

ESTUDIO COMPARATIVO DE RENDIMIENTO DE DESTILADORES SOLARES CON PRECALENTADORES DE AGUA

Carletto, Javier - Masini, Omar - Gimeno, Patricia - Demichelis, Juan Pablo – Rodrigo, Víctor

Laboratorio de Energías Alternativas

Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias

Universidad Nacional de San Luis

Avda. 25 de Mayo 384 - 7530 - Villa Mercedes - San Luis - Argentina

Tel - Fax: 054 2657 531000 - e-mail: jcarletto@unsl.edu.ar

RESUMEN: Se presenta en este trabajo el estudio comparativo anualizado de tres prototipos de destiladores solares, con variaciones constructivas con el fin de encontrar un diseño de destilador solar con mayor rendimiento. Se miden los resultados de tres prototipos que se diferencian en la implementación de un precalentador por doble vidriado, contando con un destilador tradicional, un segundo destilador con un precalentador del 50% de la superficie vidriada, y uno con un precalentador del 100% de la superficie vidriada. Se presentan los rendimientos correspondientes al año 2013, las descripciones constructivas, las gráficas de rendimientos en función de temperatura ambiente y radiación solar, las tendencias lineales de rendimiento en función de distintos parámetros climáticos y el análisis de los resultados. Si bien se observan una clara diferencia de funcionamiento entre los tres prototipos, es deseable desarrollar un modelo matemático para un mayor entendimiento de la influencia de las modificaciones constructivas.

SUMMARY: An annualized comparative study of three prototype solar stills with constructive changes in order to find a design with higher performance solar still is presented in this paper. The results of three prototypes differ in a preheater implementation for double glazing, with a traditional distillation, a second distillation to a preheater 50% of the glazed surface, and one with a preheater 100% of the glass surface. Are presented, building descriptions, graphs yields depending on ambient temperature and solar radiation, the linear performance trends based on various climate parameters and results' analysis. Although a clear functional difference observed between the three types, it is desirable to develop a mathematical model for a better understanding of the influence of design changes.

Palabras Claves: agua destilada, energía solar, intercambio.

INTRODUCCIÓN

La destilación solar es una alternativa ecológica y económica para la producción de agua destilada de calidad.

Los equipos comerciales compactos operados con energía eléctrica y refrigeración con agua de la red para la generación de agua destilada consumen aproximadamente 1 KWh, de energía eléctrica y de 20 a 25 litros de agua generalmente potable (de red), que normalmente es arrojada a la red cloacal. Este último costo, para regiones como la de San Luis, que posee escasos recursos de agua, es sumamente elevado e irracional. (Fasulo et. al 2004).

Además del uso de una energía alternativa, la ventaja de los destiladores solares es que trabajan a bajas temperaturas, por lo que la evaporación es lenta (sin turbulencia), lo que implica una minimización de la posibilidad de contaminación del producto a obtener. (Masini et. al 2012)

Los destiladores solares de batea son utilizados desde el siglo XVII y prácticamente no han cambiado. Una batea, con superficie de color negro, contiene el agua salobre. Su parte superior está cubierta con un techo a dos aguas de un material de alta transmitancia a la radiación solar y alta conductividad térmica. El techo desagua en canaletas situadas a

ambos lados de la bandeja. Los rayos solares atraviesan la cubierta y son absorbidos por el fondo, de color negro, de la batea, que contiene de 2 a 5 cm del agua cruda a destilar. A medida que se calienta el agua su presión de vapor sube, el vapor de agua condensa en la cara inferior del techo formándose una película uniforme de líquido que corre hacia las canaletas, que conducen el agua destilada a un tanque de almacenamiento. El destilador funciona como una trampa de calor, ya que el techo es transparente a la luz solar incidente, pero opaco a la radiación infrarroja emitida por el agua caliente. El techo impide que se escape el vapor y que el viento enfríe el agua salada. (Esteban et. al. 2000)

La calidad del agua destilada que producen los equipos que se describen a continuación, en función de los valores obtenidos, es totalmente equivalente a la obtenida en los destiladores convencionales, la conductividad específica, parámetro que nos permite determinar la calidad, está comprendida entre 3 y 4 $\mu\text{s}/\text{cm}$. (Fasulo et al., 1987).

Con este trabajo se pretende comparar el funcionamiento de tres prototipos de destiladores, en dos de los cuales, se ha cambiado constructivamente parte de la superficie vidriada a modo de lograr una cámara de agua "a destilar" entre dos vidrios, lo que produce un precalentamiento del agua que ingresa al destilador, y un enfriamiento de la superficie de condensación.

Resultados parciales de estos ensayos han sido presentados por Masini et. al 2013 y Carletto et. al 2014 y se presenta en este trabajo un análisis minucioso de los datos obtenidos a lo largo de todo el año 2013. Y el análisis de las tendencias en función de distintos parámetros climáticos.

DESCRIPCIÓN DE LOS PROTOTIPOS UTILIZADOS

La construcción de los equipos ya fue presentada en detalle por Masini en el 2013.

Son tres prototipos de destilador solar fabricado con materiales livianos, económicos y de fácil utilización y de tamaño pequeño (30 cm * 40 cm), aproximadamente 0,12 m² de área de calentamiento.

El dispositivo consta de dos partes separables, por un lado la batea propiamente dicha, y por otro la cubierta que contiene el condensador vidriado, los canales colectores de agua destilada y laterales de apoyo y cierre con la batea.

Una doble cubierta de vidrio por donde circula agua cruda forma una fina película de agua, que se precalienta antes de entrar a la batea. Adicionalmente, al refrigerar la parte superior de la superficie de condensación podría dar mayor condensación y por ende, mayor rendimiento.

Los equipos están independizados en la alimentación de agua con válvula de corte y flotante y una regulación indirecta para poder lograr que el agua de alimentación circule primero por el intercambiador y posteriormente ingrese a la batea. En pruebas anteriores se lo hizo por vaso comunicante y cierre hidráulico, y no dio resultados satisfactorios, debido a que no se podía mantener la continuidad de ingreso de agua, por acumulación de aire en el intercambiador, problemas ya descriptos por Masini, et. al 2012.

La siguiente fotografía muestra los tres equipos en funcionamiento.



Figura 1: Fotografía de los destiladores en funcionamiento

Los tres equipos se diferencian básicamente en el tamaño del intercambiador, en tal sentido, el Equipo 1 no posee intercambiador, siendo un destilador convencional. El equipo 2, posee un intercambiador de la mitad del vidrio superior y el Equipo 3, tiene la totalidad de la superficie vidriada como intercambiador. Los 3 equipos fueron descritos por Masini et. Al 2012, y se repiten los esquemas a continuación:

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE CADA EQUIPO

Para la alimentación de agua de las bateas, se utilizaron equipos con válvula de corte y flotante a efectos de independizarlos. Adicionalmente se adoptó una alimentación de regulación indirecta para poder lograr que el agua de alimentación circule primero por el intercambiador y posteriormente ingrese a la batea. En pruebas anteriores se lo hizo por vaso comunicante y cierre hidráulico, y no dio resultados satisfactorios, debido a que no se podía mantener la continuidad de ingreso de agua, por acumulación de aire en el intercambiador, problemas ya descritos por Masini, et. al 2012.

A continuación se muestran los tres equipos, con la descripción de trabajo y el esquema constitutivo.

Detalles del Equipo 1

El agua pasa por el regulador de alimentación, e ingresa a la batea, la cual está comunicada con la botella de regulación de nivel. Cuando la botella llega al nivel de aproximadamente 1 cm en la batea, el flotante colocado en la botella cierra la alimentación. A medida que se consume agua por evaporación, baja el nivel, baja el flotante y nuevamente se completa el nivel por alimentación de agua cruda.

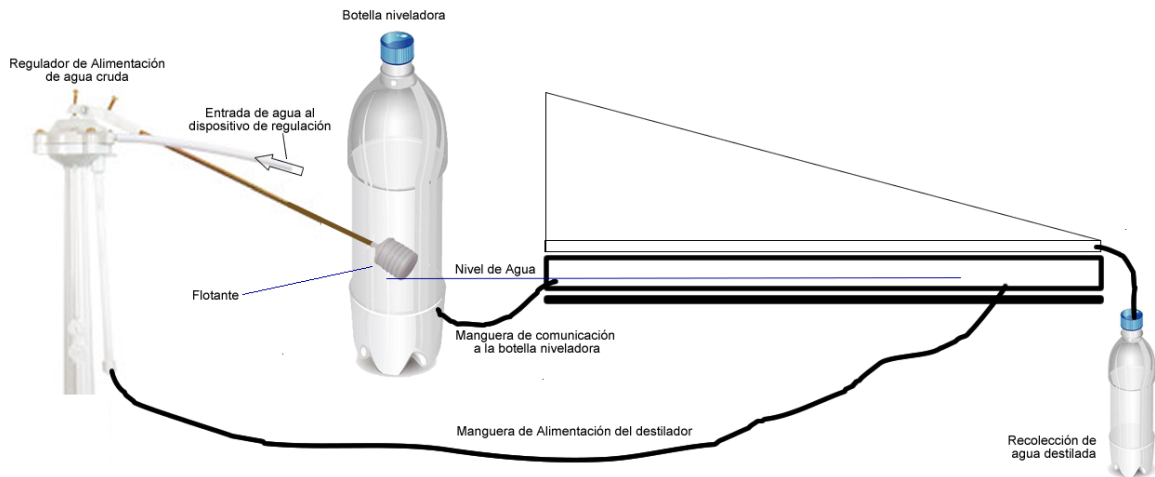


Figura 2: Esquema de funcionamiento equipo 1

Detalles del Equipo 2

El agua pasa por el regulador de alimentación, e ingresa al intercambiador de calor (mitad de superficie vidriada), de la salida de este se alimenta la batea y el nivel de batea se regula igual que el equipo 1. El objetivo de poner una superficie vidriada y hacer pasar el agua por la misma es producir su calentamiento y que ingrese a la batea a una temperatura superior a la de alimentación.

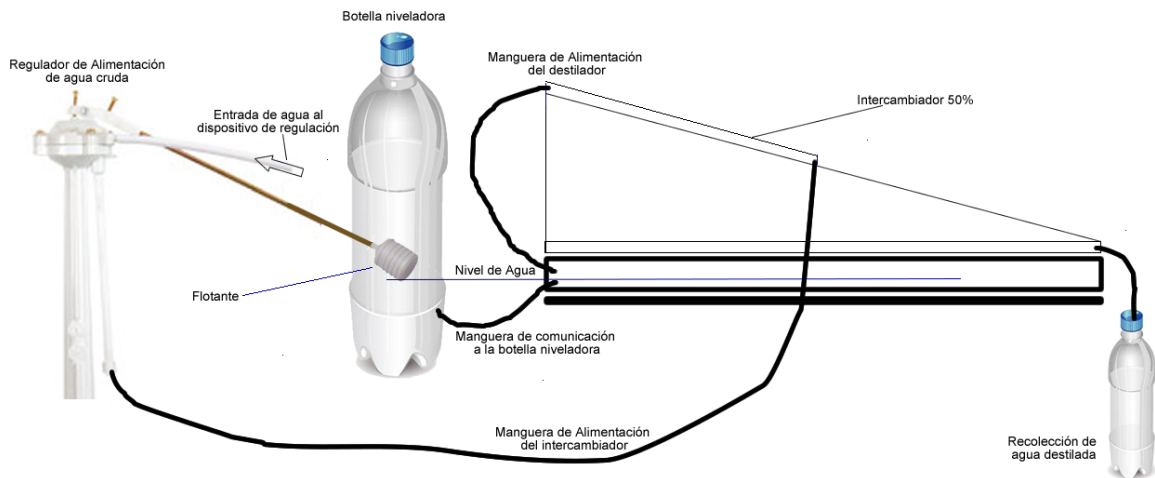


Figura 3: Esquema de funcionamiento equipo 2

Detalles del Equipo 3

El agua pasa por el regulador de alimentación, e ingresa al intercambiador de calor (toda la superficie vidriada), de la salida de este se alimenta la batea y el nivel de batea se regula igual que el equipo 1. Ídem a lo explicado en el equipo 2, pero el intercambiador cubriendo totalmente la superficie.

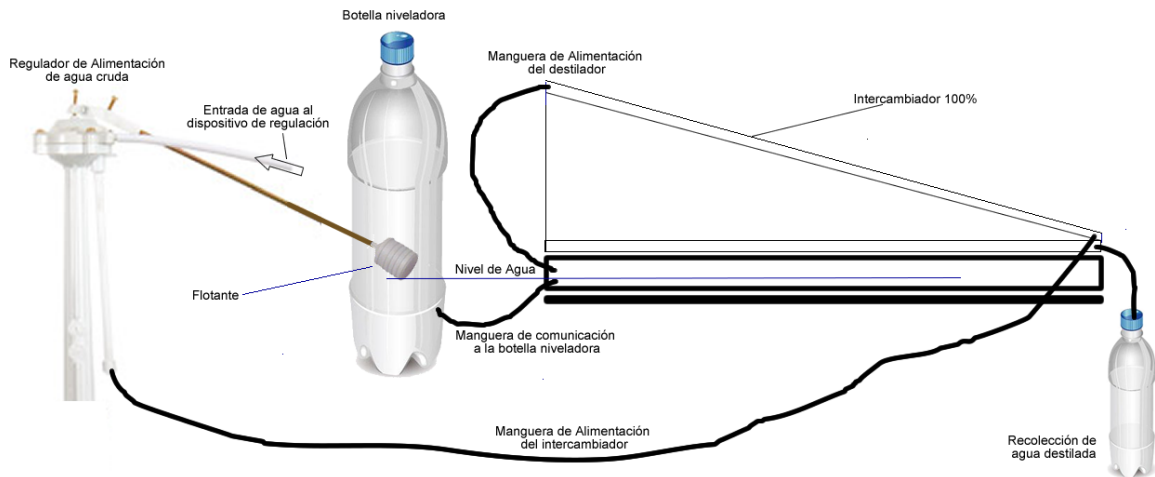


Figura 4: Esquema de funcionamiento equipo 3

RESULTADOS OBTENIDOS

Se controló diariamente la cantidad de agua destilada obtenida y se registraron los valores de rendimiento de los tres equipos. Adicionalmente se tomaron los valores de las variables climáticas necesarias de una central meteorológica del Laboratorio de Energías Alternativas (LEA) de la facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de San Luis, con los cuales se cruzaron los datos.

Si bien se han realizado varios análisis de los primeros resultados obtenidos, los cuales se analizaron por semestre y fueron presentados por Masini y Carletto en el 2013, se avanza un poco más y se profundiza en análisis con las tendencias para distintas variables climáticas.

La siguiente tabla, muestra un resumen de los resultados promedios de rendimientos por equipo, temperatura y radiación solar para el año 2013 desde los meses de marzo a Diciembre. Se toman datos promedios de todas las variables

Tabla 1: Comparación de temperaturas radiación y rendimiento de los equipos

Mes	Temperatura Promedio en °C	Radiación Promedio en w/sqm	Rendimiento Promedio Equipo1 en cm ³ /día	Rendimiento Promedio Equipo 2 en cm ³ /día	Rendimiento Promedio Equipo 3 en cm ³ /día
Marzo	20.2	432	114.4	227.5	128.1
Abril	17,5	383	199.3	168.7	98.3
Mayo	11.9	302	121	129.3	35.1
Junio	13.3	261	75	87	59
Julio	8.4	242	82	90	42
Agosto	11.4	342	121	161	42
Septiembre	13.1	335	118	218	22
Octubre	18.6	438	172	233	85
Noviembre	23.4	526	265	250	168
Diciembre	24.2	545	251	318	165

Podemos apreciar gráficamente los valores tabulados en la tabla 1, como se muestra en la figura 5 y 6.

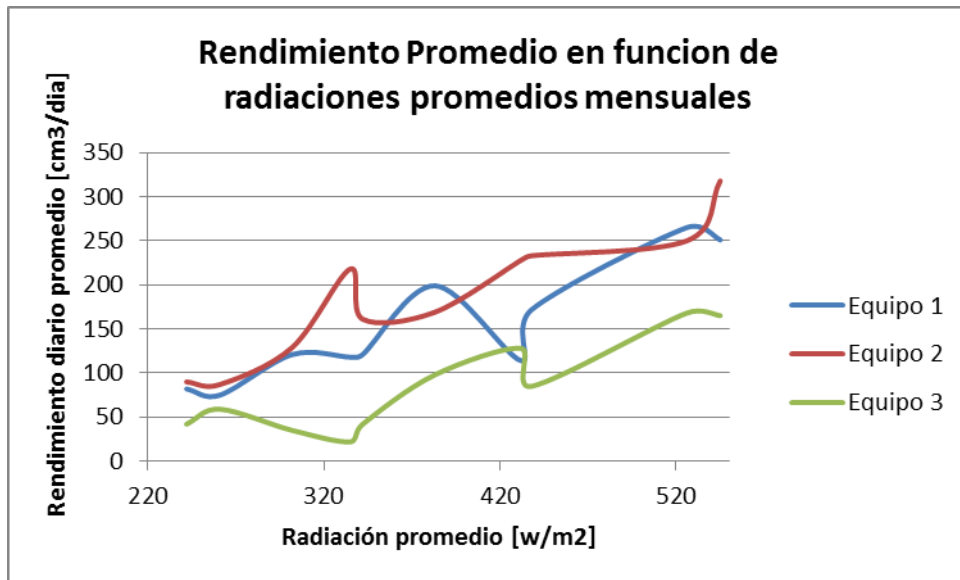


Figura 5: Grafica de rendimientos promedios en función de radiación solar promedio mensual

Se observa, como era de esperar, que el aumento de la radiación solar produce un aumento en el rendimiento de los destiladores, sin embargo existen fluctuaciones inesperadas, probablemente debido a otros parámetros climáticos que influyen simultáneamente. Se observa también, que el equipo 2 (el equipo con un intercambiador del 50% de la superficie vidriada es el que produce los mejores rendimientos, y el equipo 3, con el 100% de superficie de intercambio, produce el menor rendimiento.

Algo similar se observa si se grafican los valores de rendimiento en función de la temperatura, como muestra el siguiente gráfico.

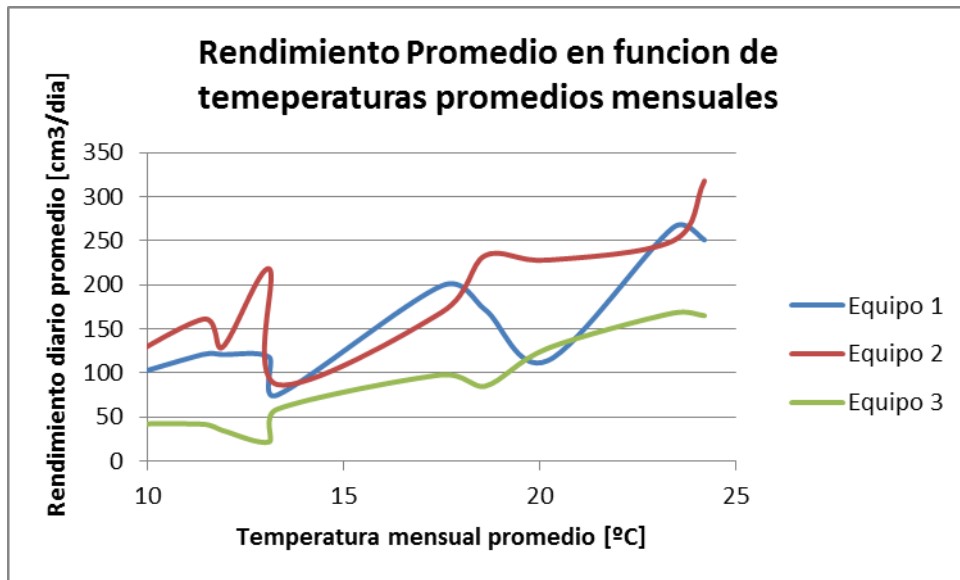


Figura 6: Grafica de rendimientos promedios en función de temperaturas promedios mensual

Debido a que evidentemente el rendimiento no solo es función de la temperatura y/o radiación solar se analizan las tendencias lineales de rendimiento para cada uno de los parámetros climáticos, dejando para futuros trabajos encontrar un modelo matemático que represente el funcionamiento para cada esquema de destilación.

Análisis de tendencias

Los siguientes gráficos muestran las tendencias lineales de rendimiento en función de los distintos parámetros para los 3 destiladores.

Se realizaron las gráficas con la utilización de todos los valores obtenidos, día por día en función de los distintos parámetros y luego se encontró una tendencia lineal para obtener una forma de entender el comportamiento de los destiladores como primer paso para un posterior modelado matemático.

En primer lugar se observan las tendencias con respecto a los parámetros analizados como promedio, radiación solar y temperaturas, en las figuras 7 y 8.

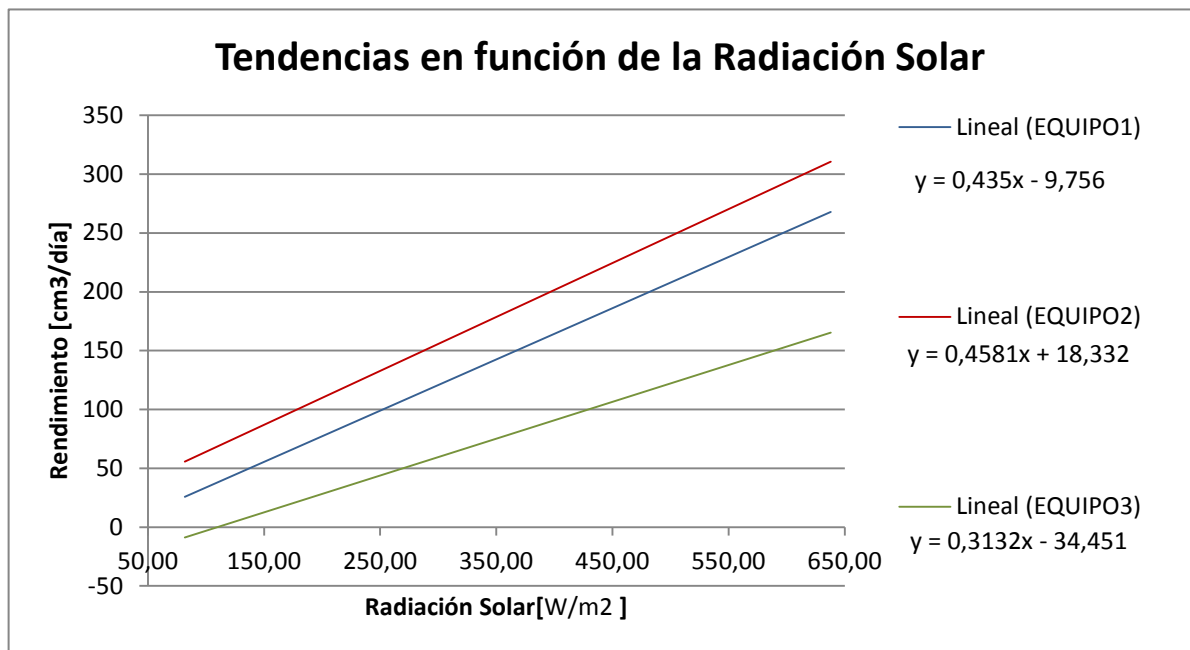


Figura 7: Grafica de tendencias lineales en función de la Radiación Solar

Con respecto a la radiación solar, los 3 equipos se comportan en forma similar, aunque el equipo con el 100% de la superficie doble vidriada tiene una pendiente un poco menor que los otros dos.

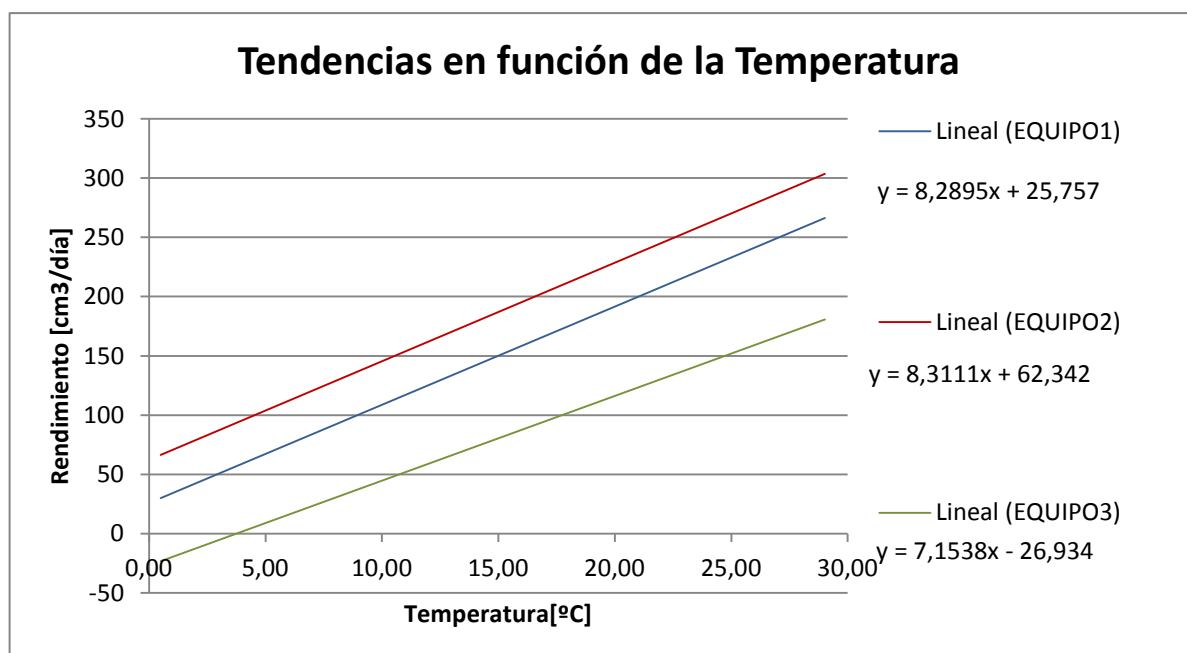


Figura 8: Grafica de tendencias lineales en función de la Temperatura

Lo mismo ocurre con las tendencias con respecto a la temperatura, aunque la diferencia de pendientes es menor.

Con el objeto de entender aún mejor el funcionamiento se analizan otros parámetros. La Figura 9, muestra las tendencias en función de la humedad.

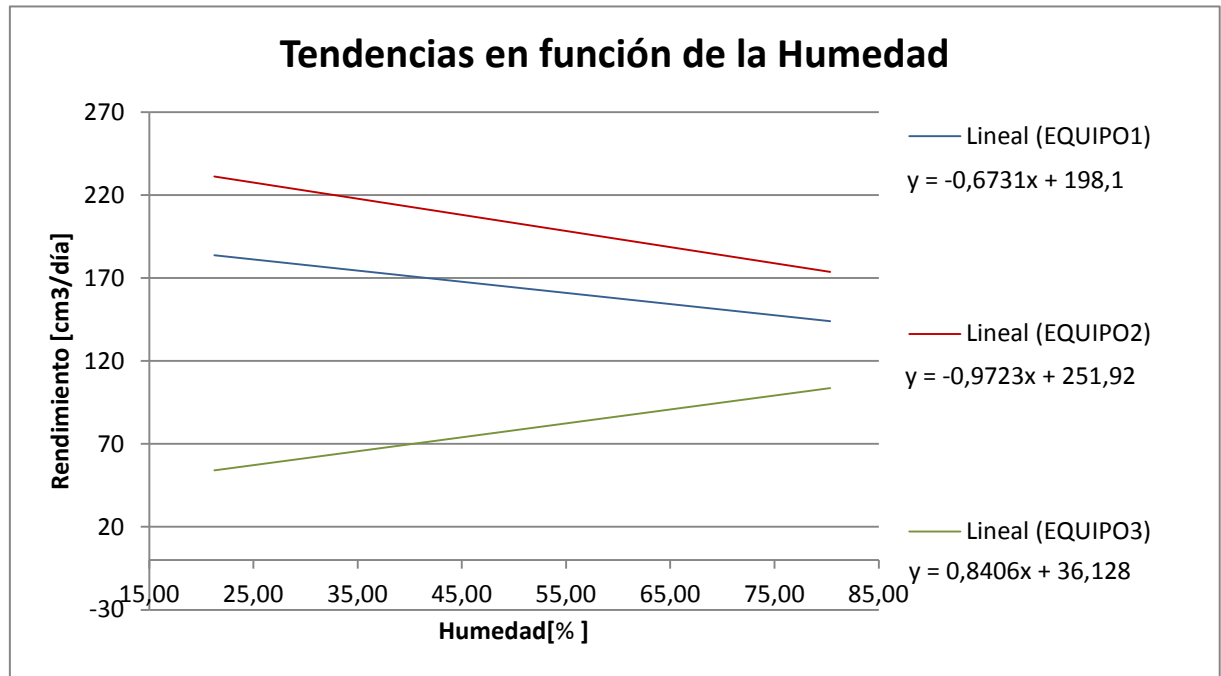


Figura 9: Grafica de tendencias lineales en función de la Humedad Relativa Ambiente.

Si se analiza la humedad ambiente, sucede algo interesante, donde el destilador 1 y 2 decrece su rendimiento (con el aumento de humedad) y en contraposición el equipo 3 aumenta el rendimiento al aumentar la humedad. Si bien los sistemas son cerrados y con mínima comunicación al medio ambiente, se podría justificar, que al ser bajo su rendimiento, no es afectado sustancialmente por esta variable y hay otra que si lo está influenciando.

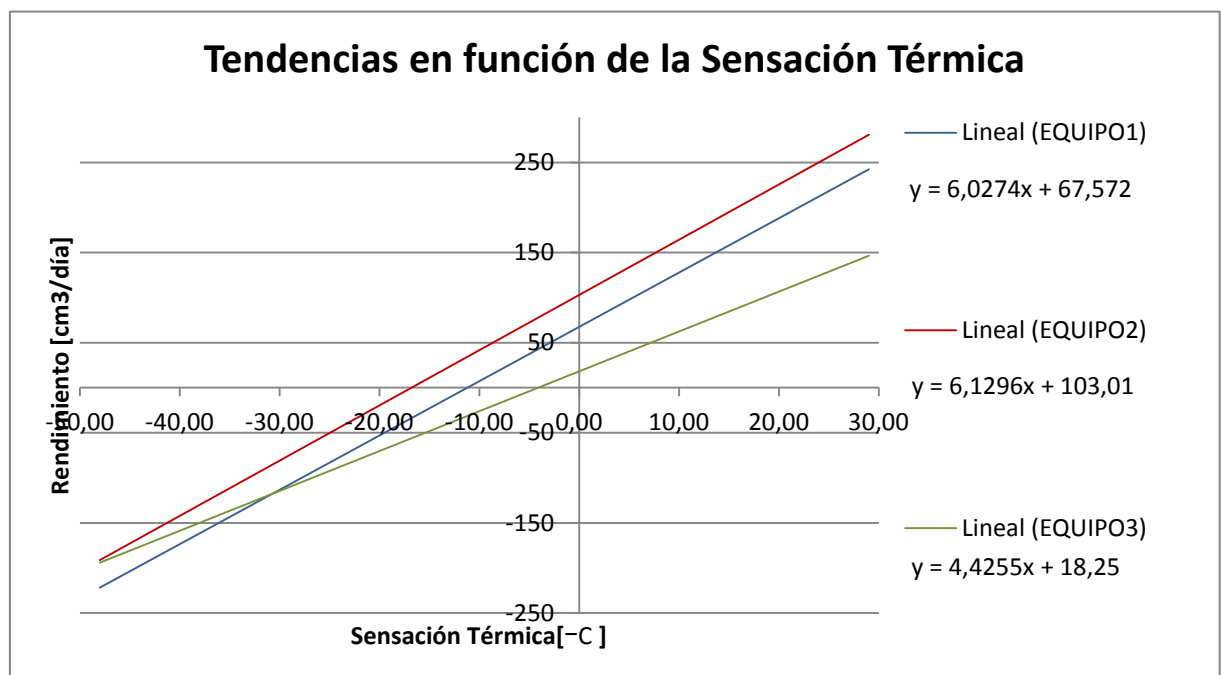


Figura 10: Grafica de tendencias lineales en función de la Sensación Térmica.

En función de la sensación térmica las tendencias son similares a la de la temperatura, aunque con pendientes algo menores

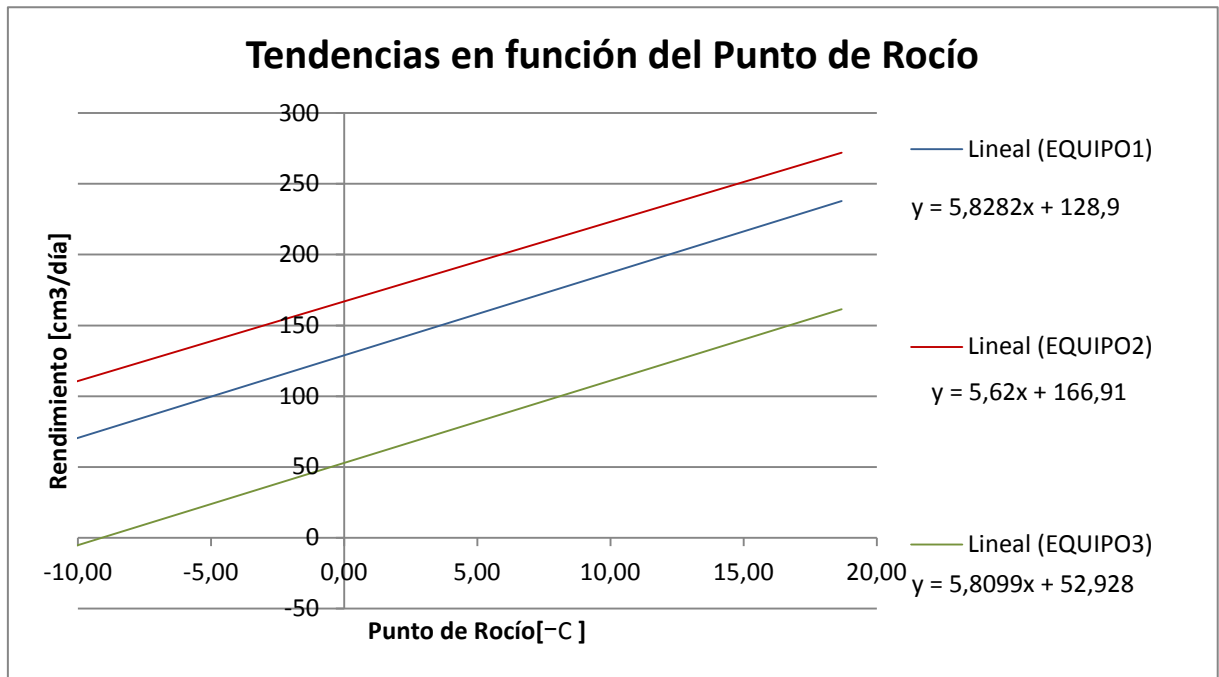


Figura 11: Grafica de tendencias lineales en función del punto de rocío.

Con respecto al punto de rocío, los 3 destiladores se comportan prácticamente igual salvo por supuesto la diferencia de rendimiento entre uno y otro.

Por último la figura 12 muestra las tendencias con respecto a la velocidad del viento.

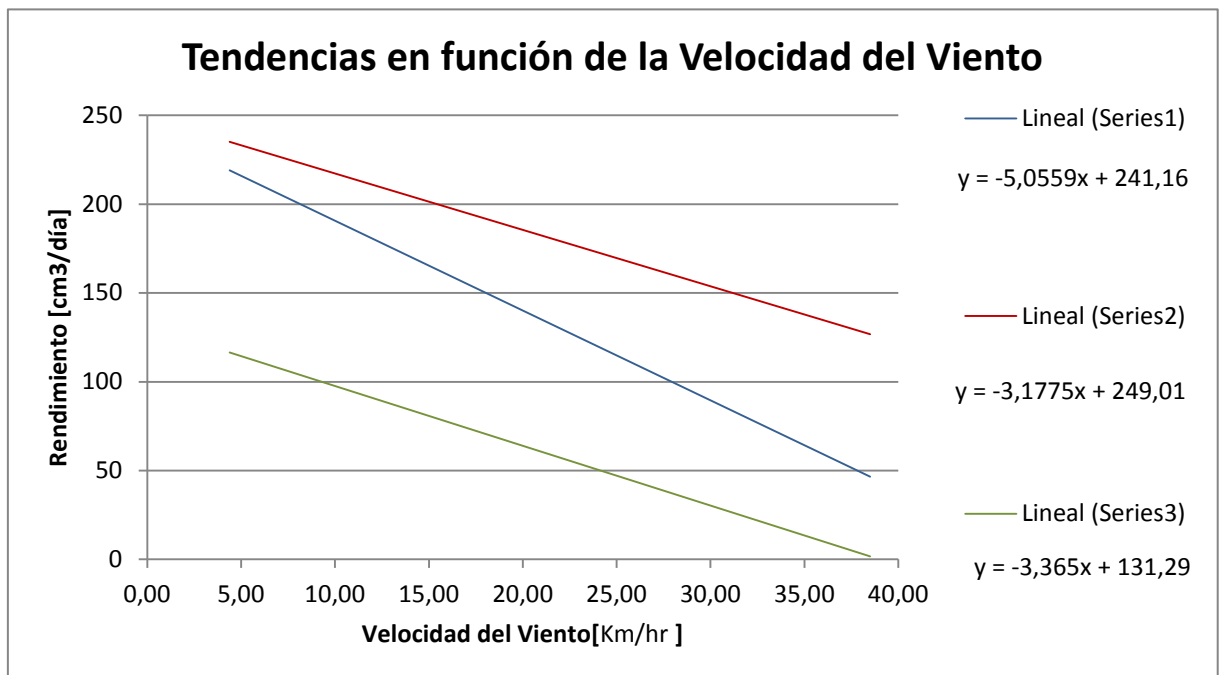


Figura 12: Grafica de tendencias lineales en función de la velocidad del viento.

Como era de esperar, el viento influye negativamente en la destilación, sin embargo se observa que el equipo sin intercambiador es el más afectado por esta variable climática,

cuyo rendimiento decrece mucho más rápido que los otros equipos. Esto último se puede atribuir a enfriamiento del equipo por el aire y por lo tanto, su menor rendimiento.

CONCLUSIONES

Si bien los resultados siguen siendo promisorios, brindan un panorama anualizado, donde se ratifica lo observado en experiencias previas en las cuales el mayor rendimiento es del equipo 2 y el menor es del equipo 3.

Se deberían evaluar los meses de mayor radiación y temperatura (Diciembre – febrero) donde podría surgir alguna variación abrupta en los rendimientos.

Se observa que resulta beneficiosa la modificación propuesta para el equipo 2, con un rendimiento que supera en promedio un 30% al equipo 1 y en un 200% al equipo 3 el cual probablemente por tener toda la superficie doblemente vidriada es menor la incidencia solar.

El comportamiento resulta extraño en las tendencias con la humedad, donde la brecha con el Equipo 3 aparenta achicarse, aunque sigue siendo este último menor en su rendimiento.

Se pretende seguir trabajando y encontrar un modelo matemático que pueda representar el funcionamiento de los destiladores. Adicionalmente se está trabajando en la construcción de equipos nuevos iguales a los ya utilizados y otros con modificaciones en la transferencia, a efectos de corroborar datos y la obtención de nuevos valores en los equipos modificados.

REFERENCIAS

- Carletto J., Rodrigo L., Rodrigo, V.** – (2007) Diseño de una planta de destilación solar de agua para la Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico sociales en Villa Mercedes, San Luis, evaluación de costos - ASADES 2007
- Esteban C., Franco J. y Fasulo A.** (2000) Destilador Solar Asistido Con Colector Solar Acumulador. Actas de ASADES
- Fasulo A. , Cortinez V. Y Odicino L** (1987). Planta de destilación solar de agua para la Facultad de Química Bioquímica y Farmacia de la UNSL. Actas de ASADES
- Fasulo, A., D.Perello y J.Follari** (1997) Un Colector Solar Acumulador, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 1, 1, 101 – 104.
- Masini O., Carletto J., Gimeno P., Rodrigo V.** – (2013) Diseño Y Estudio Comparativo De Destiladores Solares Con Pre calentadores De Agua - Resultados Preliminares – ASADES 2013
- Masini, O. Carletto J, Rodrigo L., Rodrigo V,** (2012) Diseño de un destilador solar modular de agua, de bajo costo para la Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales, Villa Mercedes, San Luis, evaluación de rendimiento y alternativas de optimización - ASADES 2012