

Evaluación técnica para un sistema de calentamiento de agua a través de tubos evacuados en la producción de sal de grano en el Municipio de Petatlán, Gro.

Technical evaluation for a water heating system through evacuated tubes in the production of grain salt in the Municipality of Petatlán, Gro

SOLORIO-QUINTANA, Carlos^{†*}, APARICIO-JAIMES, Gabriel

Universidad Tecnológica de la Costa Grande de Guerrero, Cuerpo Académico de Energías Renovables y Ahorro de energía

ID 1^{er} Autor: *Carlos, Solorio-Quintana* / ORC ID: 0000-0002-5036-9186, Researcher ID Thomson: G-2794-2019, CVU CONACYT ID: 263672

ID 1^{er} Coautor: *Gabriel, Aparicio-Jaimes* / ORC ID: 0000-0003-4129-1556, Researcher ID Thomson: G-2829-2019, CVU CONACYT ID: 594300

DOI: 10.35429/JTD.2019.12.3.22.28

Recibido: 18 de Octubre, 2018; Aceptado 05 de Diciembre, 2018

Resumen

El presente trabajo se enfoca en la evaluación técnica de un sistema de calentamiento de agua para la producción de grano de sal en la región costera del municipio de Petatlán, Guerrero, con la finalidad de incrementar la eficiencia en el proceso de producción de dicho producto mismo que se obtiene por evaporación del agua, aprovechando el abundante recurso solar disponible. Para lo cual se diseña un sistema de captación solar que a través de tubos de vidrio al vacío se hace circular el fluido a una velocidad baja logrando incrementar su temperatura y acelerar el proceso de producción. El sistema se construye empleando materiales de bajo costo y con criterios sostenibles el cual se usa en la investigación exploratoria y de campo donde se han recopilado datos estadísticos de radiación solar, flujo volumétrico del agua salada disponible, temperatura del ambiente, entre otros para posteriormente estos ser analizados y en conjunto determinar la eficiencia del proceso de producción de sal de grano que beneficiará al sector productivo de la Costa Grande de Guerrero.

Energía solar, evaluación, Sal de grano

Abstract

The present work focuses on the technical evaluation of a water heating system for the production of salt grain in the coastal region of the municipality of Petatlán, Guerrero, with the purpose of increasing efficiency in the production process of said same product that is obtained by evaporating the water, taking advantage of the abundant available solar resource. For which a solar collector system is designed that through vacuum glass tubes the fluid is circulated at a low speed, increasing its temperature and accelerating the production process. The system is built using low cost materials and with sustainable criteria which is used in exploratory and field research where statistical data on solar radiation, volumetric flow of available salt water, temperature of the environment, among others have been compiled for later be analyzed and together determine the efficiency of the grain salt production process that will benefit the productive sector of the Costa Grande de Guerrero.

Solar energy, evaluation, grain salt

Citación: SOLORIO-QUINTANA, Carlos, APARICIO-JAIMES, Gabriel. Evaluación técnica para un sistema de calentamiento de agua a través de tubos evacuados en la producción de sal de grano en el Municipio de Petatlán, Gro. Revista del Desarrollo Tecnológico. 2019 3-12: 22-28

[†] Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La producción de sal a pequeña escala en la región costera del Municipio de Petatlán, se realiza en un proceso artesanal, lo cual limita su capacidad productora debido a un proceso sustentado por la radiación solar del lugar y la concentración de sal en el agua que proviene del mar y que por acción del sol eleva su salinidad, debido a esto puede variar la producción de una temporada a otra, a este tipo de sal se le llama sal marina por provenir del agua de mar. (Asociación Mexicana de la Industria Salinera A.C., 2019).

Al ser un proceso de evaporación, los factores naturales como la radiación del sol, la humedad del ambiente y la concentración de sal en la salmuera, ofrecen un marcado efecto en la producción de sal. (LENNTECH, 2019).

El proceso de producción de sal consiste en tomar el agua salada de la laguna o salmuera y llevarla a una estanque llamado charca, que puede variar en sus dimensiones pero que tiene una profundidad en un rango de 30 a 40 cm, aquí el agua se expone a la radiación solar durante aproximadamente 8 días, concentrando el contenido de sal por evaporación hasta niveles de 18 a 25 %, posteriormente se utiliza esta agua para llenar cuadros de un área alrededor de 4 m², cuya profundidad puede variar entre 8 y 10 cm, aquí el agua completa su evaporación hasta llegar al punto de saturación e iniciar la cristalización en periodos que están en función de la profundidad del cuadro, del contenido de agua y que puede variar en un rango de 4 a 8 días.

La sal producida tiene un mercado regional principalmente para consumo humano, otros usos son como alimento de ganado y en la industria del hielo, con un precio de venta que oscila entre 1 y 1.5 \$/kg, y los costos de producción según datos de la Sociedad Cooperativa de productores de sal (Luviano, 2019), están por el orden 1 \$/kg en función del contenido de sal en el agua de la laguna y del inicio de la temporada de lluvias, ya que la producción se realiza solamente durante el periodo seco de febrero a mayo de cada año, si las condiciones meteorológicas lo permiten, la temporada se alarga generando así la oportunidad de obtener mayor producción de sal y por consecuente incrementa su ganancia, con la inversión inicial realizada al instalarse.

Ya que a la apertura de la temporada preparan su sistema de producción colocando plástico negro en las charcas y en los cristalizadores o eras.

Una estrategia para poder competir en la comercialización de la sal, es acelerar el proceso de producción y en menor tiempo obtener la misma o mayor cantidad de sal. Para lograr lo anterior una alternativa de solución es la utilización de sistemas de calentamiento solar pasivo ya que no requieren de sistemas mecánicos para mover los fluidos (Walker, 2013) ya que estos permiten transformar la energía del sol en energía térmica aprovechando las propiedades de los materiales tal como las superficies cubiertas de negro (García Valladares & Pilatoswky Figueroa, 2017).

Los colectores de tubos evacuados están contruidos por una serie de tubos de vidrio montados en fila y conectados a un depósito, estos dispositivos capturan la energía solar en forma de calor, esencialmente en superficies receptivas a la luz del sol, ya sea de forma directa o difusa. (Agency, 2011). Para lograr una mejor eficiencia en cuando a la aplicación de los sistemas colectores al momento de instalarse, deben tomar muy en cuenta los factores externos como internos, es decir en primer lugar la radiación solar, latitud local, época del año, trayectoria relativa del sol, régimen de vientos, lluvias, contaminación ambiental, sombras específicas del lugar (montañas, arboles, edificios, etc.) y humedad. (Luis Bériz Pérez, 2008). Al igual en la selección se tiene que analizar el tipo de colector y material con el cual está hecho, ya que para lograr una eficiencia óptima influye que cuente con alta resistencia a la corrosión que trae la brisa del mar y sol. (Molero, 2011).

Así, el planteamiento del presente trabajo, se realiza tomando en cuenta que el sistema de producción de sal, basa su principio en la evaporación por calentamiento del agua debido a la radiación del sol, se propone acelerar este proceso con dispositivos más eficientes en la absorción de la radiación como son los dispositivos de calentamiento solar, específicamente los tubos evacuados (Duffie & Beckman, Reedicion 2013), esperando con esto, una mayor concentración de sal en la salmuera en el menor tiempo posible, que para los productores esto se traduce como un incremento en la producción durante la temporada.

El objetivo del presente estudio, es realizar la evaluación de un sistema de calentamiento solar de tubos evacuados de manera comparativa, para determinar la viabilidad de su aplicación con el fin de acelerar la producción de los productores de sal del Municipio de Petatlán. Para lo cual, se plantea la construcción de un sistema experimental que permita mediante mediciones evaluar la evolución que tiene la concentración de sal en el agua en función del tiempo, una reducción del tiempo permitirá mayor producción de sal durante la temporada para los productores.

Descripción del sistema de prueba

El sistema solar pasivo consiste de dos estanques cuadrados de 4 metros por lado y 18 cm de profundidad, utilizando una película impermeable plástica negra que se coloque al fondo del estanque, que al mismo tiempo sirve absorber la radiación solar y contener el agua salada. (Graff, 2012) Se definirá el estanque A como el estanque de prueba y el B como el estanque de referencia.

Al estanque A que llamaremos estanque de prueba, se le colocan cinco tubos evacuados ubicados y con orientación al lado sur, comunicados a través de tubería de PVC para una entrada y una salida al estanque, los tubos evacuados están en un arreglo simulando un colector solar con una área equivalente de 0.55 m², para lograr el máximo aprovechamiento de la radiación del sol, esto con la finalidad de proveer mayor calentamiento al agua depositada en el estanque, la figura (1) muestra el arreglo del sistema.

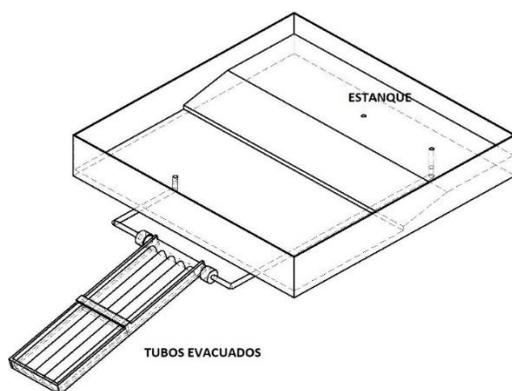


Figura 1 Estanque de pruebas con los tubos evacuados

El estanque B no tiene el sistema de calentamiento con tubos evacuados, representa las condiciones que actualmente se utilizan en la producción de sal.

Los estanques se construyen de forma similar y con los materiales utilizados por los productores, con la finalidad de representar las condiciones reales de la producción de sal.

Los tubos evacuados están acoplados a un tubo de PVC de 4 pulgadas de diámetro que conecta al estanque por medio de tubos de PVC de 1 pulgada de diámetro, soportados por una estructura de madera. La función de este arreglo, es la de un calentador solar de tubos evacuados para incrementar la temperatura del agua del estanque, aprovechando eficientemente la radiación del sol, ya que los tubos evacuados presentan altas eficiencias de calentamiento al combinar una superficie selectiva con la supresión de pérdidas por convección (Kalogirou, 2009). El principio de funcionamiento está basado en la convección natural de un fluido, también llamado efecto termosifón, donde el fluido caliente sube y su espacio lo ocupa el fluido frío. El calentamiento provoca la evaporación del agua y como consecuencia la concentración del contenido de sal acercándolo al punto de saturación de 36% (WIKIPEDIA, 2019).

Los tubos evacuados están colocados al sur y con un ángulo de inclinación de 17° (Carta González, Calero Perez, Colmenar Santos, Castro Gil, & Collado Fernandez, 2013), para lograr la máxima eficiencia de absorción de la radiación del sol, los tubos que conectan el estanque con los tubos evacuados están colocados uno al fondo del estanque y el otro en la parte media de este, para facilitar la convección de la salmuera y que tengan la función de entrada y salida al sistema de tubos evacuados, esperando niveles de temperatura en el interior de los tubos de alrededor de 70°C (Lemus-Hernandez, Monter-Arreguin, & Castañeda-Olivares, 2016) y con esto lograr un incremento considerable de la temperatura en la salmuera del estanque, ya que este tipo de tecnología tiene un rango de operación entre 60 y 120°C (1st Sunflower Renewable Energy, 2019).

Metodología

La función del estanque es evaporar agua y elevar la concentración de sal en la salmuera, para que esta pueda cristalizar en menor tiempo en los cristalizadores por acción de la energía solar, de acuerdo al proceso de producción utilizado por los productores y que se representa en la figura (2).

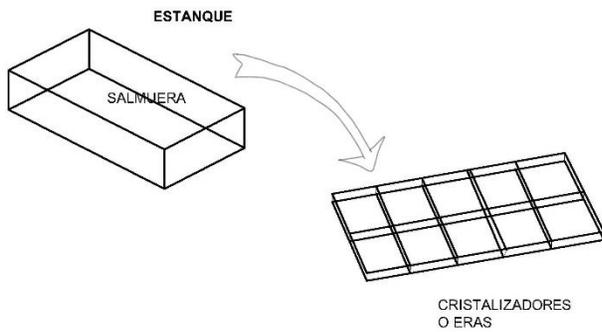


Figura 2 Representación del sistema de producción de sal compuesto por el estanque y los cristalizadores
Fuente: *Elaboración Propia*

Para realizar la evaluación del sistema propuesto, se realizan mediciones comparativas entre un sistema A, que tiene acoplado el arreglo de tubos evacuados como se muestra en la figura (3) y el sistema B sin los tubos evacuados siendo este el que se toma como referencia de comparación.

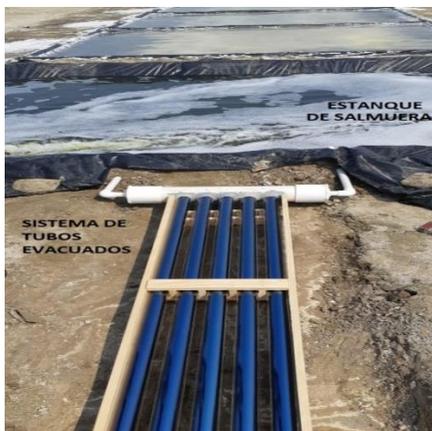


Figura 3 Sistema A, arreglo de sistema de tubos evacuados

Las mediciones de las variables de temperatura de la salmuera en ambos sistemas y la salida del colector en el sistema de prueba, se realizaron en intervalos de una hora durante el día con termómetros de mercurios colocados en los puntos de medición, al igual se midió la radiación solar con un sensor Davis Instrument y se tomaron muestras de salmuera al finalizar cada día de prueba en ambos sistemas, con la finalidad de determinar la densidad y el contenido de sal de las mismas, por medio de procedimientos de análisis químicos basados en la NOM-040-SSA1-1993, ya que dichos parámetros están muy relacionados con los cambios en el contenido de sal de la salmuera y con los cuales podemos determinar la evaporación lograda por efecto del calentamiento del agua, la cantidad evaporada se determina por medio de un balance de materia en los estanques.

Considerando que m_0 es la cantidad de salmuera inicial, m la cantidad de salmuera en cualquier momento de la prueba y la cantidad evaporada está indicada por m_v , el balance de materia global en régimen estacionario será:

$$m_0 - m = m_v \tag{1}$$

Definiendo a x como la concentración de sal en la salmuera, el balance de soluto estará dado por:

$$x_0 m_0 - x m = 0 \tag{2}$$

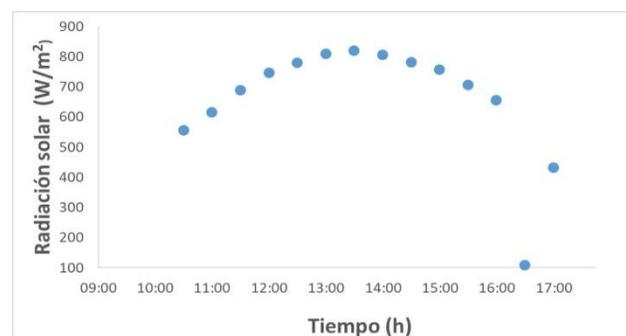
Otro parámetro usado en los cálculos es la densidad

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{3}$$

Resolviendo estas ecuaciones se puede obtener el contenido de agua evaporada en cada día de prueba en ambos sistemas.

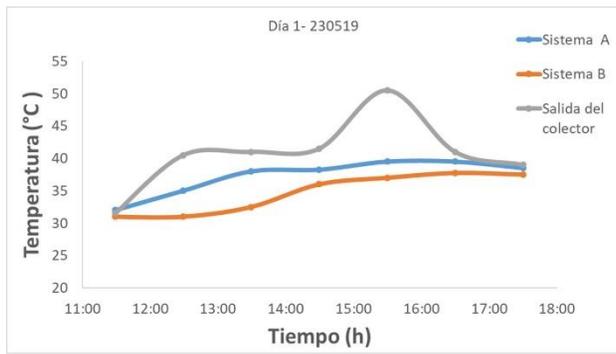
Resultados

Los resultados que se presentan corresponden a tres días de pruebas, durante los cuales se tuvo radiación solar variable con ligera nubosidad, en la gráfica (1) se muestran los niveles obtenidos en el primer día de pruebas, donde se aprecia muy buena radiación con niveles máximos de 800 W/m².



Gráfica 1 Datos de radiación solar durante el primer día de prueba
Fuente: *Elaboración Propia*

Al realizar mediciones de temperatura en ambos sistemas, se obtiene un incremento de la temperatura en el sistema con los tubos evacuados que se identifica en la gráfica (2) como sistema A, en un rango de aproximadamente 3°C a 5°C en el transcurso del día, con respecto al sistema de B, que corresponde al estanque sin el arreglo, la temperatura del colector a su salida se indica como “salida”.

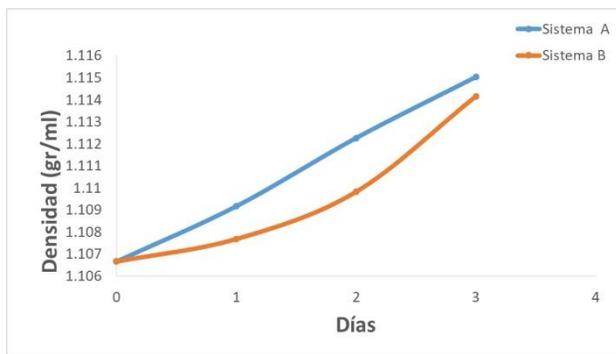


Gráfica 2 Resultados de las mediciones de temperatura durante el primer día de prueba

Fuente: Elaboración Propia

Existe ganancia en la temperatura para el sistema A, por la absorción de la radiación de forma eficiente en el área de los tubos, logrando incrementos hasta de 5°C durante las horas de mayor radiación.

En el análisis de la densidad que se muestra en la gráfica (3) para cada uno de los estanques, se puede observar la diferencia que existe entre los dos sistemas, evidenciando una mayor concentración de sal en el sistema A, ya que la densidad está en función directa con el contenido de sal. Este se comprueba al realizar los análisis de laboratorio sobre el contenido de sal en cada una de las muestras.

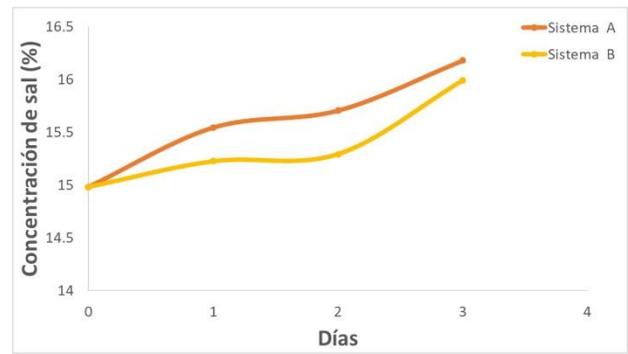


Gráfica 3 Comportamiento de la densidad en ambos estanque durante los tres días de pruebas

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la concentración de sal se muestran en la gráfica (4), en la cual se puede ver el comportamiento que sigue el estanque de prueba A y el estanque de referencia B en cada día de evaluación.

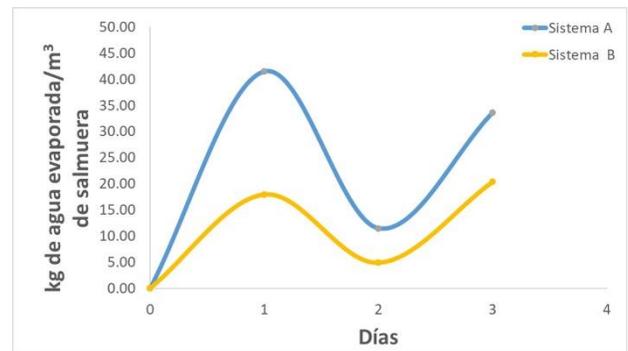
La concentración inicial de sal en la salmuera se encuentra en valores del orden de 15% de sal y al completar los tres días de prueba se incrementa hasta valores del 16% de sal, obteniendo diferencias de hasta 0.5% entre el estanque de prueba y el estanque de referencia.



Gráfica 4 Resultados de la concentración de sal de ambos estanques en los diferentes días de prueba

Fuente: Elaboración Propia

Al resolver las ecuaciones de balance de materia del sistema, ecuaciones (1), (2) y (3) se determina el parámetro de masa de agua evaporada por metro cubico de salmuera en el estanque. Los resultados se presentan en la gráfica (5), notándose una gran diferencia de este parámetro entre el estanque A y el B para el primer día de prueba, reduciéndose en los siguientes por disminución en la radiación solar, esto nos indica que el sistema con tubos evacuados incrementa el calentamiento y por lo tanto la evaporación del agua de la salmuera, logrando niveles de 40 kg/m³ de evaporación de agua por día comparándolo con el obtenido en el estanque B que alcanza 18 kg/m³ de evaporación,



Gráfica 5 Relación de evaporación de agua con respecto a la cantidad de salmuera

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados del agua evaporada son diferentes en los tres días de prueba ya que al depender directamente de la radiación solar, la nubosidad durante el día afecta los resultados.

Agradecimiento

Se agradece a la Sociedad Cooperativa de sal “Loma Bonita” y especialmente al Sr. Daniel Luviano por su gran apoyo en la realización de las pruebas.

Conclusiones

Se ha evaluado el sistema A de tubos evacuados acoplados a un estanque (charca) para elevar la concentración de sal en la salmuera de forma comparativa con el sistema B que es utilizado actualmente por los productores de sal, el acoplamiento de los tubos evacuados nos permite un incremento de 6°C en la temperatura de la salmuera en un día con niveles de radiación solar máxima de 800 W/m².

La concentración de sal y la densidad son parámetros que tiene una dependencia muy estrecha y la utilización de los tubos evacuados incrementa a la par la densidad y la concentración de sal. Se alcanzan incrementos en la concentración de sal de la salmuera, en el sistema con tubos evacuados en valores del 2% con respecto al sistema de referencia que es el usado normalmente por los productores de sal.

Para el estanque de prueba A que presenta el sistema de tubos evacuados, la relación de agua evaporada alcanza niveles de 40 kg/m³ de salmuera cuando se tienen niveles de radiación máxima durante el día de 800 W/m² contra 18 kg/m³ para el sistema B usado de referencia que corresponde al usado por los productores. Resultados que permitirían reducir el tiempo a la mitad, siempre que se escale la cantidad de tubos evacuados al volumen de agua utilizada.

Con lo anterior se establecen parámetros que estandarizan los tiempos de producción en función del contenido de sal del agua usada en el proceso y con base en estos se recomienda la realización de un nuevo estudio que incluya los efectos convectivos del viento, con la finalidad de proponer un proceso diseñado para ser más eficiente, de bajo costo y que incremente la producción de sal.

Referencias

1st Sunflower Renewable Energy. (3 de julio de 2019). 1st Sunflower Renewable Energy. Obtenido de 1st Sunflower Renewable Energy: http://www.sunflower-solar.com/index_es.php?act=content&scheduler_id=1190

Agency, I. E. (2011). Solar Energy Perspectives. IEA.

Alba, E. L., Méndez, H. D., González, E. V., Mora, I. E., Aldaco, A. T., & Leyte, R. L. (2019). Análisis energético del sistema experimental tq plint te94 que funciona como enfriador de aire y como calefactor. *Revista Colombiana de Tecnologías Avanzada (RCTA)*.

Asociación Mexicana de la Industria Salinera A.C. (17 de mayo de 2019). AMISAC. Obtenido de Asociación Mexicana de la Industria Salinera A.C.: <http://www.amisac.org.mx/produccion/>

Canteros, M. C., Vera, L., & Natalini, B. (2019). Evaluación de Metodologías en el etiquetado de eficiencia energética en edificios. *Extensionismo. Innovación y Transferencia Tecnológica*, 5,144-158.

Carta González, J. A., Calero Perez, R., Colmenar Santos, A., Castro Gil, M. A., & Collado Fernandez, E. (2013). Centrales de Energías Renovables. Madrid: Pearson.

CASTILLO-TÉLLES , B., CASTILLO-TÉLLES, M., PILATOWSKY-FIGUEROA, I., & RIVERA-GOMEZ, F. W. (2018). Estudio experimental de desalación de agua de mar usando energía termosolar. *Revista de Energías Renovables*, (2) 13-18.

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (Reedición 2013). *Solar Engineering of thermal process*. Hoboken N.J.: Wiley and sons.

Falcón, M., Izquierdo, Y., Vicente, I., & Suárez, E. (2019). EVALUACIÓN DEL SISTEMA ENERGÉTICO EN EL CENTRAL AZUCARERO QUINTÍN BANDERA.

García Valladares, O., & Pilatoswky Figueroa, I. (2017). Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores, residencial, servicios e industrial. Ciudad de México: Instituto de Energías Renovables-UNAM.

Graff, M. G. (2012). *Time to Shine: Applications of Solar Energy Technology*. United States: Wiley.

Kalogirou, S. (2009). *Solar energy engineering: processes and systems*. Elsevier Inc. Lemus-Hernandez, J., Monter-Arreguin, S., & Castañeda-Olivares, F. (2016). Caracterización de un colector de tubos evacuados y de flujo continuo para aplicaciones industriales. *Revista de Sistemas Experimentales*, 88-97.

LENNTECH. (1 de julio de 2019).
LENNTECH. Obtenido de
[https://www.lenntech.es/processes/brine-
evaporation-ponds.htm](https://www.lenntech.es/processes/brine-evaporation-ponds.htm):
[https://www.lenntech.es/processes/brine-
evaporation-ponds.htm](https://www.lenntech.es/processes/brine-evaporation-ponds.htm)

Luis Bériz Pérez, M. Á. (2008). Manual para el
cálculo y diseño de calentadores solares.
Cubasolar.

Luviano, D. (4 de abril de 2019). Productor de
sal de la Sociedad Cooperativa de sal Loma
Bonita. (G. Aparicio Jaimes, Entrevistador)

Molero, J. M. (2011). Manual Técnico Energía
Solar Térmica. Barcelona: Salvador Escoda S.A.

Rojas , S., Castro, C., Paucar, J., & Tasambay,
M. (2019). Implementación de un sistema
prototipo de Calentamiento Eficiente de Agua
Potable por Inducción Electromagnética .
Revista Perspectivas, 1(1), 42-48.

Silva, P., Tatiana, L., & Romero Rodríguez, F.
(2019). Propuesta de un sistema de energía solar
térmica como forma de mitigar emisiones de
CO2. Estudio de Caso Sonesta Hotel Bogotá.
Bogotá.

Walker, A. (2013). Solar Energy: Technologies
and Project Delivery for Buildings. RSMeans.
WIKIPEDIA. (25 de junio de 2019).
WIKIPEDIA. La enciclopedia libre. Obtenido
de WIKIPEDIA. La enciclopedia libre:
https://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro_de_sodio