

Destilador solar para usos múltiples

Manuel Barroso. Luisa Gil Vollmer

y Sergio Arcetti G.

Este trabajo consiste en el diseño, construcción y prueba de un destilador solar que puede ser utilizado para obtener agua dulce a partir de agua salada o salobre y/o para tratar aguas servidas. Con este proceso se intenta imitar el ciclo del agua en la naturaleza usando la energía proveniente del sol para calentar el agua y así evaporarla.

La utilización de este aparato es factible en regiones de baja densidad poblacional donde la insolación es alta durante la mayor parte del año, como es, en general, el caso de Venezuela.

La destilación de agua salada o salobre se ha practicado desde fines del siglo pasado, utilizando distintos aparatos y con diversas finalidades. En Venezuela, Carlos Lupi construyó un "Destilador Solar no Convencional", que tiene diferencias fundamentales con el aquí descrito en lo que se refiere a usos, materiales y diseño.

Se elaboró un manual que explica los métodos constructivos, operación y mantenimiento del destilador. No se trata, necesariamente, de un diseño único, sino que se puede partir de un dispositivo - base, al cual se le pueden hacer mejoras y/o modificaciones según las posibilidades económicas del usuario y la disponibilidad de materiales. En el proyecto se utilizaron materiales nacionales, de costo relativamente bajo y fáciles de conseguir. Los costos de operación y mantenimiento son ínfimos comparados con la inversión inicial.

El sol es una fuente de energía prácticamente inagotable y de bajo costo, a la que el hombre no ha sabido sacar el máximo provecho. A mediados de siglo existían proyectos destinados a extender el uso de la energía solar hasta llegar a construir inmuebles cuya única fuente de energía fuera la proveniente del sol. Se estimaba que, para fines de siglo, habría millones de edificaciones de este tipo. De hecho, hoy día solamente existen pocos cientos de ellas. La competencia presentada por el petróleo,

gas natural, carbón y energía nuclear ha sido, y continuará siendo, demasiado fuerte.

Con el transcurso del tiempo, parecería razonable que por escasez de recursos hídricos, incremento de la población, agotamiento de las fuentes de energía fósil y sobre todo por razones de carácter ambiental, hubiera una presión cada vez mayor para la utilización de fuentes alternativas de energía.

Se ha comprobado que el uso de la energía solar requiere de inversiones iniciales grandes, mientras su rendimiento, con la tecnología actual, es bajo. Por tanto, su utilización se ha limitado a instalaciones pequeñas en sitios aislados desérticos o semidesérticos. En esta etapa preliminar, se piensa que con una tecnología básica y de bajo costo, la destilación solar aplicada al tratamiento de aguas servidas podría contribuir a la solución del problema de la limitación de recursos hídricos y además, obtener un producto con cierto valor económico.

ANTECEDENTES

Se analizaron previamente dos estudios sobre destiladores solares, destinados a la obtención de agua dulce a partir de agua salada o salobre y dos destiladores vendidos comercialmente en los Estados Unidos para obtener agua potable, con el fin de comparar rendimiento y costos. En todos los casos, se estima la vida útil de los aparatos en 20 años.

1.- Estudio de factibilidad en las islas del pacífico sur.

Se hizo un análisis del desempeño y un estudio económico de varios modelos convencionales de destiladores solares fabricados con madera, hierro galvanizado, concreto y plástico reforzado con fibra ("FRP").

Se concluyó que en zonas costeras, el material más conveniente es el FRP mientras que a alturas mayores se recomienda usar concreto.

Z- Destilador solar no convencional

El objetivo del trabajo de Carlos Lupi fue la construcción y prueba de un destilador solar común y el estudio del suministro de calor adicional proveniente de un concentrador solar fijo además de programas de computación para estimar la producción de agua del destilador y la cantidad de energía captada y perdida por los aparatos estudiando la trayectoria solar.

Para construir el destilador utilizó madera recubierta con fibra de vidrio y. para el concentrador, láminas de acero pulido. Este material presentó problemas de corrosión a causa del ambiente marino.

3.- Agua Del Sol International

Esta compañía basada en Arizona busca dar soluciones, a pequeña y mediana escala, al problema de la escasez de agua en zonas áridas de los Estados Unidos. Los destiladores de "Agua del Sol" son bandejas metálicas aisladas con gomaespuma y cubierta de vidrio. Son livianos y resisten ambientes marinos.

Estos dispositivos han sido diseñados para aplicaciones rurales, residenciales y comerciales. También se usan en zonas urbanas con excesiva cloración del agua potable. Entre las aplicaciones comerciales están la es-

terilización de implementos quirúrgicos, la industria farmacéutica y laboratorios.

4.- Asociación de Energía Solar El Paso

(EPSEA).

EPSEA realizó un proyecto para demostrar la factibilidad de utilizarla energía solar para purificar agua en poblaciones aisladas en el estado de Nuevo México, que anteriormente utilizaban agua de fuentes naturales contaminadas con efluentes de origen industrial, séptico, agrícola o con elevadas concentraciones de sales.

Los destiladores de EPSEA están fabricados con materiales de fácil obtención en Estados Unidos pero no en Venezuela. Se venden los planos y el usuario debe construir el destilador.

En el cuadro siguiente se presenta información sobre 3 de estos destiladores y el de este trabajo para comparar el costo por litro producido. Para hacerlo, es necesario que todos los aparatos tengan la misma vida útil. lo que implica que nuestro destilador deberá funcionar durante 20 años. No se incluye el de Lupi por no existir información relativa a costos. En todo caso, su rendimiento es inferior a 3 l/m²/d.

de concreto recubierto de FRP: es el de menor costo y mayor eficiencia de los usados en ese experimento.

**destilador de 36,5 x 96 pulgadas: de los destiladores fabricados por Agua de! Sol, éste tiene el menor costo unitario.

	Pacifico Sur*	Agua del Sol**	El Paso***	D.S.U.M.****
Rendimiento (l/d/m²)	1,61	7,54	6,80	
Costo (US\$/m²)	183,00	376,11	120,48	75,70
Costo/Producción (US\$/l)	113,66	49,91	17,72	15,14

supone que se construyen en serie para que su costo sea el menor posible (US\$200).

****Destilador Solar para Usos Múltiples.

USOS DEL DESTILADOR

1.- Utilización del destilador partiendo de agua salada o salobre.

El proceso de desalinización ha sido ampliamente estudiado y se utiliza desde hace más de 20 años en Australia, Grecia, Túnez y España.

2.- Utilización del destilador partiendo de agua contaminada con metales pesados o sustancias peligrosas.

Algunos efluente industriales contienen este tipo de sustancias que no pueden ser descargados directamente a cuerpos de agua por no cumplir con las disposiciones de protección ambiental.

De la destilación se obtienen dos productos: agua destilada, que se puede utilizar como tal o ser descargada al ambiente, y sólidos que, según el caso y manejados como "sólidos", pueden transformarse en "desecho peligroso", con un volumen reducido, o en "materia prima valiosa".

3.- Utilización del destilador partiendo de aguas servidas domésticas o industriales contaminadas con materia orgánica.

Este trabajo se centró en este último punto. Se obtuvo agua destilada apta para riego, limpieza y utilización como agua de batería. Por motivos lógicos, no se recomienda para consumo humano directo ni para lavar utensilios de cocina.

En el caso de destilar aguas servidas domésticas, los sólidos obtenidos son de más fácil y limpio manejo que los lodos que se deben extraer de los pozos sépticos.

Efluentes industriales, que no pueden ser descargados directamente a cuerpos de agua, se pueden destilar para remover los sólidos y permanecerán almacenados hasta que se disponga finalmente de ellos (como abono). El agua podrá ser reutilizada, lo que se traduce en un ahorro considerable de dinero y resulta ecológicamente favorable.

Para cada caso, es necesario estimar la frecuencia de limpieza según la cantidad y tipo de sólidos que contengan las aguas.

OBJETIVOS DEL EXPERIMENTO

Con este trabajo se pretende proponer un sencillo procedimiento, que pueda ser comprendido y puesto en práctica inclusive por personas de limitada educación y recursos. Este procedimiento no es aún aplicable en gran escala puesto que la tecnología es muy básica, pero partiendo de los resultados de este experimento, se puede pasar a etapas de investigación más profunda. Los objetivos del trabajo, además de la elaboración del Manual de Construcción, Operación y Mantenimiento del Destilador Solar para Usos Múltiples, son los siguientes:

1.- Determinación de la tasa de evaporación diaria de aguas servidas con contaminación orgánica.

2.- Análisis físico-químico y bacteriológico del condensado para decidir posibles utilidades.

3.- Determinación de la frecuencia de retiro de los residuos sólidos.

4.- Análisis de los residuos para determinar si pueden ser utilizados como fertilizante.

MEDICIONES Y RESULTADOS

El agua introducida al destilador proviene del efluente de un central azucarero. Se escogió este tipo de agua por presentar una contaminación bacteriana muy alta, gran cantidad de materia orgánica y olor cloacal.

De mediados de agosto hasta mediados de octubre se hicieron mediciones del volumen de agua destilada y se tomó la temperatura dentro del destilador dos veces al día. Este período coincidió con la época de lluvias y, sobre todo al principio, llovía casi todos los días. Por este motivo, la destilación fue relativamente baja.

Para tener una idea de la que sucede durante el resto del año, se hicieron proyecciones basadas en los datos obtenidos del destilador y de la Estación Agroclimatológica de la Hacienda El Palmar. Se calculó la relación entre la evaporación dentro del destilador y la evaporación en la tina y se usó el promedio para hacer el estimado de la producción anual.

Durante el período seco se obtiene mucha más agua destilada que durante los meses de lluvias, pero, si se colocara una canal exterior al aparato, se podría recoger también el agua de lluvia aumentando considerablemente los beneficios con un incremento de costo prácticamente despreciable.

RESULTADOS

Se tomó una muestra de efluente del central, tres de agua destilada y una de agua potable, ésta última para comparar su calidad bacteriológica con la del destilado.

3.- Análisis de resultados de los exámenes

A.- Aguas servidas, antes de destilar.

Presentó cargas microorgánicas muy elevadas con presencia importante de conformes fecales.

B.- Agua destilada.

Aunque presentaban organismos coliformes, no eran de origen fecal. El número de microorganismos mesófilos observados en cada una de las muestras fue muy distinto. Esto se puede explicar por el hecho de que el destilador funciona en un rango de temperatura muy amplio. La mayoría de los mesófilos viven a temperaturas inferiores a 40 grados centígrados, mientras que pocos sobreviven a más de 50.

C.- Agua potable.

No presentó contaminación fecal pero sí más coliformes totales que las muestras de agua destilada.

4.- Características Físico-Químicas.

A.- Aguas servidas.

Periódicamente se practican análisis físico-químicos a los afluentes del central. Los resultados varían dentro de un rango amplio pero en general se puede decir que son aguas con una elevadísima cantidad de sólidos, muy turbias y de demanda química y bioquímica muy altas.

B.- Agua destilada.

Cumple con todos los parámetros establecidos por la norma con excepción de Oxígeno Disuelto y Fluoruros, que no se realizaron.

Puede ser clasificada como agua de los Tipos 1A y 2A. Agua Tipo 1A se define como agua que, con la sola adición de un desinfectante, es apta para consumo doméstico o usos industriales que requieran de agua potable. El agua Tipo 2A es apta para riego de vegetales destinados al consumo humano.

El rendimiento del destilador fue similar al esperado, en promedio 5 litros por día por metro cuadrado de superficie.

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DEL DESTILADOR SOLAR PARA USOS MULTIPLES

El Manual tiene como propósito enseñar al usuario a construir un sistema de obtención de agua limpia adicional a la fuente que ya tiene, en caso de que sea ineficiente, inapropiado o simplemente inexistente. Este agua puede ser usada para quehaceres diarios en el hogar y en industrias tales como: lavar los pisos, agua para hacer funcionar los WC, regar, limpieza en general, entre muchas otras; pero en ningún momento bañarse, lavar alimentos o ser consumida.

El aparato que llamaremos "Destilador Solar", se caracteriza por usar la energía proveniente del sol para la obtención de agua limpia a partir de aguas servidas o salobres. Mide dos metros por uno en la base y tiene una altura máxima de aproximadamente 65cm.

Pero, ¿en qué consiste un destilador solar?. Un destilador solar es un estanque o piscina cubierta por un techo de vidrio en el cual ocurre un proceso de evaporación y condensación. Los rayos provenientes del sol calientan el agua dentro del estanque hasta que las partículas de agua que se encuentran más cercanas a la superficie se evaporan. Luego, mediante el contacto de las partículas de vapor con el vidrio, que está a una temperatura inferior, condensan y se obtiene agua destilada. Las gotas de agua deslizan por el techo de vidrio y son recogidas en un canal colector. El estanque se encuentra totalmente sellado para evitar fugas.

El proceso de destilación depende de ciertas variables: temperatura, precipitación, humedad, elevación sobre el nivel del mar, nubosidad, clima, tipo de materiales de construcción. El sistema constructivo aquí expuesto, considera todas estas variables y logra una integración eficiente, sencilla y económica en la forma de construcción. Es importante recalcar que los materiales utilizados son de uso diario y se consiguen en cualquier ferretería del país. Éstos son: bloques de arcilla, ladrillos, tablopán, lámina galvanizada, silicón, cemento plástico, vidrios, esmalte negra mate y blanco brillante, hidrófugo, tubos de PVC, manguera de goma transparente, cemento, arena. Las herramientas utilizadas son: nivel, pico, pala, brocha, peso para compactar de 10 kg, pistola de silicón, palustre, cuchara rectangular para albañilería, metro, listón de madera.

Recomendaciones para el mejoramiento de la eficiencia del destilador.

* Colocar una canal en cada uno de los vidrios laterales para que el agua que se condensa sobre éstos sea también aprovechable. Esta canal puede ser de PVC y debe tener una pendiente tal que las gotas puedan caer al canal principal.

- Limpiar los vidrios diariamente con limpiador de vidrio comercial y papel periódico.

- Limpiar internamente el destilador cuando la cantidad de sólidos acumulados sea elevada. En caso de aguas servidas domésticas puede hacerse cada seis meses, para otros usos es necesario determinar la frecuencia de retiro según el tipo y cantidad de sólidos.

La profundidad del agua no debe ser mayor de 4 cm.

Sacar el agua de los botellones diariamente.

Pintar cada seis meses las paredes exteriores del destilador con esmalte negro mate.

- Disminuir la altura de las paredes del destilador tomando en cuenta que la pendiente del vidrio debe estar entre 15 y 20 grados.

EXPERIMENTO PROBLEMA

Originalmente se construyó un destilador que presentó dos problemas importantes:

1.- *Inclinación del techo de vidrio.*

Según bibliografía consultada, para que las gotas de agua condensada se deslicen eficientemente por el techo (vidrio), el ángulo de inclinación debe estar entre 10 y 20 grados. Al techo del primer destilador se le dio una inclinación de 11 grados, y las gotas de agua condensadas no eran capaces de deslizarse por él hasta el canal colector, sino que volvían a caer dentro del estanque.

Se realizaron entonces pruebas y se determinó que, en realidad, de 18 a 20 grados resulta ideal. Por razones constructivas se obtuvo un ángulo de 18,77 grados.

A mayor inclinación del vidrio, más rápido se desplazan las gotas por él y es menor la probabilidad de que caigan al estanque antes de llegar al canal recolector. Sin embargo, al incrementar el ángulo, aumenta también la distancia promedio entre la superficie del agua y el techo del destilador, y por lo tanto, el volumen de destila-

dor. También disminuye la captación de la radiación solar directa. Estos dos efectos se traducen en detrimento del rendimiento del aparato.

2.- *Impermeabilización.*

La impermeabilización original con asfalto plástico no fue capaz de resistir las altas temperaturas alcanzadas dentro del destilador y se derritió. Este efecto, además de no cumplir con su función primordial, o sea, la de impermeabilizar el estanque, interfería con la evaporación del agua pues se formó una película de asfalto sobre la superficie del agua.

No fue posible eliminar por completo el asfalto de las paredes ni aplicar un nuevo friso sobre éste. Por ello fue necesario proceder a derrumbar las paredes de ladrillos, colocar otra lámina galvanizada en el fondo y volver a construir las paredes. Esta vez, se aplicó una lechada de cemento con un líquido hidrófugo en tres capas. A lo largo de las juntas, entre la lámina galvanizada y las paredes de ladrillos, se aplicó un sellador de juntas adecuado y luego se pintó todo el interior del destilador con pintura de esmalte negro mate.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- *Conclusiones.*

El rendimiento del destilador, si bien es similar al esperado, es relativamente bajo. Esta tecnología hoy día es útil para resolver un problema a pequeña escala, pero sirve de base para futuras investigaciones dentro del campo. El problema mundial de escasez de agua irá incrementándose con el paso del tiempo y es conveniente empezar a buscar soluciones.

La calidad del agua destilada, desde el punto de vista bacteriológico y físico-químico, es muy buena y es apta para ser usada como agua de batería, riego o limpieza general. No se recomienda para consumo humano directo.

Con investigaciones más profundas se pueden atribuir otros usos al agua destilada según requerimientos específicos del consumidor, especialmente en el área industrial.

El costo del destilador es considerablemente inferior a los productos existentes en el mercado norteamericano, siendo el rendimiento similar. Además, [os materiales están a la mano de [a mayoría de las personas y el proceso constructivo es sencillo.

El techo del destilador no se ensucia por dentro. Se puede afirmar que los sólidos y las grasas que contiene el agua no son volátiles.

2.- Recomendaciones

En caso de utilizar aguas servidas y que la cantidad de sólidos sea muy elevada, podría ser útil tener un sistema combinado en el que el agua pasara primero por un tanque-trampa donde se eliminaran los sólidos sedimentables y flotantes, grasas y espumas. Ésto reduciría la frecuencia de limpieza del destilador.

Para aumentar la eficiencia de un destilador solar podría resultar conveniente la utilización de un colector solar. Éste es un dispositivo que intercepta los rayos solares y transfiere la energía a un fluido para calentarlo. En el caso del destilador se propone utilizar espejos planos.

Los espejos pueden actuar como colectores solares y se dice que son concentradores puesto que proyec-

tan los rayos sobre una superficie menor a la propia. En [consecuencia, se](#) provoca un aumento más rápido de la temperatura.

La eficiencia de los colectores solares se maximiza cuando éstos están alineados con el sol. Para lograr este efecto idealmente, habría que moverlos a lo largo del día siguiendo la trayectoria solar. Sin embargo, este procedimiento quedaría fuera del alcance de un trabajo de esta índole ya que su costo sería prohibitivo. Como alternativa, sería conveniente utilizar varios espejos, cada uno inclinado con un ángulo diferente y que se mantuvieran fijos a lo largo del día.