
Producción de Agua Destilada para laboratorios utilizando Energía Solar
Production of Distilled Water for laboratories using Solar Energy

Percy Francisco Gutiérrez Salas
pgutierrez@unaj.edu.pe – Universidad Nacional de Juliaca
Gustavo Miguel Pacheco Pacheco
gm.pacheco@unaj.edu.pe – Universidad Nacional de Juliaca

Resumen

Se diseñó, construyó, operó y optimizó un destilador solar para obtener agua destilada con conductividad no mayor a 6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para uso como agua destilada en laboratorios; el destilador está conformado por un concentrador solar cilíndrico parabólico cuyo eje focal fue constituido por una tubería de cobre en color negro dentro de la cual discurre el agua de alimentación inundando la mitad de la tubería, permitiendo el flujo del vapor de agua hacia la placa condensadora localizada bajo la sombra generada por el colector parabólico; el rendimiento promedio que se ha logrado fue de 0,3 l de agua destilada/ $\text{m}^2\cdot\text{día}$.

Palabras claves: *Destilador solar, concentrador solar cilíndrico parabólico.*

Abstract

A solar distillator was designed, build, operated and optimized in order to obtain distilled water with conductivity not higher than 6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ to be used in laboratories. This equipment is composed by a cylindrical parabolic solar concentrator with a focal axis made of a black copper pipe inside of which flowed water. The pipe was half filled to allow the vapor flow towards to the condensed plate located under the shadow generated by the parabolic collector. The average efficiency was 0,3 l of distilled water/ $\text{m}^2\cdot\text{day}$.

Keywords: *Solar distillator, parabolic solar concentrator.*

Introducción

La aplicación de la energía solar para la destilación se inició en 1872, con la instalación en las salinas del norte de Chile de destiladores solares referidos por Howe E.D, (1980). Se instalaron directamente en la tierra, sin aislar el fondo, contruidos con madera y vidrio, con una superficie de captación de alrededor de 5 000 m². La productividad total era de unos 19 m³/d. Ros (2011) señala que: "La energía solar es el método ideal para producir agua en zonas áridas y muy aisladas del resto de poblaciones. A pesar de tener un coste energético nulo y escasa inversión necesaria, su baja rentabilidad reside en su escasa producción por metro cuadrado de colector al destilarse tan sólo unos litros al día en el caso de condiciones climatológicas favorables". Asimismo, la energía solar es un recurso energético de amplia disponibilidad en la mayor parte del territorio peruano, esto hace muy favorable su aprovechamiento como recurso energético renovable. CEPIS ha elaborado la Tabla de Radiación Solar en el Perú (promedio diario anual) en el cual se establece para el Distrito de Characato, Provincia y Departamento de Arequipa un promedio diario anual de radiación solar de 7,09 Kw/m².día (6097 Kcal/m².día) que constituye el mayor valor de radiación solar en el Perú (1). Asimismo, el Atlas de Energía Solar del Perú (SENAMHI) presenta los valores de radiación solar en el territorio peruano.

Los requerimientos de agua destilada para laboratorios en la universidad son resueltos mediante destiladores de agua accionados por electricidad; se propone como alternativa energética renovable un módulo de destilación solar aprovechando la radiación solar para obtener agua destilada, con conductividad eléctrica no mayor a 6 µS/cm, para ser utilizada en laboratorios.

Para Huevo F y Moran J, (2012) existe una gran variedad de diseños de destiladores solares, aunque en todos ellos opera el mismo principio. Los diferentes tipos de destiladores solares son (2), (7):

- Destilador solar de caseta, de una vertiente o de dos vertientes
- Destilador solar de poseta o bandeja
- Destilador solar de cascada
- Destilador solar multietapa
- Destilador solar tipo chimenea
- Destilador solar esférico

En el presente trabajo se ha desarrollado un destilador solar que emplea un concentrador solar cilíndrico parabólico que concentra la radiación solar en un eje focal conformado por una tubería de cobre, pintada de negro mate, en cuyo interior tiene lugar la vaporización del agua, los vapores formados se dirigen desde el ingreso hacia el extremo opuesto, ingresando luego a una placa condensadora que permite irradiar el calor de condensación hacia el aire del medio ambiente, sin consumo de agua de condensación, esta placa se localiza a la sombra generada por el concentrador solar parabólico.

El sistema de destilación solar opera bajo un flujo de agua de alimentación controlado por una válvula de flotador que determina un nivel constante de agua líquida dentro de la tubería de cobre, de modo que sólo se llena parcialmente para permitir el libre flujo de los vapores formados por acción de la energía solar concentrada en la tubería focal por el colector parabólico. Esta disposición de control de flujo y nivel determina que únicamente cuando la radiación solar genere vapor de agua que luego se condensa, se produzca una reposición o alimentación de agua cruda al destilador.

Para lograr una conductividad no mayor de 6 µS/cm en el agua destilada (conductividad estándar del agua destilada) se ha efectuado una serie de experimentos con diferentes flujos de purga (6, 8 y 12 ml/min), que son expresados como relaciones de Purga/Destilado, de tal modo que se logra obtener la conductividad eléctrica deseada y, por consecuencia, la productividad de agua destilada versus agua purgada, que permite eliminar la acumulación de sales dentro del destilador.

Aspecto importante es la evaluación de los montos de inversión en el módulo de destilación solar, costos de operación, consumo de agua que, comparados con los costos de inversión, costos de operación y consumo de agua en los destiladores accionados por energía eléctrica resultan muy favorables al destilador solar parabólico.

Materiales y métodos

Materiales

Para la construcción del módulo destilador solar se han empleado los siguientes materiales:

Materia prima: Agua de alimentación: constituida por agua de subsuelo bombeada y utilizada luego de desinfección.

- a) Colector cilíndrico parabólico:
 - Estructura soporte de varillas de fierro ángulo y fierro T de ¾ pulg.
 - Colector parabólico de planchas de acero inoxidable brillante de 0.8 mm de espesor
- b) Sistema de destilación:
 - Hervidor (eje focal) de tubería de cobre de 1.5 pulgadas de diámetro
 - Condensador de planchas de acero inoxidable de 4 x 8 pies y 1 cm de espesor.
 - Tanque de alimentación con regulación de nivel de agua, de PVC.
 - Filtro de agua para eliminar impurezas sólidas en agua de alimentación.
- c) Sistema de control automático
 - Válvula de flotador.
 - Visores de vidrio para regulación de nivel de agua dentro de la tubería al ingreso y salida de la tubería de cobre-hervidor (eje focal).
 - Llave de paso para regulación del flujo de purga.



Figura 1. Sistema de control de nivel y alimentación por válvula de flotador



Figura 2. Tanque de alimentación de agua al destilador



Figura 3. Filtro previo al ingreso de agua al tanque alimentador



Figura 4. Vista del colector parabólico y de la placa condensadora a la sombra del colector



Figura 5. Vista general del destilador destacando la conducción de vapores hacia la placa condensadora

Metodología para la evaluación experimental:

a) Almacenaje de muestras.

Las muestras de agua cruda y de agua destilada se tomaron en frascos de vidrio con tapa esmerilada o frascos de vidrio con tapa roscada.

- b) Medición de sólidos disueltos en el agua destilada.
Mediante conductividad eléctrica se hace la medición cuantitativa de los constituyentes iónicos disueltos y presentes en el agua al ingreso y salida del destilador solar.
- c) Instrumentación.
Conductímetro manual, fabricado por Schott Instruments, Germany. El conductímetro posee compensación automática de temperatura y emplea un electrodo LF613T para la medición. Precisión +/- 0,5 % del valor medido.
- d) Reactivos.
Alcohol etílico de 95 %, para el lavado de electrodos.
Agua destilada ultra pura, especificación ASTM D1193 Tipo I

Resultados y discusión

Los resultados se han obtenido para las siguientes condiciones experimentales:

- Radiación solar incidente: determinada según observaciones de SENAMHI.
- Nubosidad: las mediciones se realizaron bajo cielo despejado.
- Flujo de purga: se han establecido tres niveles:
 - Flujo de agua de purga: 6 ml/min
 - Flujo de agua de purga: 9 ml/min
 - Flujo de agua de purga: 12 ml/min

Variables evaluadas:

- Producción de agua destilada.
- Flujo de agua de purga.
- Conductividad eléctrica del agua destilada.
- Conductividad eléctrica del agua de alimentación

Indicadores:

- Conductividad eléctrica del agua de alimentación al destilador (agua cruda).
- Conductividad eléctrica del agua destilada producida por el destilador solar.
- Relación Agua de Purga/Agua Destilada

Tabla 1.
Resultados Experimentales obtenidos en la operación del destilador solar

Fecha de experimento	Radiación solar media mensual, W/m ²	Nubosidad	Flujo de Purga, ml/min	Producción de Agua Destilada, ml/día	Producción de Agua de Purga, ml/día	Conductividad eléctrica del Agua Alimentada, µS/cm	Conductividad eléctrica del destilado, µS/cm	Relación Purga/Destilado
29/04 al 13/05	5284	Cielo despejado	6.00	1403	1120	586	8.9	0.798
			6.00	1432	1095	598	10.8	0.765
			6.00	1428	1080	625	10.5	0.756
			6.00	1480	1010	628	12.3	0.682
			6.00	1408	1060	568	11.2	0.753
17/05 al 10/06	5103	Cielo despejado	9.00	1392	1603	583	7.8	1.152
			9.00	1387	1590	568	7.3	1.146
			9.00	1380	1620	560	6.7	1.174
			9.00	1398	1586	558	8.9	1.142
			9.00	1394	1582	531	8.6	1.135
21/06 al 15/07	4992	Cielo despejado	12.00	1319	2151	492	5.3	1.631
			12.00	1335	2153	512	5.8	1.613
			12.00	1338	2145	508	6.1	1.600
			12.00	1323	2160	510	5.4	1.633
			12.00	1331	2157	516	5.6	1.621

Discusión

En la Tabla N° 1 se aprecia que para los diferentes flujos de agua de purga experimentados (6, 9 y 12 ml/min) se obtienen diferentes flujos de destilado y diferentes conductividades eléctricas (composición o contenido de sólidos iónicos disueltos). La Figura 6 muestra que a mayor relación de Purga/Destilado, se obtiene menor producción de Destilado; para una relación promedio de Purga/Destilado de 1,62, se obtuvo una producción promedio de Destilado de 1329 ml/día. Para una relación promedio Purga/Destilado de 1,12, se obtuvo una producción promedio de Destilado de 1390 ml/día. Esta tendencia es plenamente concordante con el balance material en una destilación: a mayor flujo de Fondos, se obtiene menor flujo de Destilado, con una concentración menor de impurezas volátiles.

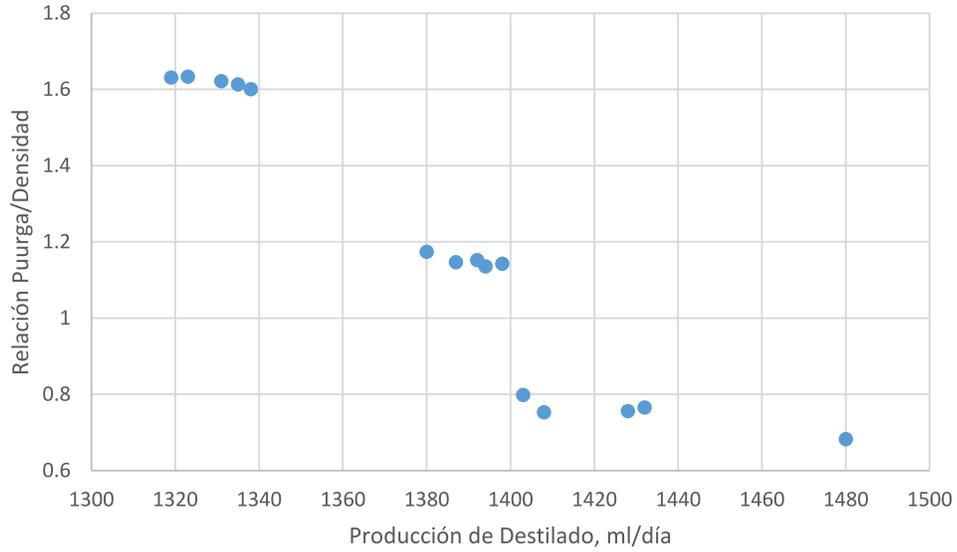


Figura 6. Efectos de la Relación Purga/Destilado sobre la Producción de Destilado

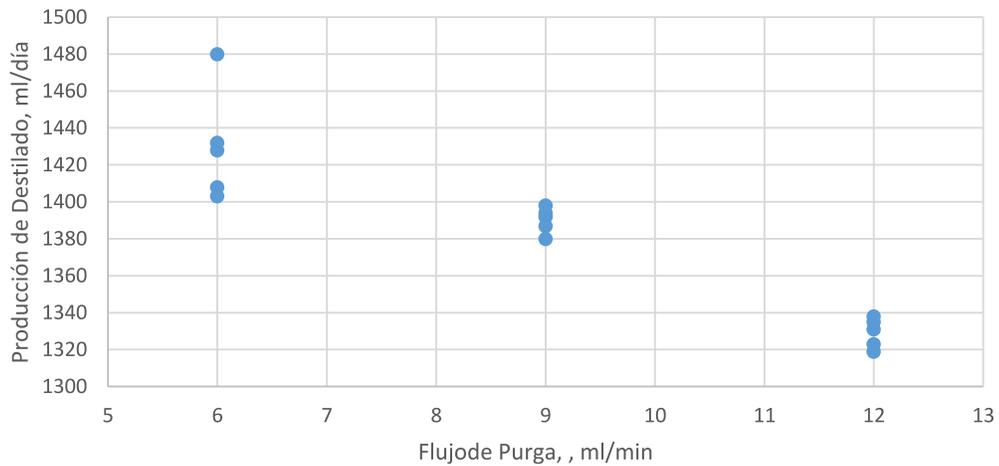


Figura 7. Producción de Agua Destilada, ml/día VS Purga, ml/min

En la Figura 7, se observa con mayor claridad la influencia que un mayor flujo de purga (12 ml/min) determina una menor producción de destilado (1329 ml/día) y con una menor conductividad eléctrica (5.64 $\mu\text{S/cm}$) que, en este caso, corresponde a la conductividad del agua destilada para uso de laboratorios.

Para el flujo de agua de purga de 9 ml/min, el volumen de agua destilada obtenida es de 1390 ml/día, que se corresponde con un volumen de agua purgada de 1596 ml/día. Para estas condiciones de operación la conductividad eléctrica promedio del agua destilada es de 7.9 $\mu\text{S/cm}$, valor que se halla por encima del límite establecido para agua destilada para uso en laboratorio.

Para el flujo de agua de purga de 6 ml/min, la conductividad eléctrica del agua destilada está muy por encima de lo establecido para agua destilada.

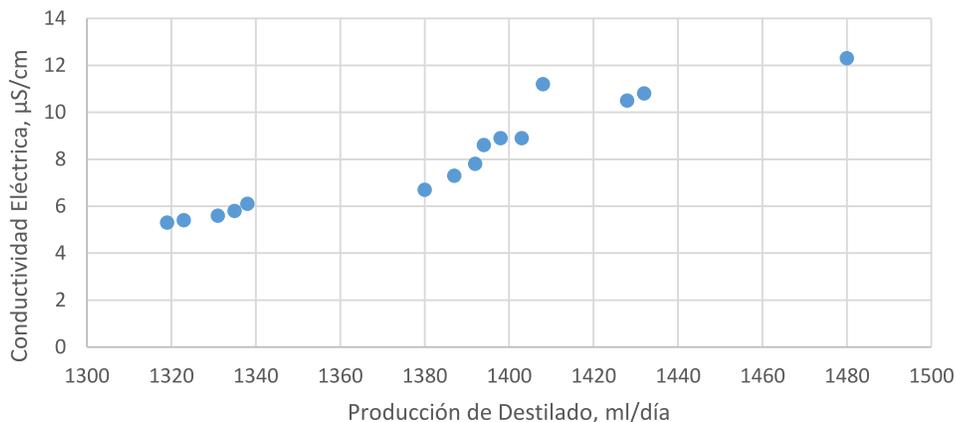


Figura 8. Producción de Destilado Vs Conductividad

La Figura 8, expresa que a menor conductividad eléctrica (menor concentración iónica) corresponde también una menor producción de destilado.

A lo largo de los experimentos realizados, se ha registrado una conductividad eléctrica para el agua de alimentación al destilador de 560 $\mu\text{S/cm}$ en promedio. Si bien esta conductividad eléctrica es bastante elevada, con respecto al agua potable (60 $\mu\text{S/cm}$), tiene la contraparte de ser un agua mucho más estable en composición que el agua potable de origen superficial cuya composición depende de la estacionalidad.

Conclusiones

Para las condiciones de construcción del prototipo de destilador solar, que opera con un concentrador solar cilíndrico parabólico y las condiciones de radiación solar que incide en Arequipa bajo cielo despejado, se obtiene un volumen de 1390 ml/día de agua destilada cuando se aplica un flujo de agua de purga de 12 ml/min. Menores flujos de agua de purga darán lugar a agua destilada con una conductividad mayor que la establecida para el agua destilada (3 a 6 $\mu\text{S/cm}$).

El concentrador solar cilíndrico parabólico ha sido localizado con una orientación Este-Oeste para el eje focal, siendo necesario ajustar periódicamente el plano perpendicular del colector parabólico para que coincida con el ángulo de inclinación de la radiación solar incidente. Para el 23 de junio, el ángulo de inclinación fue de 64° con respecto al plano horizontal de la Tierra.

La producción de agua destilada es menor en relación al área del colector solar cilíndrico parabólico del destilador. Las distorsiones superficiales de la plancha de acero inoxidable brillante empleada como superficie reflectora causadas por las labores mecánicas del fijado de la plancha de 0.5 mm de espesor han determinado una baja eficiencia de concentración de la radiación solar. Es más conveniente emplear planchas de mayor espesor para reducir estas distorsiones y aumentar la eficiencia de concentración solar.

Referencias bibliográficas

- Atlas de Energía Solar del Perú. (2003) Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Ministerio de Energía y Minas. Lima-Perú.
- Álvarez M. La Destilación Solar [en línea]. (2000) Cuba. [citado el 8 de diciembre del 2004]. Disponible para World Wide Web: <http://www.eyt.cubasolar.cu/energia/Energia16/HTML/articulo03.htm>
- Fasulo, Amilcar; Esteban, Carmen; Odicino, Luis y Follari, Jorge. Pequeña planta experimental de destilación solar. Laboratorio de Energía Solar - Departamento de Física. Universidad Nacional de San Luis Chacabuco y Pedernera 5700 – San Luis. afasulo@unsl.edu.ar, cesteban@unsl.edu.ar, odicino@unsl.edu.ar, jfollari@unsl.edu.ar.
- Fonseca, Susana; Brito, Ángel; Andión, Ronald; Perdomo, Eider; Fernández, María. 2009. Análisis Exergético del Destilador Solar de Bandeja de Fibra de Vidrio. Universidad de Oriente Santiago de Cuba. <http://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760003.pdf>.
- Mello Garcias, Carlos y da Rocha Freitas, Amadelu F. Potabilización del agua de mar por destilación solar. www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/.../hdt030.html
- Red Panamericana de Información en Salud Ambiental (REPIDISCA)- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Diseño de sistemas de calentamiento de agua por energía solar.
- Roig Rassi, Alina; Corp Linares, Sergi. La destilación solar: una solución para la industria farmacéutica y la biotecnología vegetal. Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA). *e-mail*: sergio@cubaenergia.cu y arrassi@cubaenergia.cu
- Saettone. E. (2015). Análisis comparativo entre diferentes destiladores solares de agua marina. <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2016/07/Analisis-Comparativo-entre-diferentes-Destiladores-Erich-Saettone.pdf>
- SITIOSOLAR, http://www.sitiosolar.com/los%20destiladores%20solares.htm#destiladores_solares, “Los Destiladores solares”, Fecha de consulta: 17 de noviembre de 2010.
- Ros, Antonio. (2011). El agua. Destilación (4/4). <http://www.mailxmail.com/curso-agua-desalacion-4-4/procesos-desalacion>
- Zar Alban J. (2015). Destilador solar para potabilizar el agua. (EN LINEA). Consultado 06 de jul. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://repositorio.utmachala.edu.ec/>