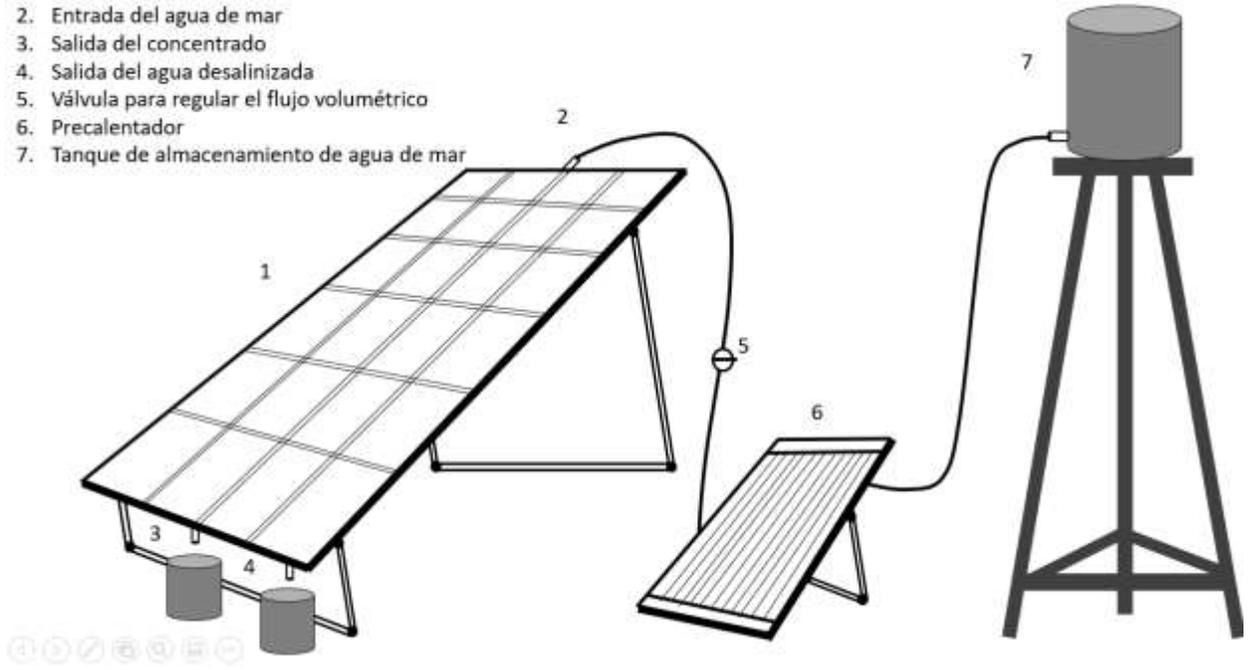
b. Configuración tanque agua de mar-precaldador-colector solar

En la figura 22 se muestra la configuración tanque agua de mar -precaldador-colector solar.

Figura 22

Configuración Tanque agua de mar-precalentador-colector solar

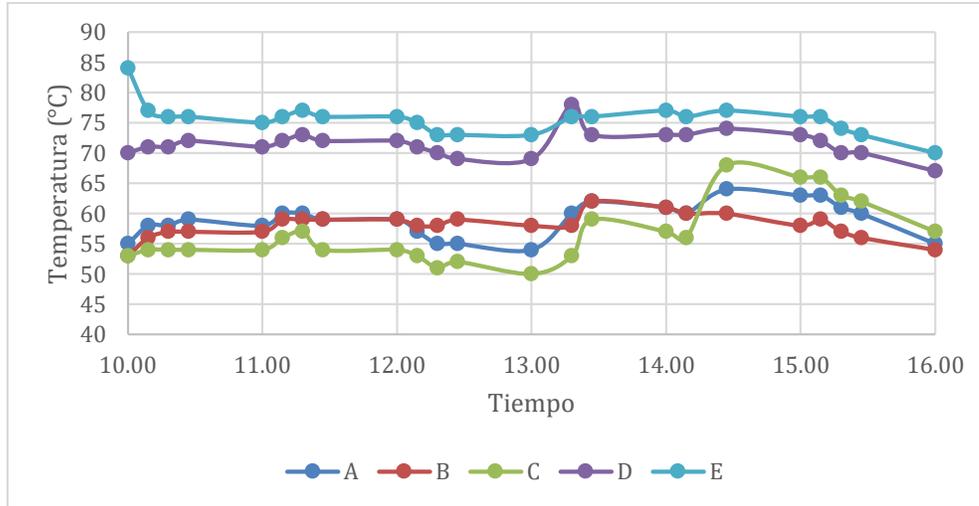
1. Colector solar
2. Entrada del agua de mar
3. Salida del concentrado
4. Salida del agua desalinizada
5. Válvula para regular el flujo volumétrico
6. Precalentador
7. Tanque de almacenamiento de agua de mar



La figura 23 muestra la temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar.

Figura 23

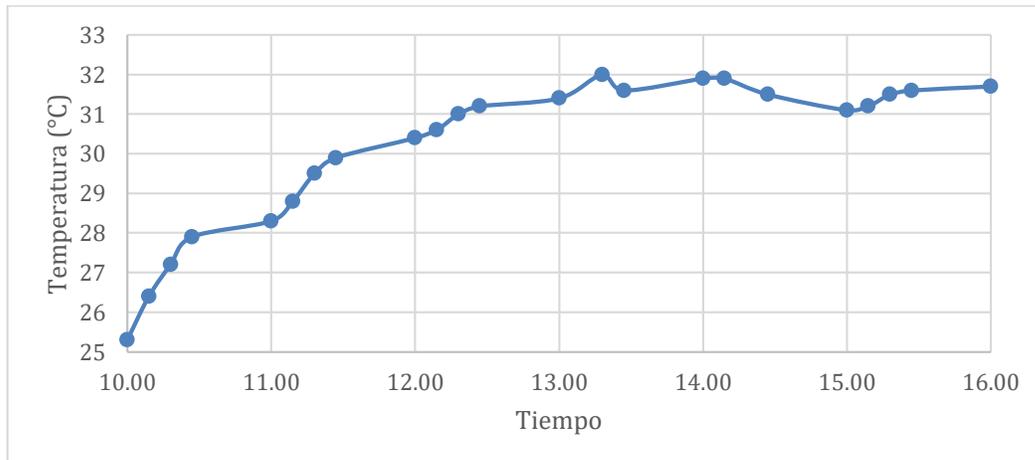
Temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar configuración tanque agua de mar-precalentador-colector solar



La figura 24 muestra la temperatura del tanque con agua de mar en función del tiempo.

Figura 24

Temperatura del tanque con agua de mar en función del tiempo configuración tanque agua de mar-precalentador-colector solar



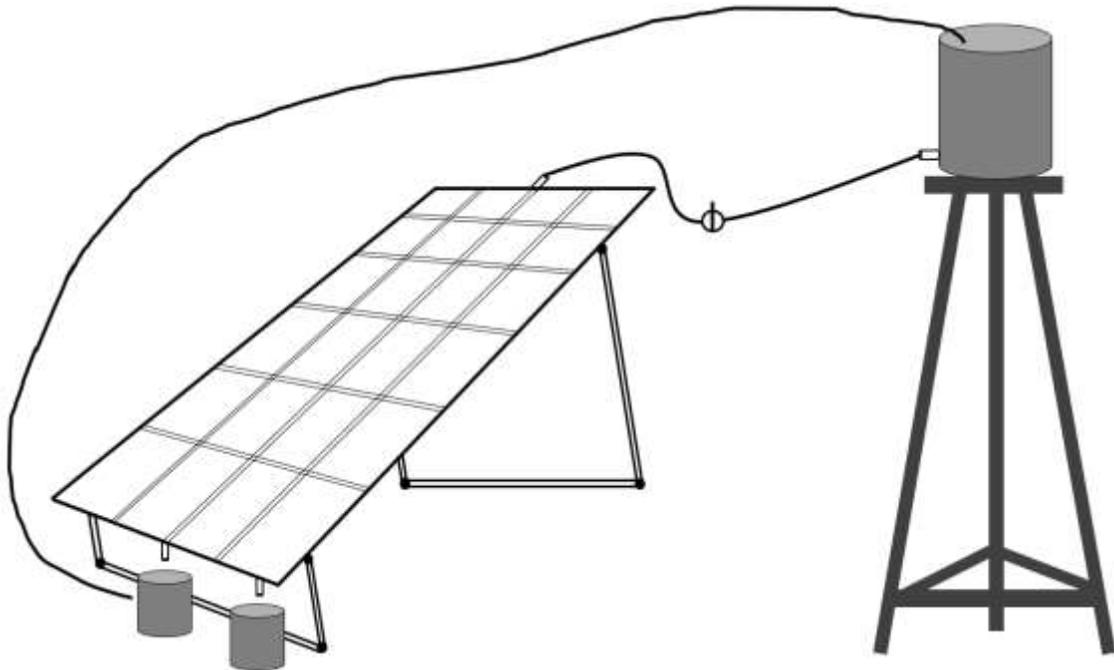
Productividad de agua desalinizada:

16,3 Kg con una conductividad global de 1457 $\mu\text{S}/\text{cm}$

- c. Configuración tanque con agua de mar-colector solar con recirculación
En la figura 25 se muestra la configuración tanque con agua de mar-colector solar con recirculación.

Figura 25

Configuración tanque con agua de mar-colector solar con recirculación

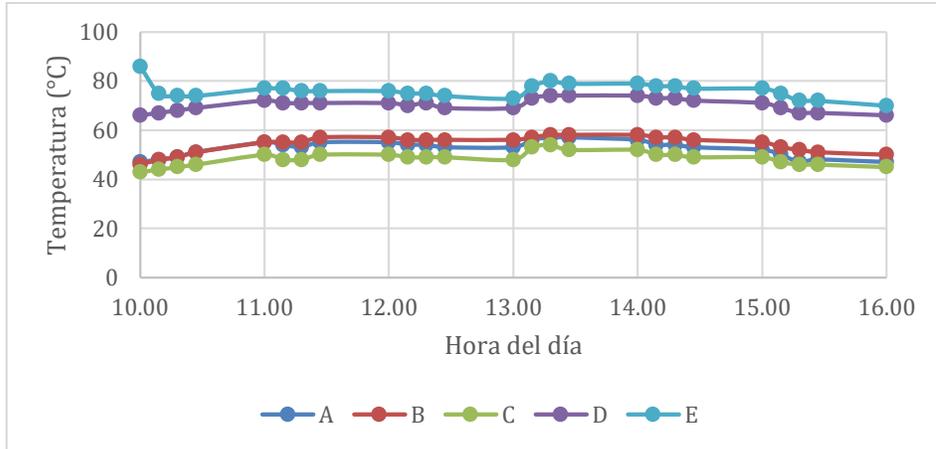


La figura 26 muestra la temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar.



Figura 26

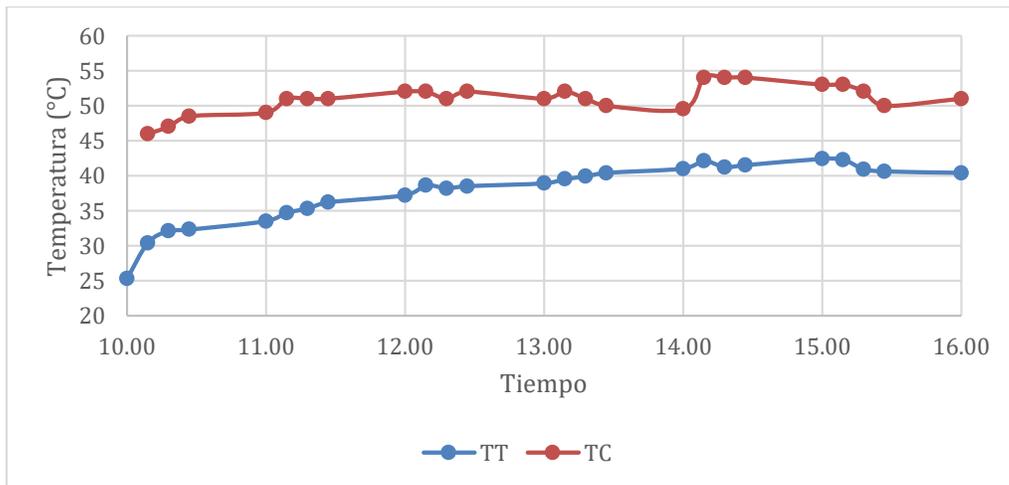
Temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar configuración tanque con agua de mar-colector solar con recirculación



La figura 27 muestra la temperatura del tanque con agua de mar (TT) y la temperatura del concentrado (TC) en función del tiempo.

Figura 27

Temperatura del tanque con agua de mar (TT) y la temperatura del concentrado (TC) configuración tanque con agua de mar-colector solar con recirculación



Productividad de agua desalinizada:

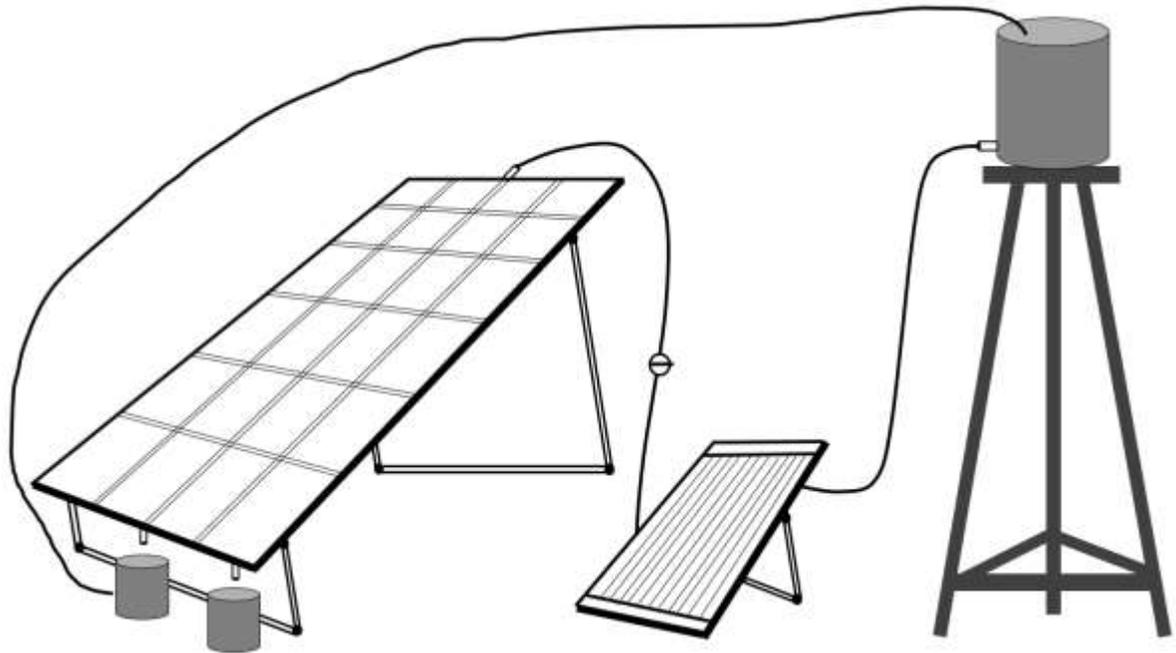
15,3 Kg con una conductividad global de 9,5 mS/cm

- d. Configuración Tanque agua de mar-precalentador-colector solar con recirculación

En la figura 28 se muestra la configuración Tanque agua de mar-precalentador-colector solar con recirculación.

Figura 28

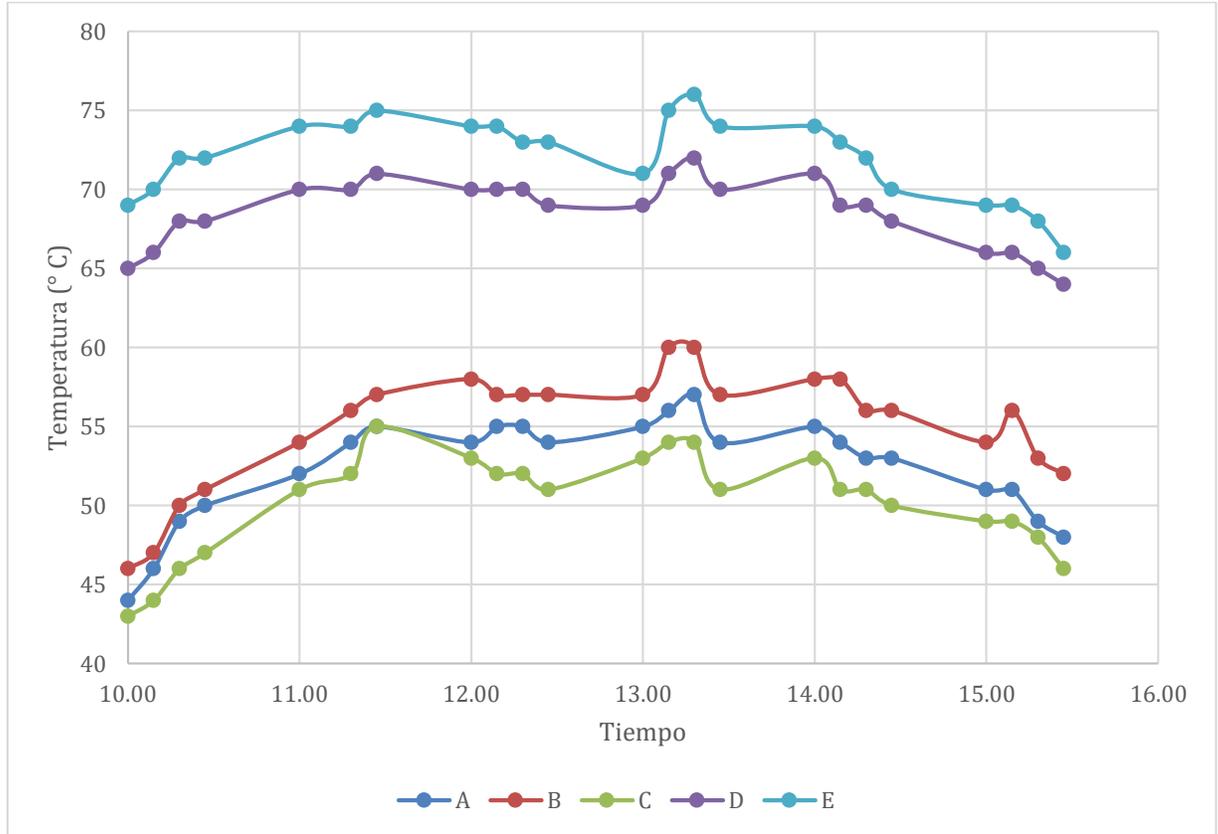
Configuración Tanque agua de mar-precalentador-colector solar con recirculación



La figura 29 muestra la temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar.

Figura 29

Temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar configuración tanque con agua de mar-precalentador-colector solar con recirculación



La figura 30 muestra la temperatura del tanque con agua de mar (TT) en función del tiempo.

La figura 31 muestra la temperatura de concentrado que sale del colector solar (TC) en función del tiempo.

La figura 32 muestra la temperatura de entrada al colector solar (TEC) en función del tiempo.

Figura 30

Temperatura del tanque con agua de mar (TT) en función al tiempo para configuración tanque con agua de mar-precalentador-colector solar con recirculación

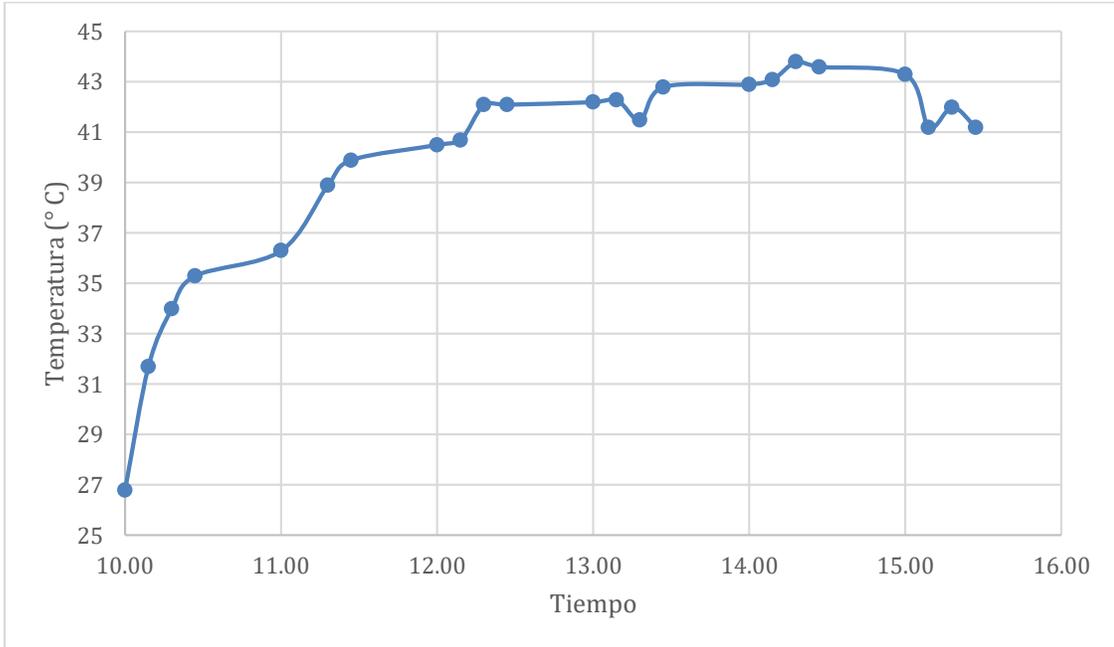
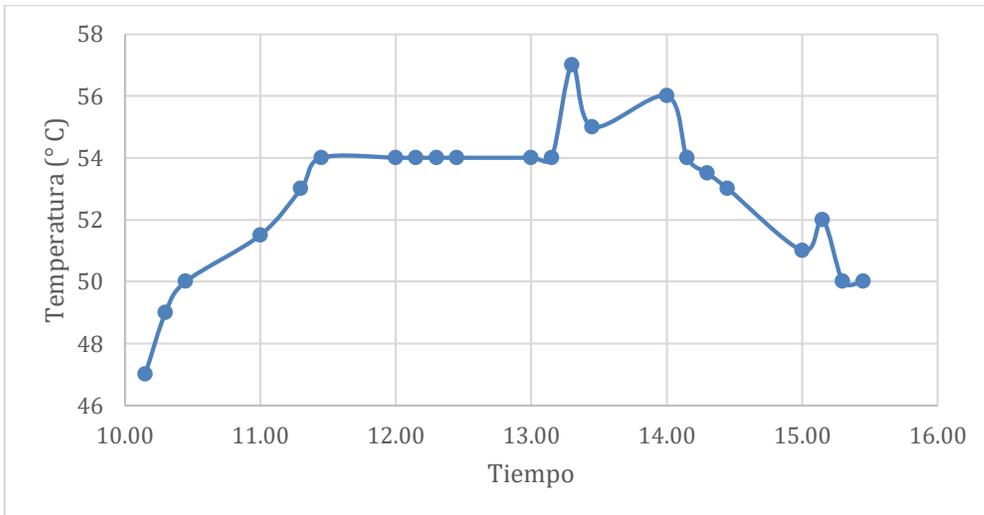


Figura 31

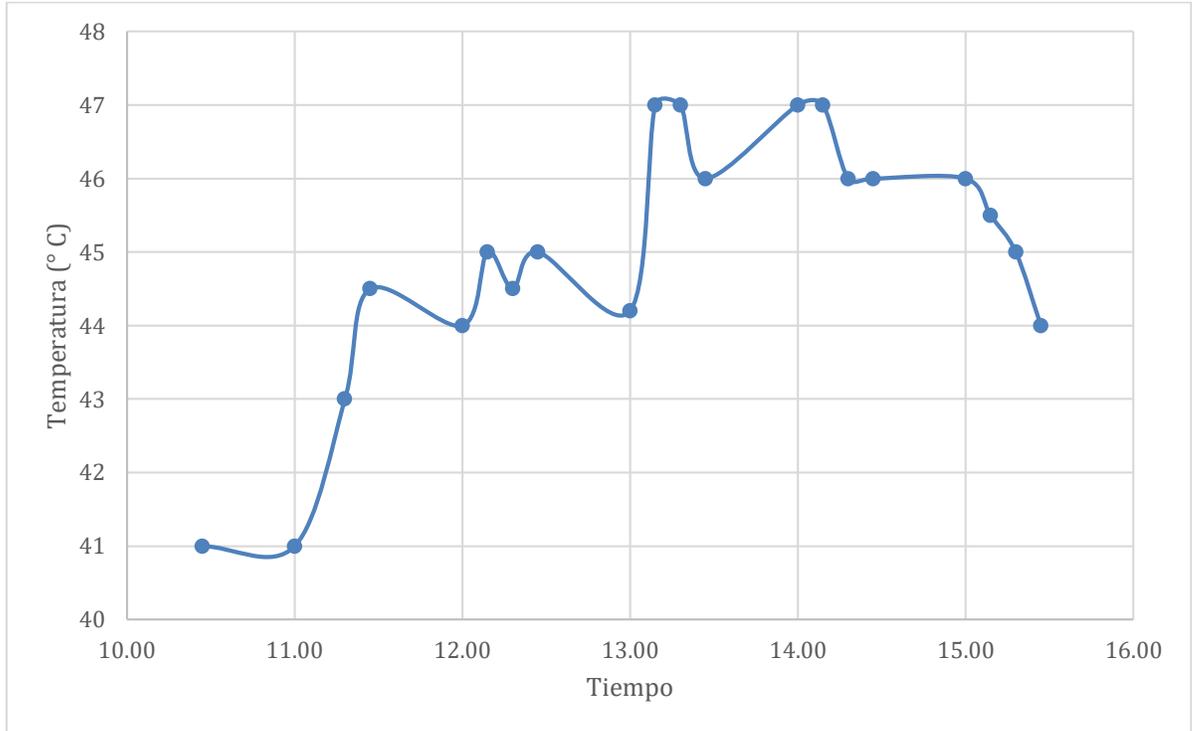
Temperatura de salida del colector solar de concentrado (TC) en función al tiempo para configuración tanque con agua de mar-precalentador-colector solar con recirculación



Three handwritten signatures in blue ink are located at the bottom right of the page.

Figura 32

Temperatura de entrada al colector solar (TEC) en función al tiempo para configuración tanque con agua de mar-precalentador-colector solar con recirculación



Productividad de agua desalinizada:

14,5 Kg con una conductividad global de 11,36 mS/cm

- e. Configuración Tanque agua de mar-nanofluido Fe_3O_4 11g-colector solar con recirculación

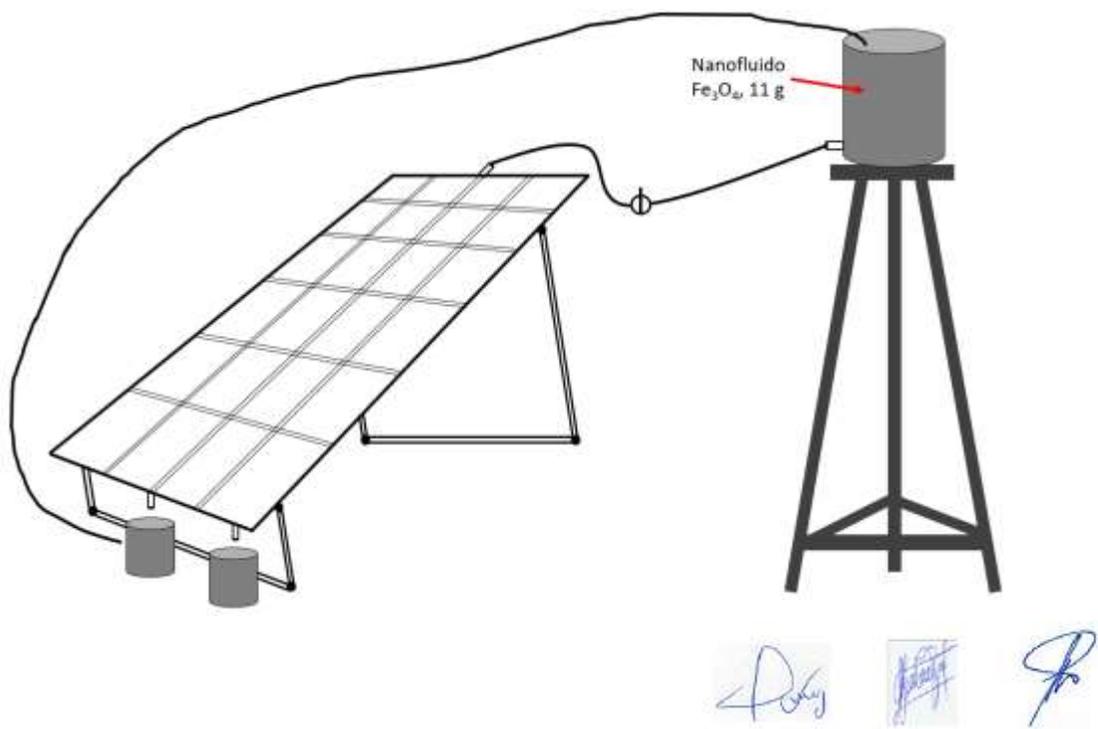
Como nanofluido se empleó Fe_3O_4 (ver figura 33) con tamaño de partículas de 30 a 50 nm procedente de China (JINGMEN FEIR TRADING Co. LTD.)

Figura 33
Nanopartícula de Fe_3O_4



En la figura 34 se muestra la configuración tanque con agua de mar- nanofluido Fe_3O_4 11 g - colector solar con recirculación.

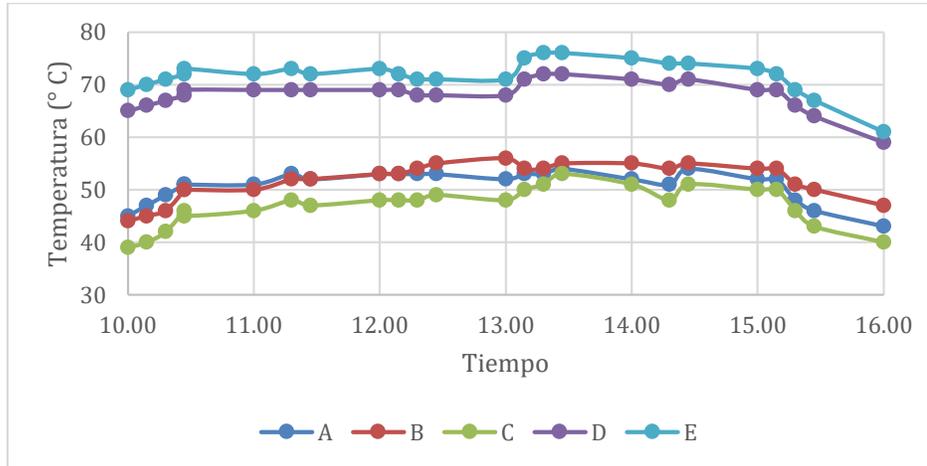
Figura 34
Configuración tanque con agua de mar- nanofluido Fe_3O_4 11 g-colector solar con recirculación



La figura 35 muestra la temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar para la configuración tanque con agua de mar-precalentador-colector solar con recirculación.

Figura 35

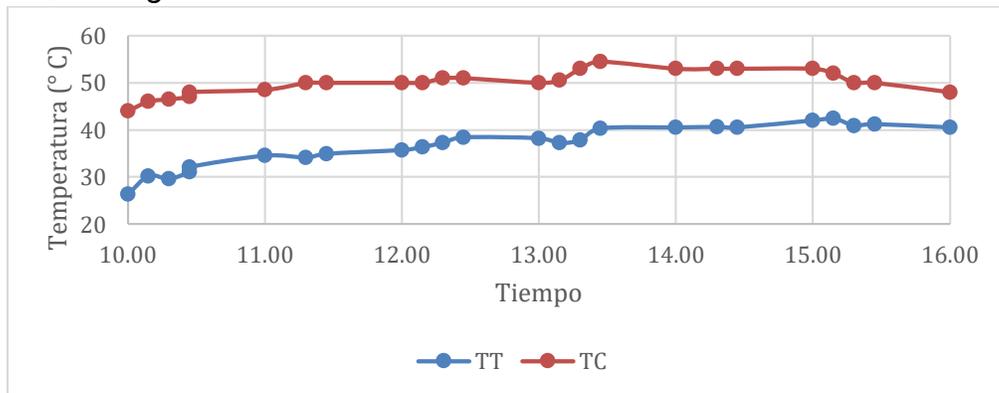
Temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar configuración tanque con agua de mar-nanofluido Fe_3O_4 11 g-colector solar con recirculación



La figura 36 muestra la temperatura del tanque con agua de mar (TT) y la temperatura del concentrado (TC) en función del tiempo.

Figura 36

Temperatura del tanque con agua de mar (TT) y temperatura del concentrado (TC) en función al tiempo para configuración tanque con agua de mar-nanofluido Fe_3O_4 11 g-colector solar con recirculación



[Handwritten signatures]

Productividad de agua desalinizada:

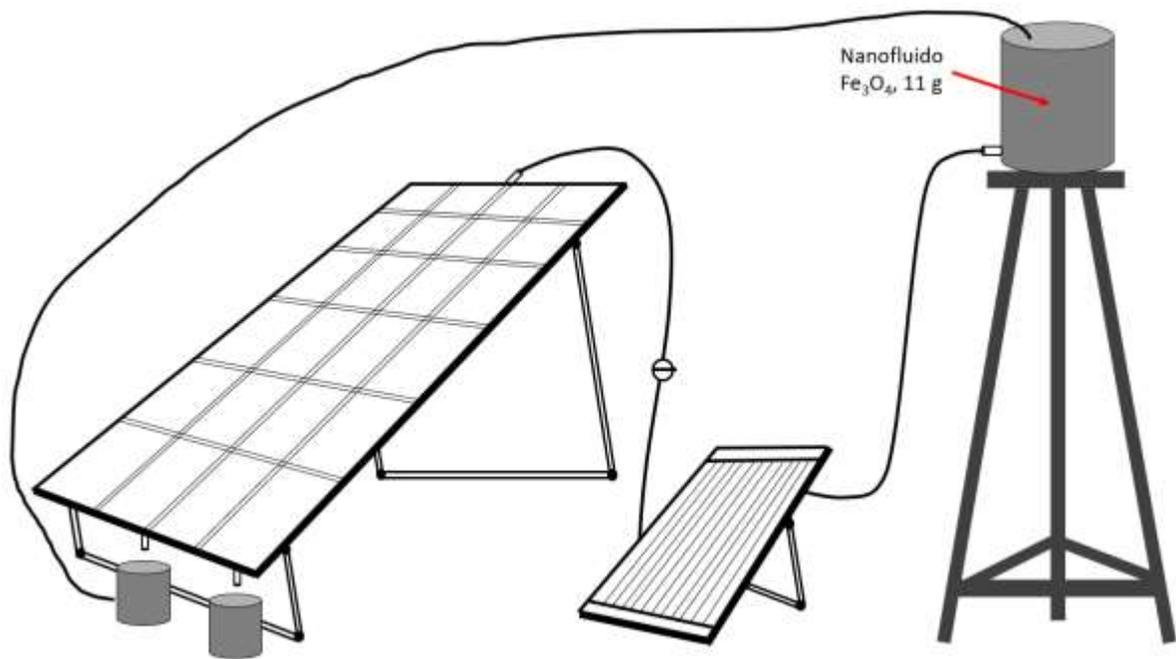
15,3 Kg con una conductividad global de 14,72 mS/cm

- f. Configuración Tanque agua de mar-nanofluido Fe_3O_4 11g-precalentador-colector solar con recirculación

En la figura 37 se muestra la configuración tanque con agua de mar- nanofluido Fe_3O_4 11 g – precalentador-colector solar con recirculación.

Figura 37

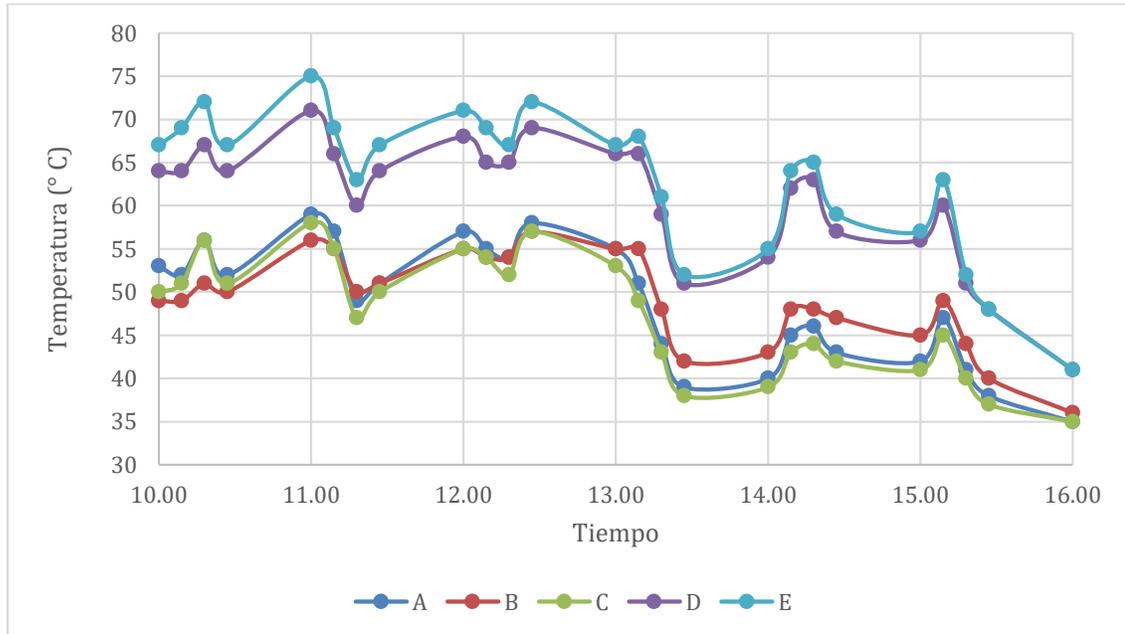
Configuración tanque con agua de mar-nanofluido Fe_3O_4 11 g-precalentador-colector solar con recirculación



La figura 38 muestra la temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar para la configuración tanque con agua de mar-precalentador-nanofluido Fe_3O_4 11 g-colector solar con recirculación.

Figura 38

Temperatura en función al tiempo en los puntos al interior del colector solar configuración tanque con agua de mar-nanofluido Fe_3O_4 11 g-precalentador-colector solar con recirculación



Productividad de agua desalinizada (día nublado por la tarde):

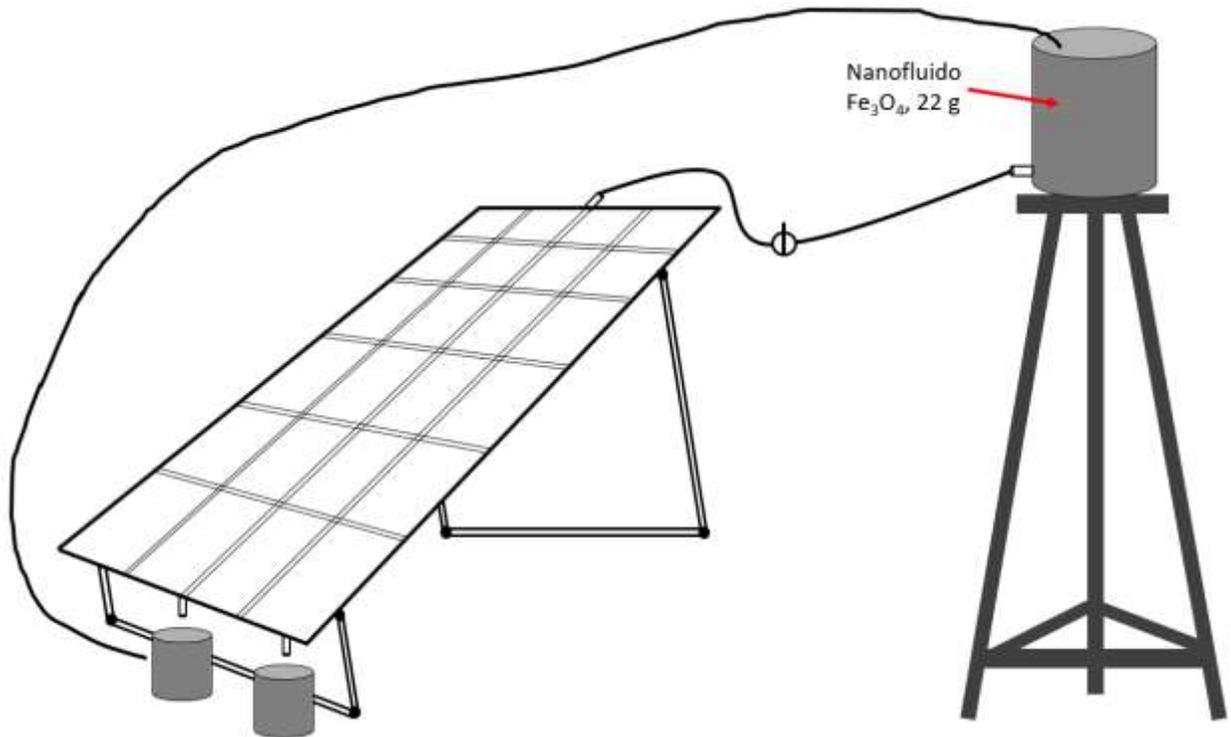
14,5 kg con una conductividad global de 11,36 mS/cm

- g. Configuración Tanque agua de mar-nanofluido Fe_3O_4 22g-colector solar con recirculación

En la figura 39 se muestra la configuración tanque con agua de mar- nanofluido Fe_3O_4 22 g-colector solar con recirculación.

Figura 39

Configuración tanque con agua de mar-nanofluido Fe_3O_4 22 g-colector solar con recirculación



Productividad de agua desalinizada:

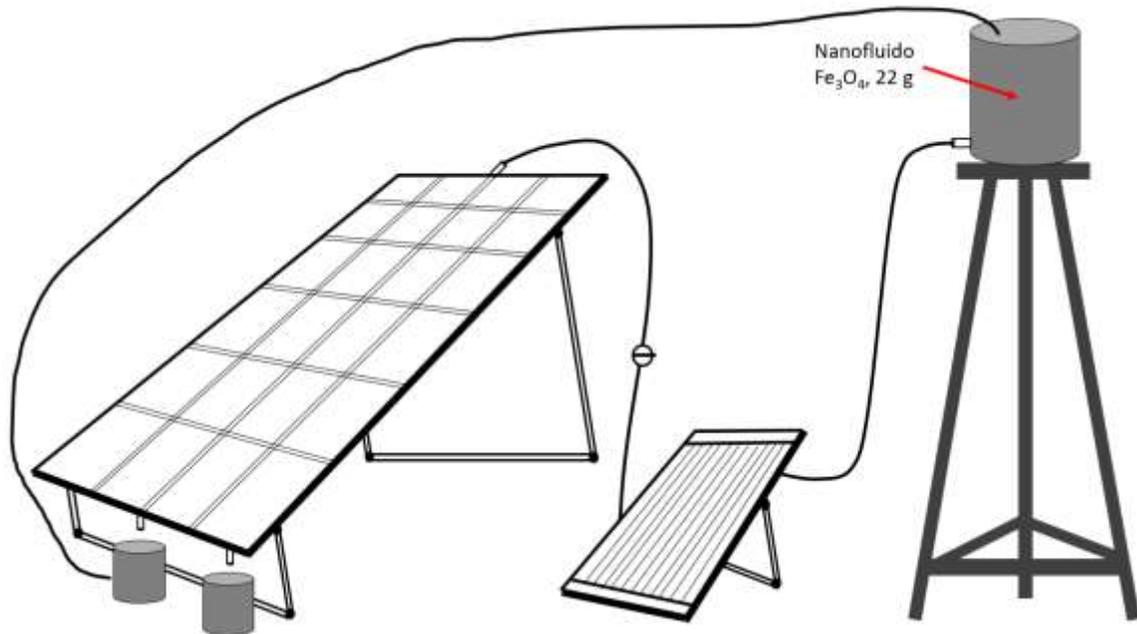
15,4 kg con una conductividad global de 6,79 mS/cm

- h. Configuración Tanque agua de mar-nanofluido Fe_3O_4 22 g – precalentador - colector solar con recirculación

En la Figura 40 se muestra la configuración tanque con agua de mar - nanofluido Fe_3O_4 22 g - precalentador - colector solar con recirculación.

Figura 40

Configuración tanque con agua de mar-nanofluido Fe_3O_4 22 g-precalentador-colector solar con recirculación



Productividad de agua desalinizada:

12,9 kg con una conductividad global de 9,03 mS/cm

5.2 Resultados Inferenciales

No se realizaron análisis inferenciales.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados

En nuestra investigación se plantea como Hipótesis general:

Una mayor productividad y una menor conductividad del agua desalinizada se obtendrá al menos con un tipo de configuración del sistema de desalinización con energía solar.

Luego del análisis de los datos se obtuvieron las tablas 2 y 3.

Tabla 2

Productividad y conductividad de agua desalinizada para tipos de configuraciones sin nanofluido (CSN)

Tipo de configuración	Detalle de la configuración	Temperatura promedio del agua líquida en el colector solar (°C)	Temperatura promedio del aire-vapor de agua en el colector solar (°C)	Conductividad del agua desalinizada (μS/cm)	Productividad de agua desalinizada (kg)
CSN1	Tanque con agua de mar-colector solar	48,9	73,9	923	11,2
CSN2	Tanque con agua de mar-precalentador-colector solar	57,9	73,6	1457	16,3
CSN3	Tanque con agua de mar-colector solar con recirculación	57,8	73,2	9500	15,3
CSN4	Tanque con agua de mar-precalentador - colector solar con recirculación	50,4	67,4	11360	14,5

Tabla 3

Productividad y conductividad de agua desalinizada para tipos de configuraciones con nanofluido (CCN)

Tipo de configuración	Detalle de la configuración	Temperatura promedio del agua líquida en el colector solar (°C)	Temperatura promedio del aire-vapor de agua en el colector solar (°C)	Conductividad del agua desalinizada (μS/cm)	Productividad de agua desalinizada (kg)
CCN1	Tanque con agua de mar-nanofluido 11 g - colector solar con recirculación	49,9	70,0	14720	15,3
CCN2	Tanque con agua de mar-nanofluido 11 g - precalentador - colector solar con recirculación	48,5	62,0	22200	12,2
CCN3	Tanque con agua de mar-nanofluido 22 g - colector solar con recirculación	55,9	73,0	6790	15,4

De la Tabla 2, el tipo de configuración CSN2 resultó con mayor productividad de agua desalinizada de 16,3 kg, mientras que con el tipo de configuración CSN1 resultó 11,2 kg. Asimismo, las conductividades del agua desalinizada de estos dos tipos configuraciones se encuentran por debajo del límite máximo permisible de la calidad organoléptica del Anexo II del Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-SA). Las productividades de agua desalinizada de los tipos de configuraciones CSN3 y CSN4 fueron 15,3 y 14,5 kg, respectivamente. Las conductividades de estos dos tipos de configuraciones resultaron muy por encima del límite máximo permisible de la calidad organoléptica.

Como Hipótesis específicas se planteó:

- a) El uso del nanofluido en los tipos de configuración aumentará la productividad y disminuirá la conductividad del agua desalinizada usando.

Respecto a esta hipótesis, de las Tabla 2 y 3, que resulta de comparar las configuraciones que emplean y aquellas que no emplean nanofluidos es que no tiene un efecto de mejora en la productividad. Por ello se concluye que no sería recomendable el uso de nanopartículas además de que tiene un costo adicional. La conductividad del agua desalinizada que emplean configuraciones que tienen nanofluido, supera el límite máximo permisible de la calidad organoléptica del agua.

- b) El precalentamiento del agua de mar antes de ingresar al colector solar aumentará la productividad y disminuirá la conductividad de agua desalinizada.

El precalentamiento del agua de mar solar aumentó la productividad de agua colectada, de 11,2 kg a 16,3 kg y se tuvo un incremento de la conductividad (ver tabla 2 configuraciones CSN1 y CSN2).

- c) La recirculación del concentrado en los tipos de configuración aumentará la productividad y disminuirá la conductividad del agua desalinizada.

La recirculación del concentrado en los tipos de configuración en general aumentó la productividad de agua colectada. También tuvo un efecto de aumentar la conductividad del agua desalinizada como se muestra en las tablas 2 y 3.



6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Las productividades obtenidas en esta investigación fueron de 15 a 16 kg/día. Estos resultados son del orden que menciona el fabricante de celdas solares F-cubed Carocell que indica que para un colector solar de 3 m² se podrían tener productividades de 16 y 20 kg con agua de lluvia a temperaturas de ambientales de 20 y 30 °C.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

Nosotros Dr. César Gutiérrez Cuba, MSc Héctor Ricardo Cuba Torre y MSc Alex Willy Pilco Nuñez, nos responsabilizamos por la información emitida en el presente informe final de investigación, de acuerdo al Código de Ética de la Investigación de la UNAC, emitido en la resolución de Consejo Universitario N° 260-2019-CU.

Three handwritten signatures in blue ink, arranged horizontally. The first signature is on the left, the second is in the middle, and the third is on the right.

CONCLUSIONES

De los dos grupos de tipos de configuraciones de sistema de desalinización con energía solar, el primer grupo utilizó sólo el fluido base (agua de mar) y el segundo grupo utilizó un nanofluido (mezcla de nanopartícula Fe_3O_4 con agua de mar). El tipo de configuración CSN2, presentó la mayor productividad de 16,3 kg de agua desalinizada y una conductividad de 1457 $\mu S/cm$ durante seis horas de tratamiento. Mientras el segundo grupo con nanofluidos de tipos de configuración CCN1, CCN2 y CCN3 resultaron con productividades entre 12,2 y 15,4 kg y con conductividades muy superior a los límites máximos permisibles.

El precalentamiento favorece en la productividad del agua desalinizada como se ha obtenido en la configuración CSN2 con un 31,3% mayor respecto a la configuración CSN1, ambas configuraciones presentan conductividades por debajo del límite máximo permisible de la calidad organoléptica del Anexo II del Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-SA).

El efecto de la recirculación del concentrado en el sistema de desalinización con energía solar no favorece la disminución de la conductividad del agua desalinizada y la productividad se encuentra en el orden de los tipos de configuración sin recirculación.



RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más estudios de tratamiento de agua de mar con un sistema de recirculación y con fluido base (agua de mar).

Se recomienda realizar configuración en series con la finalidad de disminuir la conductividad del agua desalinizada.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arunkumar, T., Jayaprakash, R., Ahsan, A., Denkenberger, D. & Okundamiya, M.S. (2013). Effect of water and air flow on concentric tubular solar water desalting system. *Applied Energy*, 103, 109–115.
- Boretti, A., & Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the World water development report. *Npj Clean Water*, 2(1), 15. <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>. <https://doi.org/>.
- Bhardwaj, R., Kortenaar, M.V.ten & Mudde, R. F. (2015). Maximized production of water by increasing area of condensation surface for solar distillation. *Applied Energy*, 154, 480-490
- Bustinza Felix, Chelvi (2020). Tesis: Sistema de Destilaciom Solar para purificacion de Aguas Salobres, Facultad de Ingenieria de Procesos, Universidad Nacional San Antonio Abat del Cusco, http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/5449/253T20200241_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Dao V D and Choi H S. (2018) Carbon-based sunlight absorbers in solar-driven steam generation devices. *Global Challenges*, 2018, 2(2): 1700094
- Gao, L., Yoshikawa, S., Iseri, Y., Fujimori, S., & Kanae, S. (2017). An economic assessment of the global potential for seawater desalination to 2050. *Water*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/w9100763>. <https://doi.org/>
- Ihsanullah, I., Atieh, M. A., Sajid, M., & Nazal, M. K. (2021). Desalination and environment: A critical analysis of impacts, mitigation strategies, and greener desalination technologies. *Science of the Total Environment*, 780, Article 146585. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146585>. <https://doi.org/>
- Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M. T. H., Smakhtin, V., & Kang, S. (2019). The state of desalination and brine production: A global outlook. *Science of the Total Environment*, 657, 1343–1356. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076>. <https://doi.org/>
- Kumar, S. & Tiwari, G. (2009). Life cycle cost analysis of single slope hybrid (PV/T) active solar still. *Applied Energy*, 86(10), 1995–2004
- Mashaly, A., Alazba, A., Al-Awaadh, A. & Mattar, M. (2015). Area determination of solar desalination system for irrigating crops in greenhouses using different quality feed water. *Agricultural Water Management*, 154, 1-10.



- Miller, O. L., Putman, A. L., Alder, J., Miller, M., Jones, D. K., & Wise, D. R. (2021). Changing climate drives future streamflow declines and challenges in meeting water demand across the southwestern United States. *Journal of Hydrology X*, 11, Article 100074. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2021.100074>. <https://doi.org/https://doi.org/>
- Rasifaghihi, N., Li, S. S., & Haghghat, F. (2020). Forecast of urban water consumption under the impact of climate change. *Sustainable Cities and Society*, 52, Article 101848. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101848>. <https://doi.org/https://doi.org/>
- Salem, Mohamed R., Salem, Muataz R. & Higazy, M. & Abdrabbo, M. (2020). Performance enhancement of a solar still distillation unit: A field investigation. *Solar Energy*, 202, 326-341
- Selvaraj, K. & Natarajan, A. (2018). Factors influencing the performance and productivity of solar stills – A review. *Desalination*, 435, 181-187.
- Taamneh, Y., Manokar, A., Thalib, M., Kabeel, A., Sathyamurthy, R. & Chamkha, A. (2020). Extraction of drinking water from modified inclined solar still incorporated with spiral tube solar water heater. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101613
- Tiwari, G., Singh, H. & Tripathi, R. (2003). Present status of solar distillation. *Solar Energy*, 75(5), 367–373
- Wang Tian-yi, Heng-bo Huang, Hao-liang Li, You-kun Sun, Yu-hua Xue, Shu-ning Xiao*, Jun-he Yang (2021) Carbon materials for solar-powered seawater desalination. *New Carbon Materials* Volume 36, Issue 4, Aug. 2021 Science Direct. DOI: 10.1016/S1872-5805(21)60066-5



ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: “DESALINIZACION DE AGUA DE MAR EMPLEANDO NANOFLUIDOS EN COLECTOR SOLAR”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores	Método de determinación
<p>General</p> <p>¿Cuál será el tipo de configuración del sistema de desalinización con energía solar que permita obtener la mayor la productividad y la menor conductividad del agua desalinizada?</p> <p>Específicos</p> <p>¿Cuál es el efecto de empleo del nanofluido en cada tipo de configuración sobre la productividad y la conductividad del agua desalinizada?</p> <p>¿Cuál es el efector del precalentamiento en la productividad y la conductividad de agua desalinizada?</p> <p>¿Cuál es el efecto de la recirculación del concentrado en la productividad y la conductividad del agua desalinizada?</p>	<p>General</p> <p>Determinar la productividad y la conductividad del agua desalinizada de los tipos de configuración del sistema de desalinización con energía solar.</p> <p>Específicos</p> <p>Determinar el efecto de nanofluido en cada tipo de configuración sobre la productividad y la conductividad del agua desalinizada.</p> <p>Determinar el efecto del precalentamiento en la productividad y la conductividad de agua desalinizada</p> <p>Determinar el efecto de la recirculación del concentrado en la productividad y la conductividad del agua desalinizada.</p>	<p>General</p> <p>Una mayor productividad y una menor conductividad del agua desalinizada se obtendrá al menos con un tipo de configuración del sistema de desalinización con energía solar.</p> <p>Específicos</p> <p>El uso del nanofluido en los tipos de configuración aumentará la productividad y disminuirá la conductividad del agua desalinizada usando.</p> <p>El precalentamiento del agua de mar antes de ingresar al colector solar aumentará la productividad y disminuirá la conductividad de agua desalinizada.</p> <p>La recirculación del concentrado en los tipos de configuración aumentará la productividad y disminuirá la conductividad del agua desalinizada.</p>	<p>Variable Dependiente:</p> <p>Y= productividad de agua desalinizada</p> <p>Variable independiente:</p> <p>X1= Configuración del sistema de desalinización con energía solar</p> <p>X2= Concentración de nanopartícula en el agua mar</p>	<p>Cantidad de agua desalinizada colectada</p> <p>Configuración definida para la prueba</p> <p>Cantidad de nanopartícula agregado al agua de mar</p>	<p>kg</p> <p>Tipo de configuración</p> <p>g/kg</p>	<p>Balanza</p> <p>--</p> <p>Balanza</p>