

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DESALINIZACIÓN DE AGUA MEDIANTE CICLO FORZADO DE ENERGÍA FOTOTÉRMICA ACTIVA EN CONDICIONES EXTREMAS DEL ALTIPLANO A MÁS DE 3800 MSNM JULIACA.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A WATER DESALINATION SYSTEM THROUGH FORCED CYCLE OF ACTIVE PHOTOTHERMAL ENERGY IN EXTREME CONDITIONS OF THE ALTIPLANO AT MORE THAN 3800 M.S.N.M. JULIACA.

Marly Maryori Ccora Condori*

mm.ccorac@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca

<https://orcid.org/0009-0004-4310-1554>

Juan Carlos Jove Yataco

jc.jovey@unaj.edu.pe Universidad Nacional de Juliaca

<https://orcid.org/0009-0003-7770-9587>

Reynaldo Condori Yucra

rcondori@unaj.edu.pe Universidad Nacional de Juliaca

<https://orcid.org/0000-0002-6905-2170>

Armando Antonio Salinas del Carpio

a.salinas@unaj.edu.pe Universidad Nacional de Juliaca

<https://orcid.org/0000-0002-1032-0388>

* Autor de correspondencia

Recibido: 26/06/2024 Aceptado: 05/07/2024 Publicado: 31/07/2024

Resumen

La decadencia de la salinidad del agua afecta a muchos pobladores que no cuentan con servicio a la red pública. La desalinización mediante energía fototérmica es una nueva manera recién utilizada para la desalinización del agua que existe en los pozos de Juliaca. El presente proyecto de investigación propone el diseño de un sistema de desalinización del agua a ciclo forzado, donde se realiza el control de temperatura para poder desalinizar el agua en condiciones extremas y como objetivo principal tener el agua libre de sales y apto para el consumo. Para lo cual el diseño del sistema de desalinización de ciclo forzado con energía fototérmica, está constituido por motor, tanque, colector de placa plana, tubería PVC, cubierta transparente. Para provocar el cambio de estado de líquido a vapor debemos mantener una temperatura constante para que el agua se evapore y se condensa esta formará agua dulce y el agua con salmuera. Para el control de temperatura interna de la tubería de agua se monitorea por el sensor termocupla tipo J conectado a un módulo MAX-6675, el monitoreo será por el microcontrolador Arduino-UNO para el procesamiento de temperaturas. Concluyendo se espera tener una conveniencia con la temperatura interna controlada con respecto a la desalinización del agua y que sea apto para el consumo humano en Juliaca.

Palabras clave: Agua, colector, desalinización, fototérmica, temperatura.

Abstract

The declining salinity of the water affects many villagers who do not have access to the public water supply. Desalination by means of photothermal energy is a new way of desalinating the water that exists in the wells of Juliaca. The present research project proposes the design of a forced cycle water desalination system, where temperature control is carried out in order to desalinate water under extreme conditions and as a main objective to have water free of salts and suitable for consumption. The design of the forced cycle desalination system with photothermal energy consists of an engine, tank, flat plate collector, PVC piping and transparent cover. To cause the change of state from liquid to vapour we must maintain a constant temperature so that the water evaporates and condenses to form fresh water and water with brine. For the internal temperature control of the water pipe is monitored by the J-type thermocouple sensor connected to a MAX-6675 module, the monitoring will be by the Arduino-UNO microcontroller for temperature processing. In conclusion it is expected to have a convenience with controlled internal temperature with respect to the desalination of water and that it is suitable for human consumption in Juliaca.

Keywords: Water, collector, desalination, photothermal, temperature.

and condenses to form fresh water and water with brine. For the internal temperature control of the water pipe is monitored by the J-type thermocouple sensor connected to a MAX-6675 module, the monitoring will be by the Arduino-UNO microcontroller for temperature processing. In conclusion it is expected to have a convenience with controlled internal temperature with respect to the desalination of water and that it is suitable for human consumption in Juliaca.

Keywords: Water, collector, desalination, photothermal, temperature.

Introducción

La energía fototérmica consiste en el aprovechamiento de la energía que se recibe del sol para generar calor, estos pueden utilizarse para diferentes usos como la tecnología de colectores solares o captadores solares y equipos de termosifón, agua caliente sanitaria o usos industriales, que pueden generar electricidad, ya que es renovable e ilimitada.

El agua es uno de los recursos naturales que hace posible la existencia de los seres vivos sobre la tierra, sabemos que en el planeta no toda el agua puede ser consumida directamente por el ser humano ya que el 97.5% es agua salada y solo el 2.5% agua dulce del cual solo tenemos acceso a 0.007%.

La desalinización consiste en el proceso de separación de las sales disueltas del agua de mar, donde se genera un agua producto o agua potable, y un rechazo de la salmuera. Como tal desalar el agua se refiere al mismo proceso de separación, pero en aguas de menor salinidad que el agua de mar, se presenta como alternativa de abastecimientos en regiones con déficit de agua, que se abastecen de pozos (Arreguín Cortés, 2010).



Fig. 1 Diagrama de flujo del proceso Med.

El primer colector fue fabricado por el suizo Nicholas de Saussure (1740 – 1799), este estaba compuesto por una cubierta de vidrio y una placa metálica negra encerrada en una caja con su respectivo aislamiento térmico. Este primer colector solar se utilizó como un tipo de horno, ya que, se utilizó para cocinar alimentos que se introducían en su interior.

El tratamiento que se debe realizar al agua según su desalinización depende principalmente de la calidad del agua en la fuente de captación. En este sentido, puede requerir un tratamiento convencional, en el

cual se consideran los procesos de: pretratamiento, ósmosis inversa, destilación, congelación, formación de hidratos y evaporación (Moya, 2019).

Existen patógenos comunes no sólo se transmiten por agua, sino también por los malos hábitos de higiene de las personas al extraer agua de los pozos como tenemos en conocimiento que existe la bacteria E. coli que es alta, que generan enfermedades gastrointestinales que pueden llegar a ser enfermedades serias y requieren tratamiento (Rock & Rivera, 2014).

Los solsticios son los momentos del año en los que el Sol alcanza su mayor o menor altura aparente en el cielo, y la duración del día o de la noche son las máximas del año, respectivamente. Astronómicamente los solsticios son los momentos en el que el Sol alcanza la máxima declinación norte (+23° 27') o sur (-23° 27') con respecto al ecuador terrestre (Claudio, 2018).

La habilidad de la luz ultravioleta de promover reacciones fotoquímicas sirve de base a dos tecnologías ambientales con UV: desinfección UV y oxidación avanzada, la oxidación avanzada usa la energía ultravioleta sola o en combinación con oxidantes que se agregan para promover la destrucción de compuestos químicos orgánicos peligrosos. Sin embargo, la oxidación avanzada usa una dosis mayor que la utilizada para la desinfección UV para obtener resultados prácticos de oxidación con una amplia variedad de compuestos orgánicos (Livier, 2014).

Materiales y métodos

Diseño de Colector Solar

Se realizó el diseño en el software “Inventor y SolidWorks”, teniendo en cuenta las diferentes bondades que nos ofrece con la creación rápida de modelados paramétrico de sólidos en 3D haciendo documentación y simulación, lo que facilita el trabajo de diseño.

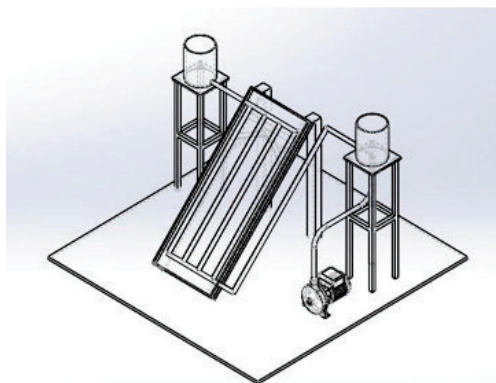


Fig. 2 Diseño realizado en el software SolidWorks. Fig. 2 el diseño fue realizado en el software SolidWorks para tener un modelo de la construcción a realizar en el prototipo.

Cantidad	Materiales
1	Carcasa
1	Aislamiento Polietileno
1	Aislamiento fibra de vidrio
1	Entrada de agua fría
4	Conductos de cobre
1	Placa Absorbedor
1	Cubierta de vidrio
1	Salida de agua
1	Válvula de purga

Tabla 1 Materiales a utilizar para la construcción del colector solar de placa plana.

En la tabla 1 se describe la cantidad de materiales que se utilizará para la construcción del colector.

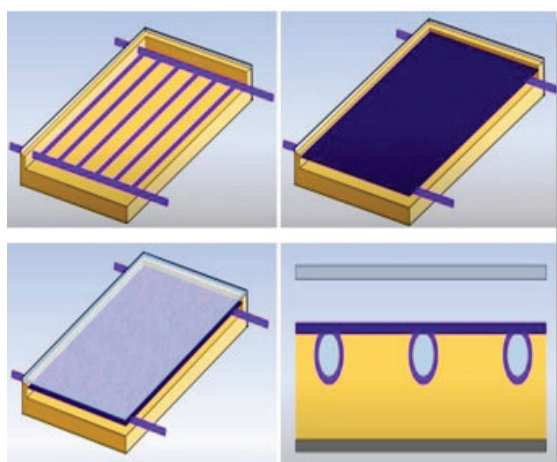


Fig. 3 Vistas del colector de placa plana.

En la fig. 3 se puede mostrar parte por parte el colector solar primero con la carcasa y tubería de cobre, ya en la segunda imagen con el captador con la placa absorbente, luego tenemos la que tiene cubierta transparente, se muestra también el corte transversal del captador con los orificios de los tubos de cobre y las capas que contiene el colector plano.

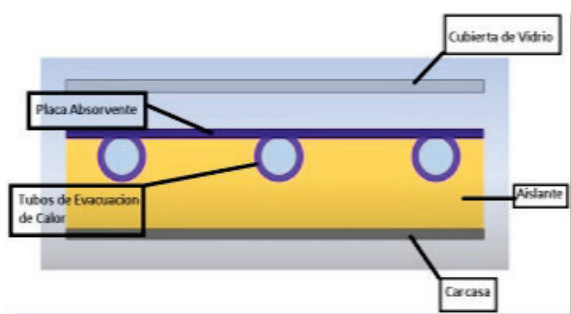


Fig. 4 Colector solar y sus partes.

En la fig. 4 del Colector solar podemos apreciar cada material que se utiliza en la construcción, con el ingreso de agua fría salada, que se almacena en cada tubería hasta llegar a la temperatura alcanzada en la cual se evapora para luego condensarse y obtener agua desalada o salmuera.

Control de temperatura

Para nuestro control de temperatura interna dentro del colector utilizamos el sensor de temperatura termocupla tipo J, que son utilizados para mediciones de 0 a 700°C conectado al módulo MAX6675, para el acondicionamiento, realizamos la conexión entre dispositivos, con la librería MAX6675.

Cantidad	Equipos
1	Sensor termocupla tipo J.
1	Almacenamiento de Temp. Arduino.
2	Tanque de Almacenamiento con aislante térmico.

Tabla 2 Equipos a utilizar para el control de temperatura.

Medición de Datos del Agua

Para el siguiente proceso que se llevó a cabo en un laboratorio, pruebas de la cantidad de salinidad que contiene el agua que deseamos desalinizar en el distrito de Santa María de Ayabacas, nos brindaron los siguientes resultados como se puede apreciar en la tabla 3 los parámetros fisicoquímicos del agua de Ayabacas.

Parámetro Evaluado	Resultados	Unidad de medida
Agua	-P-1	
Salinidad	660	ppm
Conductividad Eléctrica	3.20	ms/cm
PH	8.03	
Coliformes	2	NMP/100mL
Totales		

Tabla 3 Parámetros fisicoquímicos del agua subterránea de pozo.

De la tabla 3 podemos observar que la salinidad es elevada ya que es un agua dura y muy poco tolerable para el consumo humano.

Desalinización solar del agua

El calentamiento del agua con energía solar es una alternativa viable, donde los diferentes tipos de colectores solares de placa plana son utilizados, en varios países hermanos este sistema es utilizado para desalar agua en grandes cantidades ya que existen

plantas desalinizadoras de agua y están en funcionamiento (Lydia G., 2019).

Destilación multiefectos

Este es el proceso que utilizaremos para desalinizar el agua en diferentes etapas conocidos como efectos, los cuales consisten en recipientes, el intercambiador de calor y los dispositivos para el transporte del fluido, sin embargo, el proceso de (MED) tiene las siguientes etapas.

El agua salada se precalienta y se atomiza para cubrir la superficie del evaporador, en este los tubos son verticales con películas delgadas de agua descendiendo y que rápidamente promueve la ebullición y la evaporación del agua salada. El vapor de agua que está contenido en los tubos de cobre es generado gracias al calor externo de los colectores, el agua se condensa en el evaporador y es reciclada para su reutilización. Después de haber intercambiado su calor este condensado para formar parte del agua producida.

El último efecto es la condensación en un intercambiador de calor al que llamamos condensador final el cual será enfriado por el agua salada entrante, que será precalentada para hacer más eficiente el proceso. Ya que solo una parte del agua salada es evaporada en cada efecto, el agua restante de cada efecto tendrá una alta concentración de sales y formará parte de la salmuera o agua remanente. El sistema multietapas tiene mejor compatibilidad con colectores de energía solar térmica.

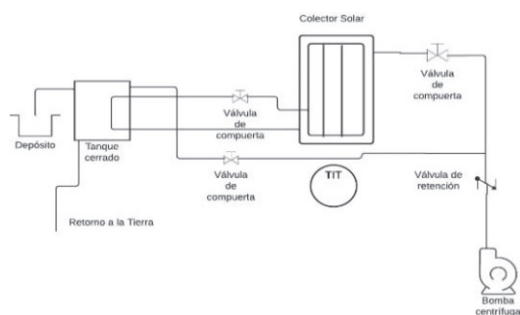


Fig. 5 Plano P&ID del sistema de funcionamiento.

En la fig. 5 se muestra el plano P&ID del sistema de funcionamiento desde el impulso de la bomba centrífuga que llega a la válvula de retención y válvula compuerta e ingresa el agua fría hacia el colector en el cual pasa por el proceso de hervido y evaporación siendo controlado por el sensor de temperatura que manda una señal a la válvula de compuerta la cual se abre para la condensación del agua que se realiza en el tanque cerrado y pasa el agua desalada al depósito mientras el agua salobre se retorna al proceso.

Método

Volumen de Caudal para la tubería de cobre

Se debe tomar en consideración cuantos litros de agua van a circular por las tuberías para ver si es factible el proceso.

$$V = \pi r^2 h$$

(1) Donde (r) es el radio y (h) será la altura

Selección de la bomba

Para esto consideramos nuestra altura de bombeo que viene dada por la ecuación conocida de Bernoulli, y aplicamos la primera ley de la termodinámica para el volumen de control que será cerrado.

$$H_R = \left(\frac{P}{\rho \cdot g} - \frac{v_a^2}{2 \cdot g} + Y_a \right) + (Z_b - Z_a) + H_p \quad (2)$$

Donde:

H_R : Altura de la bomba,

(P) Presión,

(ρ) Densidad, (g) Gravedad.

Transmisividad total de la cubierta

La transmisividad total de la cubierta es el resultado de producto de la transmisividad por absorción.

$$t_c = t_r \cdot t_a \quad (3)$$

Donde:

t_c : Transmisividad de la cubierta.

t_r : Transmisividad por reflexión.

t_a : Transmisividad por absorción.

Radiación absorbida por la placa

La radiación transmitida por la cubierta atraviesa la cámara de aire del colector y se estrella con la placa de absorción, la cual absorbe una refracción de esta radiación incidente y refleja una fracción (1-a) hacia la cubierta.

$$(t\alpha)_{cp} = \frac{t_c \alpha}{1 - (1 - a) p_d} \quad (4)$$

Resultados y Discusiones

Resultados de los parámetros de la construcción del colector solar plano

El colector tendrá como función mantener la temperatura constante para que el agua dentro de las tuberías de cobre caliente desde un caudal mínimo de 2 L/min hasta un máximo de 6.0 L/min.

Dimensiones de la resistencia:

Longitud = 30.00 cm

Diámetro = 6.00 cm

Dimensiones del Calentador

Parámetros	Unidades	Cobre
Tubería	1(in=32mm)	0.75
Aislante térmico	W/m °C	FV=0.03
Placa Absorbedor	%	E=94%
Dimensionamiento del Colector	M	Largo:1.20 Ancho:0.50
Temperatura de la entrada agua	°C	17
Temperatura de la Placa	°C	25
Caudal	L/m	5

Tabla 4 Parámetros calculados en el dimensionamiento del colector.

Estos parámetros fueron calculados mediante las ecuaciones ya mencionadas para el correcto dimensionamiento del colector de placa plana.

Resultados del volumen que ingresara por la tubería

Volumen del agua que deseamos desalinizar en un periodo de horas dadas.

Volumen del fluido a calentar 10L.

Para el volumen del caudal para la tubería de cobre, según la ecuación 1 despejando el radio obtendremos 0.32 y el volumen calculado será de 4.8 litros.

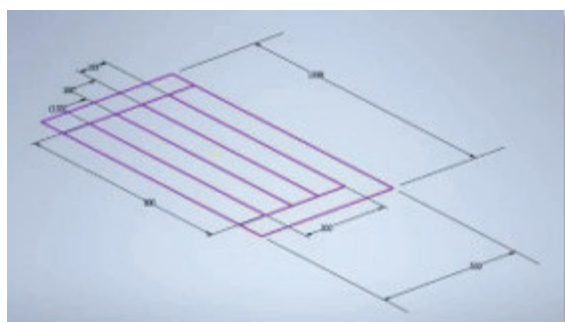


Fig. 6 Boceto de la tubería de cobre.

En la figura 6 se observa el dimensionamiento de la tubería de cobre que se utilizara en el proceso de desalinización, diseñado en el software Inventor, donde se logró observar la Resistencia del material que utilizamos.

Promedio De Energía Solar De 2019	
Mes	Nivel De Radiación (Kwh/M2/Dia)
Enero	5,86
Febrero	5,58
Marzo	5,63
Abril	5,48
Mayo	5,44
Junio	5,27
Julio	5,39
Agosto	5,99
Septiembre	6,24
Octubre	6,60
Noviembre	6,97
Diciembre	6,06
Promedio	5.87

Tabla 5 Promedio de la energía solar(radiación). En la tabla 5 se observa los niveles de la radiación solar en el año 2019 y obtuvimos un promedio de $5.87 \frac{kwh}{m^2/dia}$, que consideramos eficiente, dependiendo a la estación en la que nos encontremos.

Fibra de vidrio

Mantiene el rango de temperatura de aplicación y es fácil la instalación debido a sus pequeñas y grandes dimensiones, eliminando las pérdidas de calor, se adecuan a superficies de forma irregular con temperaturas de trabajo 35°C – 232°C y llegar los 450°C.

Resultados de la comparación del agua

Se mando a laboratorio los resultados del agua desalinizada para el respectivo análisis y comparación de cada característica del agua para ver si el proyecto funcionaba y témenos como resultado la siguiente tabla.

Datos Del Agua Estudiada Y El Agua En Consumo		
Característica	Agua de Pozo	Agua potable
Salinidad	660 pmm	259 pmm
C.E.	3.20 Us/cm	1500 Us/ms
pH	8.03	7.0

Tabla 6 Comparación de datos del agua.

En la tabla 6 tenemos los datos característicos del agua de pozo de Ayabacas y el agua potable que es normal para ser consumido se ve la diferencia de la salinidad entre el agua y esperamos lograr establecer un resultado inferior a 660 pmm, como se obtuvo en la tabla 6 los resultados fueron los esperados.

Conclusiones

Determinamos el rendimiento de nuestro colector solar plano, con un ángulo de inclinación que puede variar desde los 24° a 45°. Nuestro caudal de prueba fue variable con la selección de bomba que ayudó a que la velocidad varíe ya que con nuestras válvulas logramos variar el caudal del agua. Se espera lograr el objetivo la desalinización del agua a un nivel medio con el colector plano a un ángulo de 45°, para el calentamiento del agua y que pase por los tubos refrigerantes que realizan la condensación y al final tenemos el resultado esperado.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por darnos la oportunidad de darnos fortaleza, a la Escuela Profesional de Energías Renovables de la Universidad Nacional Juliaca por realizar actividades de investigaciones que nos ayudan en nuestra futura vida profesional para innovar con nuevas tecnologías al desarrollo y mejoramiento de nuestra sociedad.

Agradecemos también a nuestros padres quienes nos alientan a seguir y nuestros ingenieros que son nuestra guía en la investigación.

Referencias Bibliográficas

- Arreguín Cortés, &. M. (2010). Desalinización del agua. Ingeniería Hidráulica en México.
- Buker, M., & Riffat, S. (2015). Building integrated solar thermal collectors - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, págs. 327-346.
- Chwiduk, D. (2014). *Solar Energy in Buildings*. The Netherlands: Elsevier.
- Claudio, O. G. (2018). Desalinización de agua para aplicaciones de potabilización mediante el desarrollo de tecnología solar sustentable. *Centro de investigaciones en óptica, A.C.*, 89.
- Global Solar Atlas. (2016). <https://globalsolaratlas.info>. (World Bank Group) Recuperado el 01 de Julio de 2019, de <https://globalsolaratlas.info/?c=-15.141067,-67.456055,7&s=-15.749963,-70.004883>
- Livier, L. (2014). Construcción y diseño de un concentrador solar con materiales de bajo costo, para desinfección de agua para su aplicación en comunidades marginadas. *CIMAV*.
- Lydia G., M. B. (2019). Desinfección solar. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.*, 21.
- Moya, E. Z. (2019). Desalinización de agua del mar mediante energías renovables. *CIEMAT*, 27.
- Qu, M., Yin, H., & Archer, D. (2010). A solar thermal cooling and heating system for a building: Experimental and model based performance analysis and design. *Solar Energy*.
- Rock, C., & Rivera, B. (2014). La Calidad del Agua, E. Coli y su salud. *UA CAMPUS REPOSITORY*, 6.
- Yucra, R. (2010). Estudio para la climatización de la piscina y la producción de agua caliente sanitaria acs con energía solar de la UNAP. *In de IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII-SPES)*. Cusco.