

PLANTA EXPERIMENTAL DE DESTILACIÓN SOLAR – ELÉCTRICA EN LA U.N.S.L. Primera parte y primeros resultados

Amílcar Fasulo ¹, Jorge Follari ¹, Jorge Adaro ², Javier Marchesi ², Luis Odicino ¹ y Ricardo Monasterollo ³

¹ Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco y Pedernera, 5700 San Luis
Tel. 2652 424689 int. 103 E-mail afasulo@unsl.edu.ar

² Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta Nac. N° 36 Km 601
5800 Río Cuarto Tel. 0358 – 4676488

³ Universidad Nacional de San Luis, FICES, Avenida 25 de Mayo 384
5730 Villa Mercedes, San Luis, Tel. 0657 30954

RESUMEN: En este trabajo se muestra el avance en la construcción y los primeros resultados obtenidos de una planta experimental de destilación solar, con aporte de energía eléctrica, que se encuentra en construcción en la Universidad Nacional de San Luis. Los resultados obtenidos con los primeros módulos construidos, luego de cuatro meses de experiencias, muestran que los objetivos planeados para producir unas 25 toneladas de agua por año con un 70% de aporte con energía solar, serán alcanzados. Los defectos y las soluciones encontradas en el proceso de construcción de la planta según el modelo adoptado son mostrados en el presente trabajo. Las variantes introducidas en las cubiertas condensadoras así como la incorporación de espejos operando sobre módulos de similares características permite comparar y evaluar las ventajas comparativas entre ellos, las que son presentadas mediante tablas.

PALABRAS CLAVE: radiación solar, materiales, destiladores, colectores.

INTRODUCCIÓN

En nuestra Universidad, así como en otras instituciones similares que poseen laboratorios de química, se consumen grandes cantidades de agua destilada. Ésta es producida, normalmente, en los mismos laboratorios. Se dispone para ello de equipos compactos operados con energía eléctrica y refrigeración con agua de la red. El costo de ésta por litro es del orden de 1 KWh y de 20 a 25 litros de agua potable, 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. Por eso venimos proponiendo desde hace 30 años la construcción de una planta de destilación solar que sea capaz de proveer el agua destilada para el consumo de los Laboratorios de la Universidad.

Por otra parte, estos equipos que operan con un vaporizador de dimensiones pequeñas que contienen en su base agua que se mantiene en ebullición, arrastran hacia la masa de vapor pequeñas cantidades de sales, obteniéndose un producto cuya conductancia eléctrica está alrededor de 4 microsiemens. Para mantener la producción en este valor estos dispositivos requieren mantenimiento frecuente, principalmente para eliminar las sales que quedan en el vaporizador. Hemos encontrado destiladores que producen agua con valores de conductancia de hasta 8 microsiemens. Para algunas experiencias estos valores son aceptables, sin embargo cuando se trabaja con drogas con alta pureza se requiere que la conductancia del agua sea del orden de 1 microsiemens. En estos casos se efectúa un segundo destilado, ahora con material de vidrio, lo que lleva a duplicar los costos de producción.

Los destiladores solares que por sus características operan a bajas temperaturas, muy alejadas del punto de ebullición, no arrastran residuos en cantidades que sean detectables. En consecuencia la conductancia del agua destilada solar es de 1 microsiemens y en algunos casos menor. De manera que una planta de destilación solar no sólo constituye un uso racional de los recursos energéticos disponibles, sino que además, por las particulares condiciones de la región, un ahorro sustancial de un recurso tradicionalmente escaso.

ANTECEDENTES

Desde el inicio de nuestras actividades en el Laboratorio de Energía Solar nos dedicamos a la destilación solar. Hemos trabajado en la búsqueda de nuevos materiales de batea y de cubierta. Los materiales de batea que permitan absorber la radiación solar, convertirla en energía térmica y a la vez conservarla. Los materiales de cubierta, que dejando pasar la mayor cantidad de radiación solar, se mantenga lo más fría posible, faciliten así la condensación. Nuestra primera experiencia se hace con destiladores solares con bateas construidas con poliestireno expandido (Sevilla et al, 1976), como no disponíamos aún de películas plásticas negras, efectuamos el ennegrecido de la base de las bateas

mediante pinturas aplicadas directamente sobre el poliestireno. Este procedimiento lleva al dispositivo a trabajar en condiciones límites en su durabilidad por el calentamiento de la batea, próxima al límite de tolerancia del material.

Hacia 1985 nuestro laboratorio presentó un proyecto para construir una planta de destilación solar para cubrir parte de las necesidades de agua destilada para los laboratorios de la Facultad de Química Bioquímica y Farmacia de la Universidad. (A. Fasulo y L. Odcino, 1985). Para esa época habíamos construido dos destiladores de 3 m² de superficie de bateas, las que se construyeron con cemento armado. Esto constituyó parte de una iniciativa conjunta con la Dirección Provincial del Agua, como una de las opciones para proveer de agua potable a regiones aisladas de la provincia que poseen aguas salobres. El Ente Provincial aportó la mano de obra y la Universidad los materiales, el diseño y dirección del proyecto. Se construyeron dos destiladores similares, uno en la Universidad y el otro en terrenos de la Dirección.

El diseño fue elegido dando prioridad a la durabilidad del dispositivo. Una base de mampostería eleva sobre el terreno a la batea. Ésta se construye de hormigón armado, el cual es contenido en sus laterales por molduras de chapa, que en su parte superior, la que emerge de la batea, es de acero inoxidable. Esta chapa soporta los canales colectores del destilado y la cubierta superior. La cubierta fue construida con dos placas de vidrio, una principal de mayor ancho, con una inclinación aproximada de 25° y destinada a recibir durante todo el año la radiación solar que llega a la batea. El cierre por el lateral sur es efectuado por una placa menor que forma un ángulo con la vertical del lugar de unos pocos grados menor que la dirección de los rayos solares en el mes de diciembre. Los laterales son vidriados. Un segundo destilador de las mismas características, con una batea de 5 m² fue construido posteriormente en nuestro laboratorio.

El problema principal a resolver fue el del mantenimiento; el rendimiento del destilador decae en directa relación con el cubrimiento de lodo y sales de la base negra de la batea. Con este fin se experimentaron distintos materiales para cubrir la base de la batea: Pinturas de distintas características, azulejos, cerámicas, vidrios, etc. En todos estos casos las incrustaciones de las sales obligaban a sustituir toda la cubierta. Finalmente encontramos que una película de polietileno negro no admite incrustaciones de sales y en consecuencia es recuperable mediante simple limpieza periódica. Este material, al poseer menor peso específico que el agua, no se puede extender sobre la base de la batea, debe instalarse de manera que envuelva toda la batea y sea el peso del agua el que lo mantenga sumergido. Esto trajo problemas adicionales, en los primeros destiladores con cubiertas fijas pegadas a la batea, pues había que remover varios vidrios de la cubierta para su limpieza. Esto fue resuelto con el cambio de diseño e introducción de las cubiertas removibles, e independientes de la batea.

Simultáneamente con estas experiencias, durante varios años seguimos el comportamiento del producto de estos dispositivos, contando con la colaboración del Laboratorio de Química Analítica de nuestra Universidad, que efectuó el control sistemático de su calidad y se constituyó en el primer consumidor. (Fasulo et Al, 1996). Con posterioridad se incorporó el laboratorio de Química Orgánica. Con estos antecedentes y el apoyo de estos laboratorios ganamos un concurso de desarrollo tecnológico que nos posibilita concretar el proyecto que estamos informando.

EL PROYECTO EN DESARROLLO

La planta se construye en la terraza que se encuentra sobre el tercer nivel de uno de los edificios de la Universidad, que hemos usado hasta la fecha como nuestro campo de experiencias. En el sector oeste del mismo, instalamos un conjunto de destiladores solares tipo batea con cubiertas removibles de 2 m² de superficie cada uno. En el sector este instalamos un conjunto de destiladores con colectores solares acumuladores y colectores planos. Varios de éstos llevan incorporado, en sus tanques de acumulación, resistores eléctricos que permiten incorporar al proceso energía convencional. La energía eléctrica se empleará en el período invernal cuando la producción con radiación solar se reduce a menos de un cuarto con respecto a la del verano. La incorporación de la fuente convencional de energía se adoptó como solución a la falta de espacio como de capacidad de acumulación que hubiese demandado una solución totalmente solar.

La planta, que se encuentra en construcción, prevé producir unas 25 toneladas de agua por año, que es el consumo actual estimado. Se prevé que la mitad, esto es 12,5 tn sean producidas entre noviembre y abril con energía solar, cubriendo las necesidades del primer cuatrimestre del año. A partir del mes de mayo a octubre se prevé producir, con energía solar y eléctrica, otras 12,5 tn, para cubrir las necesidades del segundo cuatrimestre. Para la producción con energía eléctrica se emplearán los condensadores de los destiladores solares, de manera que la condensación se efectúe mediante refrigeración ambiental. Es decir que en ninguna parte del proceso se requerirá flujo de agua alguno para la condensación. De esta forma ahorraremos a la Ciudad de San Luis de 400 a 500 tn de agua potable por año.

SECTOR CON DESTILADORES CONVENCIONALES

En el sector oeste, se experimenta un modelo recientemente propuesto (J. Follari 2003), el cual consiste básicamente en aplicar, ahora con nuevos materiales y aportes innovadores en el diseño, la idea propuesta en 1976. Una base de hierro soporta una parrilla de alambre tejido sobre la que se deposita una placa de poliestireno expandido de 1m de ancho por 2 m de largo y 2 cm de espesor. Un marco de chapa de 10 cm de altura, adherido a la base de hierro por sus laterales inferiores, completa la batea. Este marco posee una moldura que permite alojar el material aislante y constituye a la vez el soporte sobre la que se asentarán los canales colectores. Cuatro soportes de caño estructural permiten elevar sobre el terreno la batea y regular su altura. Una manta de PVC negro cubre toda la batea, desbordando por sus laterales hacia el exterior. La manta es mantenida en su posición por un marco de chapa de acero inoxidable que partiendo desde el fondo de los laterales de la batea termina en una moldura que contiene al canal colector y otra, adosada, sobre los que se apoyarán los vidrios. El modelo original prevé dos placas de vidrio de iguales dimensiones que conforman una cubierta simétrica tipo capilla con una pendiente de 21° con respecto a la horizontal y que denominaremos en lo sucesivo cubierta

simétrica (CS). Lo destacable del diseño es que la cubierta compuesta por los canales colectores y el vidrio es independiente de la batea, permitiendo su desplazamiento y con ello la limpieza de la misma. El sello entre la batea y la cubierta desmontable lo constituye el agua contenida en la batea.

Luego de un análisis del modelo resolvimos introducir las siguientes modificaciones: a) Se agregaron dos láminas de cartón corrugado entre la placa de poliestireno expandido y la manta de polietileno, lo cual protegerá al sistema contra roturas por fusión del poliestireno expandido, que podrían ocurrir en caso de sobrecalentamiento por agotamiento del agua de la batea. b) El marco de chapa de acero inoxidable se reemplaza por otro, que requiere menos acero y mejora la aislación térmica entre la cubierta y la batea. Este marco está constituido por una moldura que contiene al canal colector, un soporte para las placas de vidrio y un canal invertido en el cual se alojará un marco de policarbonato celular de 6 mm de espesor que se extenderá hasta la base de la batea. Así, ahora será el marco de policarbonato celular el que estará en contacto con el agua de la batea, en lugar del acero inoxidable, mejorando la separación térmica entre la batea y la cubierta de vidrio.

En este sector se construyeron también tres destiladores con cubiertas de vidrio simétricas e inmediatamente se pusieron en servicio. El seguimiento sistemático nos permitió detectar algunos defectos y las soluciones: La cubierta de chapa no era lo suficientemente rígida y tendía a desplazarse hacia el exterior en la parte central de la batea. Este problema se resolvió agregando un refuerzo lateral vertical de hierro soldado a la base y ubicado en el centro de cada lateral. Esta modificación fue aplicada a los tres módulos siguientes, que fueron provistos con cubiertas vidriadas asimétricas, (CA). Estos destiladores son puestos en operación y con control periódico de su producción para compararla con los anteriores. Durante este periodo de pruebas detectamos otro defecto importante: Cuando llovía, el agua que deslizaba por vidrios y laterales ingresaba a la batea, inundándola e ingresando a los canales colectores. La solución vendrá de agregar al perfil de acero inoxidable una extensión que cubra totalmente el borde superior de la batea.

En la figura 1 se muestra un corte transversal de las cubiertas desmontables en las dos versiones construidas: cubiertas de vidrio simétricas, CS y asimétricas, CA. En el lateral derecho hemos dibujado el perfil del soporte de acero inoxidable según la propuesta original y sobre el lateral izquierdo el perfil modificado empleado en estas construcciones, combinando acero inoxidable con policarbonato celular.

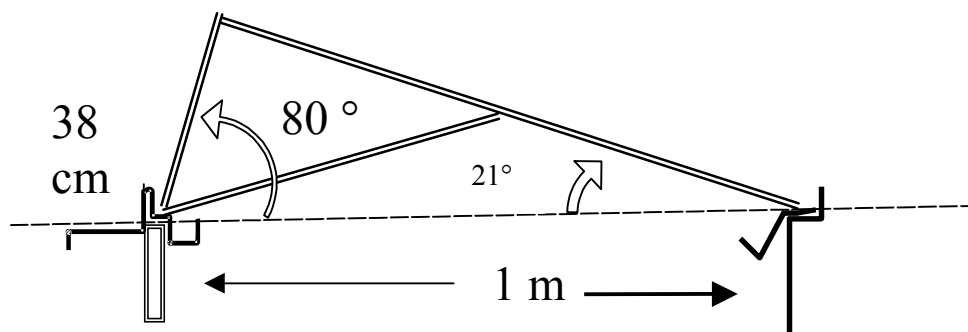


Figura 1: Corte transversal de las cubiertas desmontables.

EXPERIENCIAS

A partir del mes de enero del corriente año se comenzó a construir la planta por el sector oeste, en el que como se indicó, se instalaron destiladores convencionales. Las construcciones se efectuaron con el personal técnico que posee el Proyecto (Sr. Luis Moleda), encargando algunas construcciones puntuales, que por razones de tiempo no pueden efectuarse en el Laboratorio, a particulares. (como instalaciones eléctricas y de agua, tanto para la distribución de las entradas de agua cruda, como para las salidas del producto.) En este último caso contamos con la colaboración del personal de los laboratorios a los que se envía el producto, quienes se encargaron de instalar los conductos entre la planta y sus respectivos laboratorios.

PERIODO	RADIACIÓN <i>I</i> (MJ/m ²)	SIMÉTRICO (litros)		ASIMÉTRICO (litros)		TOTAL (litros)	(DA-DS)/DS %	(DS Ejo-DS)/DS %
19 días de Abril	217,5	Otros	Mejor	Otros	Mejor	280,4	7	---
31 días de Mayo	275,9	106,1	59,3	106,4	61,6	333,4	4	---
27 días de Junio	250,1	145,6	48,9	102,5	57,5	354,5	18	49
32 días de Julio	282,7	145,1	42,8	101,1	57,4	346,4	34	70

Tabla 1 Períodos en que se evalúan las componentes del sector oeste de la planta

En la tabla 1 se muestran los períodos en que se evalúan los componentes del sector oeste de la planta, la radiación solar global horizontal incidente, la cantidad de agua destilada producida por cada uno de los dos diseños simétrico, DS y

asimétrico, DA, la cantidad total y en las dos últimas columnas la relación % de la producción entre los dispositivos con mayor producción de cada tipo y la relación de éste con los asistidos con espejos. Donde además para cada uno hemos distinguido Mejor, que significa el destilador que da mayor producción y con Otros la suma de la producción de los otros dos destiladores.

Los módulos, en la medida en que son contruídos fueron puestos en operaciones. De esta forma hacia el mes de marzo teníamos en operaciones tres módulos que fueron provistos con una cubierta simétrica, e instalados con sus ejes orientados en la dirección norte-sur. A mediados de abril otros tres, en este caso provistos con una cubierta asimétrica. En ese momento iniciamos el registro sistemático de datos. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1. En primer lugar debemos mencionar que los dispositivos no presentan igualdad en la producción. Luego de eliminar defectos, tales como tramos sin soldaduras entre los vidrios, que producen elevadas diferencias en la producción y disminuir al mínimo las diferencias entre los niveles del agua en las bateas, persisten pequeñas diferencias diarias que a lo largo de un período mensual resultan en el orden de litros. Por ello para efectuar la comparación entre los dos modelos de cubiertas en la tabla, presentamos por separado la producción del mejor y en otra columna la suma de los otros dos destiladores. Estos nos muestran que los DA poseen una producción levemente por encima de los DS, comparando tanto la producción de los mejores como la de los otros. Vemos además que esta diferencia se hace mayor en los meses de invierno, junio y julio, tal como se espera tomando en cuenta los ángulos de incidencia de la radiación en este período sobre las cubiertas de cada dispositivo (Fasulo et al 2004). Estas diferencias se presentan en % , en la sexta columna, entre los dos destiladores que presentan mayor producción.

A partir del mes de junio se apartan dos destiladores simétricos (los que presentaron en la etapa previa menor producción) y se los instala con sus ejes siempre orientados de norte a sur frente a un espejo de un metro de ancho por 3,5 m de largo y conforme a la propuesta existente (Follari et al 2004). Los otros destiladores se mantienen fuera del alcance de los rayos reflejados por el espejo. El aporte de espejos, que depende de la cantidad de radiación solar directa, muestra una fuerte incidencia en la producción, poniendo claramente en evidencia la importancia de este aporte. En la séptima columna , vemos este incremento en % entre el valor medio entre los dos destiladores con espejos y el que quedó fuera del campo de reflexión del espejo.

En la tabla 2 podemos ver los resultados obtenidos en los días claros en que se pudieron separar los registros. Los resultados confirman las conclusiones obtenidas desde el análisis de la tabla 1 y como era de esperar, las diferencias encontradas son ahora más pronunciadas.

Días Claros	Radiación I (MJ/m ²)	SIMÉTRICO		ASIMÉTRICO		(DA-DS)/DS %	(DSEsp-DS)/DS %
		Otros	Mejor	Otros	Mejor		
6 y 7 mayo	28,4	13,0	6,9	13,0	7,5	9	----
8 de mayo	14,3	7,0	3,6	7,2	4,0	11	----
		Espejo					
30 de julio	13,3	8,6	2,1	5,6	3,3	60	105
31 de julio							
1 y 2 agosto	37,6	26,4	6,8	17,0	10,1	49	94

Tabla 2 Datos registrados para días claros con la misma organización que la efectuada en la tabla 1

SECTOR CON DESTILADORES ASISTIDOS CON COLECTORES SOLARES

El sector donde operaremos destiladores solares asistidos mediante colectores solares acumuladores y planos, se encuentra actualmente en construcción, y allí se producirá la mayor parte del agua destilada. Estará constituida por destiladores solares con aporte de energía desde a) Colectores solares acumuladores. b) Colectores solares planos. c) Energía eléctrica. Los colectores solares serán acoplados a destiladores solares con tanques de acumulación y el aporte eléctrico se efectuará mediante resistores instalados en los tanques de acumulación. Llevamos cuatro años trabajando con estos dispositivos (Carmen Esteban et al 2000 y 2002). Con la finalidad de determinar sus pérdidas y mejorar su eficiencia construimos un destilador solar de las mismas dimensiones y características al cual le adosamos en su base un tanque de sección circular y 250 litros de capacidad. El tanque como la batea del destilador fueron abundantemente aisladas térmicamente con una cubierta de poliestireno expandido. El tanque posee instalado en su interior un calefactor eléctrico de 2 KW de potencia. Un resistor similar fue instalado en el interior del tanque del destilador acumulador. Recordaremos que el destilador solar acumulador esta constituido por un cilindro de acero inoxidable de sección circular y 600 litros de capacidad. Este colector acumulador adosado en la base de la batea del destilador se encuentra recubierto por una película de pintura negro mate y envuelto por dos cubiertas concéntricas de policarbonato celular de 4 mm de espesor. Se determinaron sistemáticamente las pérdidas térmicas de ambos dispositivos (Carmen Esteban et al, 2004).

Como producto secundario de estas experiencias surgió la posibilidad de producir agua destilada con energía eléctrica en las cantidades deseadas. La principal ventaja de emplear este dispositivo en reemplazo de los destiladores eléctricos instalados en los laboratorios es que no requieren gasto de agua corriente para refrigerar el condensador, pues resulta que la cubierta vidriada del destilador posee una amplia capacidad de condensación, muy por encima con la que habitualmente es operada en los destiladores convencionales. La potencia disipada en el resistor se fue incrementando de acuerdo a la temperatura del medio ambiente, evitando llevar el agua en la batea al punto de ebullición. Encontramos que operando el destilador con acumulador aislado podíamos producir unos 50 litros de destilado en verano y unos 60 litros en invierno, con una calidad de 1 microsiemens, empleando la cubierta de un destilador asimétrico para una batea de un metro cuadrado de superficie. Durante Los últimos 12 meses hemos producido unas 15 tn de agua destilada con estos dispositivos a razón de 1.2 litros por KWh en el destilador con tanque acumulador térmicamente aislado y 0,91 a 1 litro de destilado por KWh en el destilador acumulador.

CONCLUSIONES

La construcción y puesta en marcha de parte de la planta de destilación solar nos ha brindado una oportunidad para poner en evidencia que :

- a) Los destiladores solares con cubierta de vidrio asimétrica poseen una mayor producción durante el periodo invernal.
- b) La incorporación de espejos resulta altamente beneficiosa para la producción de destilado, alcanza para periodos normales, esto es varios días seguidos en donde se incluyen días claros, seminublados y completamente nublados incrementos entre el 50% y el 70%. Para días claros este incremento supera el 100%.
- c) La producción de destilado de óptima calidad, conductancia de 1 microsiemens, es posible obtenerla mediante la incorporación de energía eléctrica en destiladores asistidos con colectores solares acumuladores, adosados en la base de la batea. El costo en electricidad para estos dispositivos es similar al de los destiladores comerciales, pero con una significativa diferencia: éstos no requieren gasto alguno en agua para la refrigeración del condensador.

BIBLIOGRAFÍA

- A Sevilla y J. Follari,, (1976). Destiladores solares tipo invernadero en poliestireno expandido, Actas de la Segunda Reunión de Trabajo de ASADES, Vol. 1 pp 399 – 411
- A.Fasulo, V.Cortines y L.Odicino, (1986). Planta solar de destilación de agua para la facultad de Química Bioquímica y Farmacia de la U.N.S.L.
- A.Fasulo, V.Cortinez y O.Villegas (1996). Siete años de control y uso de agua destilada solar en Química Analítica, Actas de la 18va Reunión de trabajo de ASADES- Vol. II, pp. 07.33 - 38
- C.Esteban, J.Franco y A.Fasulo.(2000) - Destilador Solar Asistido con Colector Solar Acumulador. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4 pp 39-41
- C.Esteban, J.Franco and A. Fasulo (2002).- Solar Detiller Assisted by Solar Collector accumulator. proceeding of EuroSun 2002, Bologna, Italia.
- C.Esteban, J.Franco y A.Fasulo (2004). Perdidas térmicas en destiladores solares asistidos con colectores solares acumuladores, Trabajo enviado al Congreso Iberoamericano de Energía solar, Vigo, España, septiembre de 2004
- A. Fasulo, J. Adaro, J. Marchesi y J. Follari (2004). Destiladores solares con espejos, Trabajo enviado al Congreso Iberoamericano de Energía Solar, Vigo, España, septiembre de 2004

ABSTRACT: This work shows the progress and first results obtained from an experimental solar distillation plant, which is boosted by means of electrical energy, and is being built in the National University of San Luis in Argentina. The results obtained operating the first modules, after four months of experiences, showed that the planned objectives of producing 25 ton of distilling water with a 70 % of solar contribution will be achieved. The defects and implemented solutions in the building process of the plant, following the adopted model, are shown in this work. The alternatives tried in the condenser covers as well as the addition of mirrors operating over modules of similar characteristics allow to compare and evaluate the advantages of one or another system, which are presented by means of tables.

KEYWORDS: solar radiation, materials, distillers, collectors.