

TENDENCIAS POLINOMICAS DE RENDIMIENTO TRAS EL ENSAYO DE PROTOTIPOS DE DESTILADORES SOLARES CON PRECALENTADORES DE AGUA POR DOBLE VIDRIADO

POLYNOMIC PERFORMANCE TRENDS AFTER TESTING SOLAR DISTILLER PROTOTYPES WITH DOUBLE GLAZED WATER PREHEATERS

Javier Carletto¹, Juan P. Demichelis¹, Patricia Gimeno¹, Omar Masini¹, Víctor Rodrigo¹
(1) Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias, Avda. 25 de Mayo 384,
Villa Mercedes, San Luis - Argentina
(e-mail: javiercarletto@gmail.com)

Recibido: 28/12/2016 - Evaluado: 02/03/2017 - Aceptado: 11/04/2017

RESUMEN

Se presenta en este trabajo un resumen del estudio de cuatro prototipos de destiladores solares con precalentadores de agua por cámara de doble vidriado. Se presentan, los esquemas constructivos y de funcionamiento, la evolución de los estudios realizados y las tendencias de rendimientos para las distintas alternativas. Los prototipos implementan un precalentador de agua por doble vidriado, en distintas partes del destilador, con el objetivo de encontrar la posición que genere el mejor rendimiento. Se presentan los rendimientos correspondientes al año 2015, para lo cual se registraron diariamente los rendimientos de los 4 prototipos. Luego se manejaron promedios diarios mensuales y tendencias para una mejor visualización de los datos, mostrando las tendencias de rendimiento anual y la mejora porcentual con respecto al destilador estándar. Del análisis de resultados surge que la mejor posición del intercambiador es la posterior, mejorando el rendimiento en hasta un 219% para ciertos meses del año.

ABSTRACT

In this work a summary of the study of four prototypes of solar distillers with water preheaters by the double-glazing chamber is presented. The construction and operating schemes; the evolution of the studies carried out and the yield trends for the different alternatives are presented. The prototypes implement a double-glazed water preheater, in several parts of the distiller, in order to find the position that generates the best performance. The yields for the year 2015 are presented, for which the daily yields of the four prototypes are recorded, and then monthly averages and tendencies are handled for a better data visualization, showing the annual performance trends, and the variable percentage regarding the standard distiller. From the analysis of results, it appears that the best position of the exchanger is on the back, improving the yield by up to 219% for some months of the year.

Palabras clave: agua destilada, destiladores solares, intercambio, energía solar
Keywords: distilled water, solar distillers, exchange, solar energy

INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años, se está trabajando en la modificación de la forma constructiva de los destiladores solares de batea liviana con el propósito de mejorar el rendimiento de los mismos.

Como es sabido, la destilación solar es una alternativa ecológica y económica para la producción de agua destilada de calidad (Carletto *et al.*, 2014), que evita el consumo eléctrico y el agua de enfriamiento que normalmente los destiladores convencionales utilizan, 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, por cada litro de agua destilada (Fasulo *et al.*, 1987).

Además, como se plasmó en trabajos anteriores, 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).

Como ya se ha mostrado en distintos trabajos, cambiando constructivamente parte de la superficie vidriada de tal forma que se logre una cámara de agua "a destilar" entre dos vidrios, produce un precalentamiento del agua que ingresa al destilador, y un enfriamiento de la superficie de condensación, que mejora el rendimiento. Algunos resultados expuestos por Carletto *et al.* (2014) y Carletto *et al.* (2016) son contundentes, dependiendo de la ubicación de la cámara, se logran rendimientos que superan ampliamente los destiladores tradicionales.

En total, y a lo largo de los años, se han desarrollado y ensayado cuatro prototipos distintos (diferenciados por la ubicación de la cámara), incluso se han ido perfeccionando constructivamente, y mejorando la forma en que se evalúa cada destilador, en este trabajo se presenta un resumen de los resultados obtenidos en los distintos ensayos, enfatizando un ajuste de curva polinomial para los datos obtenidos en el año 2015 con los cuatro destiladores operativos.

Se presentan los detalles constructivos y de funcionamiento, las gráficas de tendencias y la relación porcentual que existen entre los rendimientos de los destiladores con cámara precalentadora y uno estándar.

METODOLOGÍA

La construcción de los equipos ya fue presentada en detalle por Masini *et al.* (2013) y Carletto *et al.* (2014), solo se indicarán en el presente, los detalles menores para la correcta lectura del trabajo.

Son cuatro 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 y consta por un lado la batea propiamente dicha, y por otro la cubierta que contiene el condensador vidriado, los canales colectores de agua destilada, laterales de apoyo y cierre con la batea (Figura 1). 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 refrigera superficie de condensación lo que podría mejora la misma.

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.

Tal como se describió en Carletto *et al.* (2014), el funcionamiento es simple, 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.

En los casos de los destiladores con precalentadores de agua por cámara de doble vidriado el agua pasa por el regulador de alimentación, e ingresa al intercambiador de calor (superficie doble vidriada), de la salida de este se alimenta la batea y el nivel de batea se regula de la misma manera antes mencionada. 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, a la vez que enfría la superficie de condensación.



Fig.1: Fotografía de los destiladores en funcionamiento

Los cuatro equipos se diferencian básicamente en el tamaño y posición del intercambiador, en tal sentido, el Equipo 1 (Figura 2) no posee intercambiador, siendo un destilador convencional. El equipo 2, posee un intercambiador en la mitad del vidrio superior, el Equipo 3 (Figura 3), tiene la totalidad de la superficie vidriada superior como intercambiador y el Equipo 4 (Figura 4) tiene la totalidad del vidrio posterior como intercambiador. Se presenta a continuación los esquemas constructivos de los equipos 1, 3 y 4, se omite el equipo 2 ya que es igual al equipo 3, con la diferencia que el intercambiador es solo del 50% del vidrio superior.

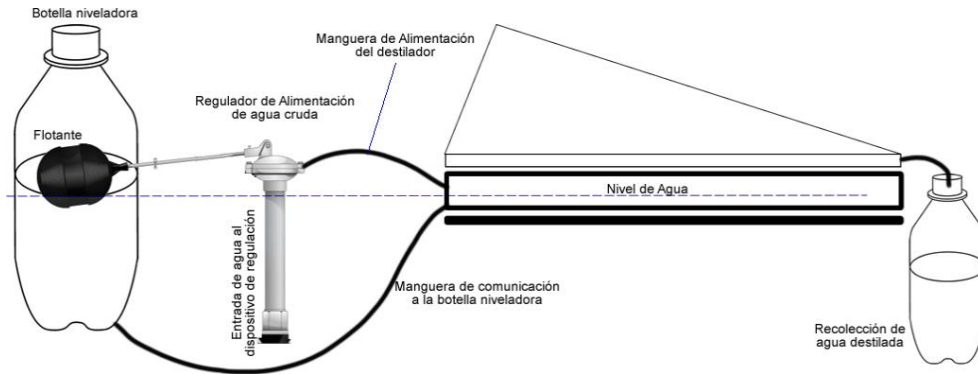


Fig. 2: Esquema de funcionamiento equipo 1 (equipo estándar)

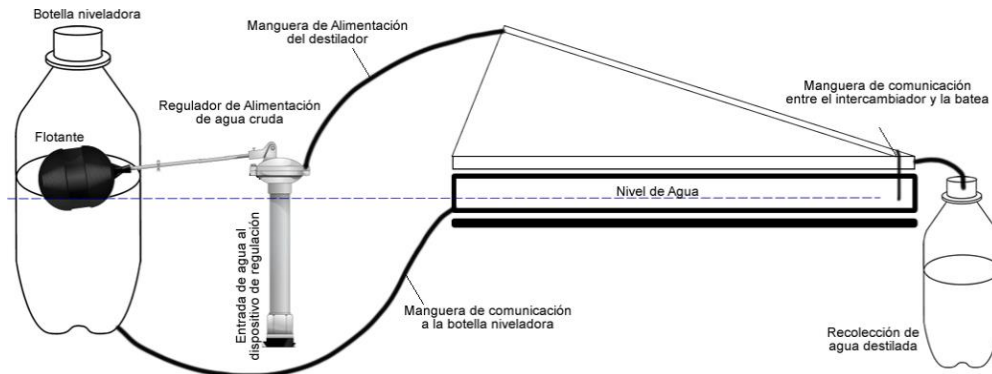


Fig. 3: Esquema de funcionamiento equipo 3 (intercambiador 100% vidrio superior)

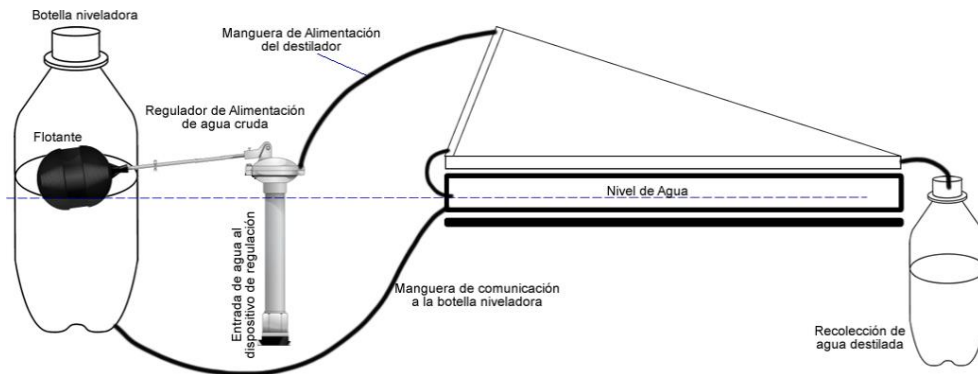


Fig. 4: Esquema de funcionamiento equipo 4 (intercambiador 100% vidrio posterior)

Se controló diariamente la cantidad de agua destilada obtenida y se registraron los valores de rendimiento de los cuatro equipos.

RESULTADOS OBTENIDOS

La Tabla 1, muestra un resumen de los resultados, esto es los promedios diarios por mes de rendimiento por equipo para el año 2015 desde el mes de enero a diciembre. Además, se calculan los porcentajes de rendimiento con respecto al destilador estándar, de cada uno de los prototipos con precalentador. Se observa, que el Equipo 4 (Figura 4) en el mes de junio, produce un 219% más que un equipo convencional, el cual constituye la máxima diferencia lograda con las mejoras introducidas.

Tabla 1: Comparación de rendimiento de los equipos y porcentaje de rendimiento de los equipos respecto al estándar.

Mes	EQUIPO 1	EQUIPO 2		EQUIPO 3		EQUIPO 4	
	Estándar	Medio Vidrio Arriba		Vidrio Completo		Vidrio Atrás	
	Prod. Mensual	Prod. Mensual	%- Estándar	Prod. Mensual	%- Estándar	Prod. Mensual	%- Estándar
Enero	269	289	7%	301	12%	364	35%
Febrero	169	169	0%	171	1%	250	48%
Marzo	109	137	26%	146	34%	203	87%
Abril	62	72	17%	82	32%	109	76%
Mayo	26	51	94%	58	121%	71	172%
Junio	27	48	74%	60	121%	87	219%
Julio	49	58	18%	57	15%	74	50%
Agosto	46	64	38%	64	39%	85	83%
Septiembre	58	103	77%	95	63%	133	129%
Octubre	65	101	57%	95	48%	119	84%
Noviembre	74	162	119%	146	98%	189	156%
Diciembre	309	161	-48%	172	-44%	178	-42%

Con el fin de obtener una curva suave que represente el funcionamiento de los destiladores, se realiza un ajuste de curva de los datos a través de una función polinómica de 6º grado, con la ayuda de herramientas informáticas. Se observa en la Figura 5, el comportamiento de los distintos prototipos a lo largo del año con el ajuste realizado. En términos generales, se observa que el equipo 4 es el que produce el mayor rendimiento, calculado como promedio diario mensual en $\text{cm}^3/\text{día}$, cuyo comportamiento permanece constante a lo largo de todo el año, lo que era esperable, debido a que su construcción se diseñó sobre la base de los aprendizajes obtenidos anteriormente, donde solo se habían ensayado equipos con cámaras intercambiadoras sobre el vidriado superior.

Si bien los ensayos ratifican la hipótesis de este trabajo con respecto a que la inclusión de la cámara produce una mejora en el rendimiento del destilador, se observa algún comportamiento distinto en cuanto a resultados obtenidos en años anteriores con respecto a los equipos 2 y 3 (cámara superior de 50% y 100% de la superficie), lo mismo ocurre con los datos del mes de diciembre, donde se produce una inversión en los rendimientos, y el destilador convencional supera a los modificados. Estas alteraciones en el funcionamiento esperado se atribuyen a fallas de los equipos, fallas en la recolección de datos y cuestiones relacionadas con el desarmado y armado de los equipos para mantenimiento.

Estas observaciones dieron lugar a una nueva reforma de los equipos, los cuales se están construyendo y serán objeto de estudios futuros con el fin de obtener datos que ofrezcan una mayor confiabilidad.

Con el fin de observar porcentualmente las mejoras de rendimiento en función de la ubicación de la cámara, se realiza el gráfico mostrado en la Figura 6, donde se muestra el rendimiento porcentual tomando como referencia el destilador estándar. Se puede observar, que salvo en el mes de diciembre, que se supone una falla en la

experiencia, todos los destiladores producen un porcentaje superior al estándar. Descartando los valores de diciembre, en promedio, el equipo con cámara de medio vidrio arriba produce un 48% más que el estándar, el equipo con cámara de vidrio completo superior mejora el rendimiento en un 53% y el equipo con el intercambiador en la parte superior, mejora el rendimiento en un 104% en promedio.

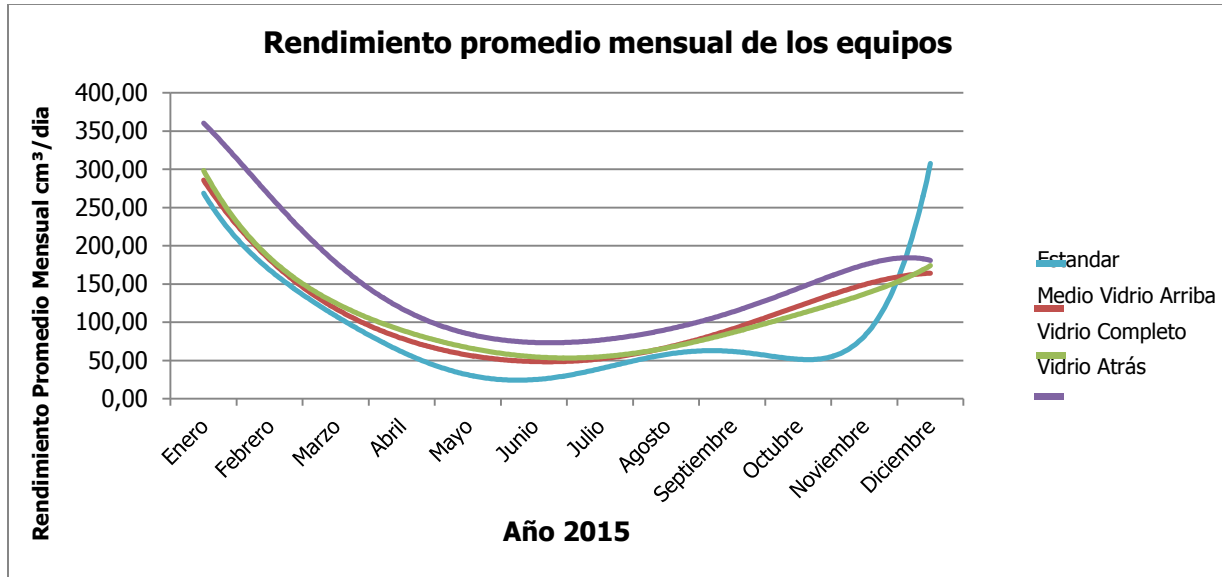


Fig. 5: Gráfica de rendimientos promedios mensuales

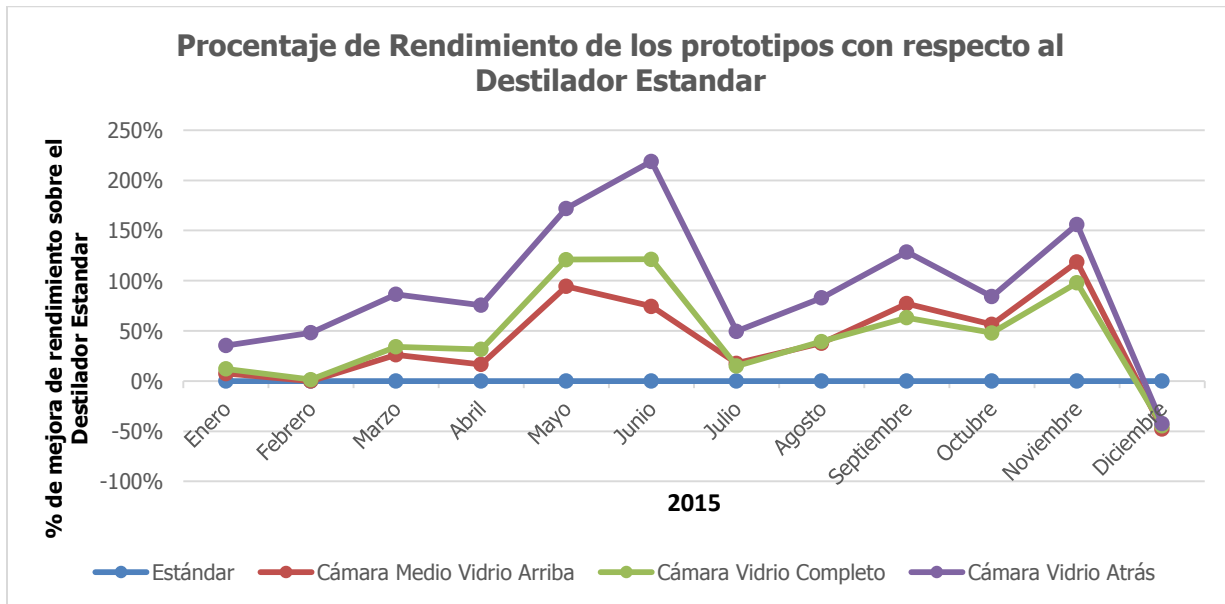


Fig. 6: Gráfica de porcentajes de rendimiento de los prototipos con respecto al destilador estándar.

Esto demuestra que la mejora constructiva propuesta para el equipo cuatro, donde la cámara de intercambio se localiza en la parte posterior, es la mejor de todas ya que aumenta significativamente el rendimiento, superando aproximadamente al doble del resto de las alternativas.

CONCLUSIONES

Se lograron resumir los resultados a través de una tendencia polinómica que permite una visualización y un entendimiento simple que ratifican la hipótesis de trabajo.

Se observa una gran ventaja en el uso de los intercambiadores, y además, se observa que dependiendo de la posición del intercambiador, se logran distintos incrementos en los resultados, llegándose para el equipo 4 a producir el doble, en promedio, que en un equipo estándar.

Si bien los resultados fueron los esperados desde el punto de vista que ratifican las hipótesis de estudios anteriores, se observa alguna inversión en la performance en ciertos puntos del año, y con respecto a ensayos previos. Luego de un análisis de funcionamiento y debido al tamaño de los destiladores se concluye que probablemente se producen variaciones significativas en los rendimientos ya sea por una fuga de agua, o por el reingreso a la batea de agua destilada, aunque sea en minúsculas cantidades.

Se pretende seguir trabajando y encontrar un modelo constructivo óptimo que permita de algún modo la seguridad y confiabilidad de los datos obtenidos, como así también avanzar en el modelado matemático que pueda representar el funcionamiento de los destiladores.

REFERENCIAS

1. Carletto, J., Masini, O., Gimeno, P., Demichelis, J. & Rodrigo, V. (2014). *Estudio comparativo de rendimiento de destiladores solares con precalentadores de agua*. V Congreso Internacional sobre Gestión y tratamiento integral del agua. 12 - 14 de noviembre de 2014, Ciudad de Córdoba – Argentina.
2. Carletto, J., Gimeno, P., Demichelis, J.P., Masini, O. & Rodrigo, V. (2016). *Nuevo modelo de destilador solar con precalentador de agua. Prototipo primeros resultados y comparativa con equipos similares*. VI Congreso Internacional sobre Gestión y tratamiento integral del agua. 9 - 11 de noviembre de 2016, – Ciudad de Córdoba – Argentina.
3. Esteban, C., Franco, J. & Fasulo, A. (2000). Destilador Solar Asistido Con Colector Solar Acumulador. Actas de ASADES. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 1, 3.8.
4. Fasulo, A., Cortinez, V. & Odicino, L. (1987). *Planta de destilación solar de agua para la Facultad de Química Bioquímica y Farmacia de la UNSL*. Actas de ASADES. 23 al 29 de noviembre. Buenos Aires – Argentina.
5. 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*. XXXV Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, 23 al 27 de Octubre de 2012 - Rosario Santa Fe, Argentina.
6. Masini, O., Carletto, J., Gimeno, P. & Rodrigo, V. (2013). *Diseño Y Estudio Comparativo De Destiladores Solares Con Precalentadores De Agua - Resultados Preliminares*. XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES), 22 al 25 de Octubre de 2013, Tucumán – Argentina.

