



DESTILACIÓN SOLAR

Introducción

La destilación solar es un tratamiento relativamente simple de fuentes de agua salada (contiene sales disueltas). La destilación es uno de los varios procesos que pueden ser utilizados para purificar agua y pueden usar cualquier fuente de calor. La energía solar es una opción tecnológicamente simple. En este proceso, el agua se evapora, utilizando energía solar, haciendo que el vapor se condense como agua pura. Este proceso quita las sales y otras impurezas del agua.

La destilación solar se usa para producir agua potable o agua pura para baterías de plomo, laboratorios, hospitales y en la elaboración de productos comerciales, como agua de rosas. Se recomienda que el agua potable tenga entre 100 y 1000 mg/l de sal para mantener los niveles de electrolitos y para mantener un buen sabor. Puede que haga falta añadir agua salina al agua destilada para obtener un agua potable aceptable.

Esta técnica usa tecnología muy antigua. Uno de los primeros destilador solar a gran escala fue construido en 1872 para proveer a una comunidad minera de Chile con agua potable. Ha sido usado para situaciones de emergencia, incluyendo la introducción de destiladores inflables para barcos salvavidas.

Existe un gran número de otros medios de desalación, como la osmosis inversa activada por células fotovoltaicas, para la cual existen equipos comerciales a pequeña escala; destilación solar debe ser comparada con estas alternativas para determinar su pertinencia en cualquier situación. Si el tratamiento de agua contaminada es necesario en vez de la desalación, el proceso de filtración lenta de arena es una opción de bajo coste.

Requerimientos energéticos para la destilación de agua

La energía requerida para evaporar el agua, llamada calor latente de vaporización del agua, es de 2,260 kilojulios por kilogramos (kJ/kg). Esto significa que para producir 1 litro (1kg, ya que la densidad del agua pura es de 1kg/litro) de agua pura a partir de agua salada, se necesita una fuente de calor de 2,260kJ. Este cálculo no tiene en cuenta la eficiencia del sistema, que siempre será menor al 100%, ni tampoco la recuperación del calor latente rechazado cuando el agua se condensa.

Se debería tener en cuenta que, mientras una energía de 2,260kJ/kg es necesaria para evaporar el agua, para bombear un kilogramo de agua a través de 20m de carga hidráulica sólo se necesitan 0,2kJ/kg. El proceso de destilación es por lo tanto, normalmente considerado únicamente cuando no existe una fuente local de agua pura que pueda ser fácilmente bombeada o ascendida.

Cómo funciona un simple alambique solar funciona

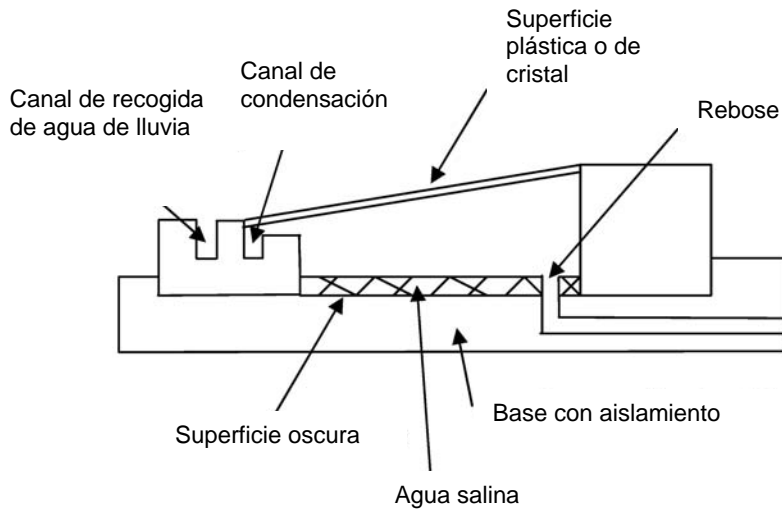


Ilustración 1: Esquema de un alambique de recipiente único. Imagen: Otto Ruskulis para Practical Action.

Ilustración 1 muestra un alambique de recipiente único. Las partes principales son las mismas que para destiladores solares. La radiación solar se transmite a través de una cobertura de cristal o plástico y es capturada por una superficie negra en el fondo del recipiente. Una pequeña capa de agua absorbe el calor que después se convierte en vapor dentro de la cámara del alambique. La capa debería tener una profundidad de 20mm para obtener un mejor resultado.

El vapor se condensa en la cubierta de cristal, que está a una temperatura menor porque está en contacto con el aire del ambiente, y este se desliza hasta un recolector, desde donde se dirige a un tanque de almacenamiento.

Objetivos de diseño para un destilador solar

Para un alambique solar eficiente, este debería mantener:

- Alto suministro de temperatura de agua destilada,
- Una gran diferencia de temperatura entre el agua que ingresa y la superficie de condensación,
- Pérdidas mínimas de vapor.

Un alto suministro de temperatura se puede obtener si:

- Una gran proporción de la radiación entrante es absorbida como calor por el agua, entrante. Así, se necesitan cristales de baja absorción y una buena superficie absorbente de radiación,
- Las pérdidas de calor por el suelo y las paredes se mantienen mínimas,
- La profundidad del agua es pequeña, para que no haga falta tanto calor

Una gran diferencia de temperaturas se puede obtener si:

- La superficie donde se condensa el agua absorbe poco o nada de la radiación entrante,
- El agua condensada disipa el calor que debe ser extraído rápidamente de la superficie donde se condensa el agua mediante, por ejemplo, una segunda corriente de agua o aire, o mediante condensación nocturna.

Destiladores

Los destiladores de único recipiente han sido bastante estudiados y su comportamiento se comprende bien. La eficiencia de los destiladores solares que son bien construidos y mantenidos, es de alrededor de un 50%, aunque las eficiencias típicas suelen ser de un 25%. El resultado diario como función de la irradiación solar alcanza su pico en la tarde, cuando el agua entrante está aún caliente pero la temperatura exterior empieza a bajar. A temperaturas muy elevadas, superiores a 45°C, el plato de cristal puede calentarse demasiado y la condensación puede convertirse en problemática, resultando en pérdidas de eficiencia.

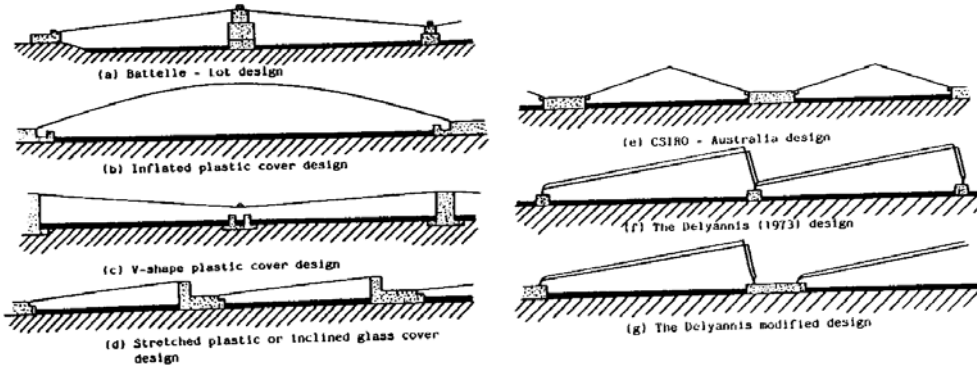


Ilustración 2: Tipos de destiladores solares.

Algunos problemas con los destiladores solares que podría reducir su eficiencia incluyen:

- Mal ajuste de juntas, lo cual aumenta el flujo de aire frío de fuera hacia dentro del equipo,
- Fracturas, roturas o ralladuras en el cristal, lo cual reduce la transmisión solar o permiten la entrada de aire,
- Presencia de algas, presencia de polvo, deposiciones de pájaros, etc. Para evitar esto, es necesario limpiar los destiladores regularmente cada pocos días,
- Daño temporal a la superficie absorbente,
- Acumulación de sal en el fondo, que necesita ser limpiado regularmente,
- El agua salina en el alambique es demasiado profunda, o se seca. La profundidad debe ser mantenida alrededor de los 20mm.

La cubierta debe ser de cristal o plástico. Cristal es preferible al plástico porque la mayoría de estos se degradan en el largo plazo, debido a los rayos ultravioletas procedentes de la luz solar, y porque es más difícil que el agua se condense sobre esa superficie. Cristal templado de hierro es el mejor material porque es altamente transparente y difícil de dañar (Scharl & Hars, 1993). En cambio, si este material es demasiado caro o no está disponible, se puede usar cristal normal de ventana. Este debe ser 4mm o más de grosor para prevenir que se rompa. El plástico (como el polietileno) puede ser usado como solución a corto plazo. Los destiladores con una única cobertura inclinada con la parte exterior hecha con un material aislante no sufren de un plato cobertor con un ángulo muy pequeño en la parte exterior reflejando la luz solar y, consecuentemente, reduciendo su eficiencia. Para mantener una alta eficiencia, es importante que el agua se condense formando una capa, en vez de gotas, lo cual podría llevar a que el agua gotee de nuevo a la masa de agua salina. Por este motivo, la superficie está colocada a un ángulo de entre 10° y 20°. La película condensada es entonces probable que se deslice a lo largo de la superficie hasta recolectarse en el canal.

Ladrillo, arena, cemento o cemento a prueba de agua puede utilizarse para obtener un recipiente durable si este debe ser construido en el lugar de instalación, pero para un

alambique construido en fábrica, este puede ser de ferrocemento prefabricado. Se intentó moldear los destiladores de fibra de vidrio en Botsuana (Yates, Woto & Tihage, 1990) pero en este caso era más caro que el ladrillo y más complicado de aislar apropiadamente, pero tiene la ventaja de que estos destiladores pueden ser transportables.

Introduciendo un ventilador en el alambique es posible aumentar la velocidad de evaporación. En cambio, este no es un gran incremento y se introducen el coste extra y complicación de incluir y dar energía a un ventilador, en un equipo que es muy sencillo en sí. La desalación solar asistida con ventilación solo sería realmente útil si un cierto nivel de output fuera necesario, pero el área ocupada por los destiladores fuera restringido, ya que un ventilador puede reducir el área ocupada por un alambique para un determinado output.

El alambique mexicano

El alambique mejicano consiste de dos destiladores, como los mostrados anteriormente, unidos de manera que forman una forma triangular. Las placas de cristal pueden ser sujetadas desde abajo, en el punto más altas donde se unen ambas dos, pero si estas solo están apoyadas una contra la otra selladas, esto aumenta la fragilidad del alambique y limita la superficie de cada una de las placas.

El alambique del Brace Research Institute (Instituto de investigación Brace)

Esencialmente, este alambique es como el mostrado en la ilustración anterior. En cambio, en este caso los destiladores son colocados uno junto a la otra lo largo del ancho de unos 10 metros de la planta de destilación. En lo que respecta al largo, la unidad como la mostrada es construida a una distancia considerable, como de unos 15 metros. Las placas de cristal se colocan a lo largo del alambique y simplemente son selladas. Equipos de este tamaño también tiene dos pequeños rebases a lo largo para permitir que el agua salina fluya a lo largo del alambique. Un proyecto de este tipo fue llevado a cabo por el Brace Research Institute, McGill University, Canadá en Haití. La escala del equipo necesita la capacitación de operadores, siendo los requerimientos de mantenimiento de importancia considerable.

Destiladores con recipientes de efecto múltiple tienen dos o más compartimentos. La superficie superior donde se condensa el agua del compartimento inferior es el suelo del compartimento más elevado. El calor emitido por el vapor condensado aporta energía suficiente para vaporizar el agua superior. La eficiencia es, por lo tanto, mayor que con el alambique de un único recipiente, que normalmente es de 35% o más, aunque el coste y la complejidad son consecuentemente más elevados.

Destiladores de mecha

En un alambique de mecha, el agua entrante fluye lentamente a través de una almohadilla porosa que absorbe la radiación (el mecha). Este modelo tiene dos ventajas sobre el alambique tradicional. Primero, el mecha puede ser inclinado de modo que el agua entrante presenta un mejor ángulo con respecto al sol (reduciendo reflejos y presentando una superficie mayor y más eficaz). Segundo, el alambique contiene menos agua salina, de manera que el agua se calienta más rápidamente y a una mayor temperatura. Los destiladores de mecha sencillos son más eficientes que destiladores de recipiente y algunos diseños claman ser más baratos que un alambique de recipiente dado el mismo resultado.

Algunos diseños han sido desarrollados con materiales absorbentes o de tipo película con el fin de aumentar el área de evaporación – ej. un artículo sobre el diseño desarrollado por G. N. Tiwari del Indian Institute of Technology, Nueva Delhi, fue publicado en la revista New Scientist.

Uso del reflector

Las paredes interiores del alambique pueden incorporar una cobertura reflectante, como papel de aluminio, para aumentar el reflejo de la energía

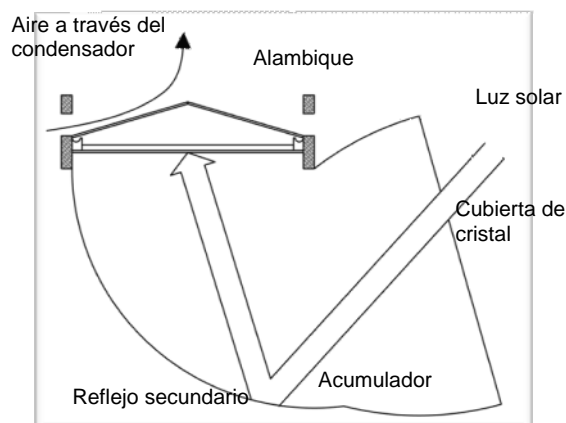


Ilustración 3 Alambique inverso de absorción solar. Ilustración: Neil Noble / Practical Action.

calórica hacia el agua en proceso de evaporación. Es desconocido cuanto esto ha mejorado la eficiencia del alambique.

Alambique solar de absorción invertida

El calor es absorbido desde la parte inferior del alambique para mejorar la eficiencia del equipo. Esto permite que el plato condensador y la placa recolector estén separados. Existen varios diseños de absorción invertida desde un sistema simple hasta diseños más complejos.

Destiladores esféricos

En un diseño desarrollado por el Thermal and Solar Laboratory en la Claude Bernard University, Lyons, France, un canal donde se coloca el agua salina, es posicionado en el centro de una esfera hueca de plástico transparente. Agua destilada se condensa en el interior de la superficie de la esfera y es recolectada por un tipo de brazo de limpiaparabrisas mecánico que fuerza al agua condensada a caer al fondo de la esfera donde será almacenada. Parece que este sistema aporta una pequeña mejora en la eficiencia en comparación con un alambique solar convencional, pero el mayor coste de este alambique hace que esta ventaja no sea suficientemente convincente [World Water].

Destiladores inclinados

El fin de inclinar el alambique es aumentar la radiación solar, recibéndola más directamente, en vez de a un ángulo como resulta con los destiladores que yacen planos. Para hacer esto constantemente, según la Tierra rota, el sol se mueve relativamente, sería necesario que alguien registrase el movimiento relativo del sol y girar el equipo regularmente, o un mecanismo sofisticado automático de giro y seguimiento.

Recuperación del calor condensado

La recuperación del calor de la energía de la condensación del vapor de agua no ha sido generalmente intentado mediante destilación solar a pequeña escala, en cambio si con sistemas a gran escala. Es conocido que el Ben Gurion Institute, y después el Technion Institute en Israel, ha llevado a cabo algunos experimentos sobre recuperación de calor. En el sistema más simple, se hace fluir agua salina sobre el exterior de la placa de condensación antes de entrar en el alambique, pero luego esto reduciría la cantidad de radiación solar que pasa a través de la placa. Puede que haya capacidad para que más investigación consiga superar las dificultades actuales relacionadas con el intento de recuperación de energía calórica de la destilación solar.

Alambique de emergencia

Para proveer agua potable en tierra, se puede hacer un alambique sencillo. Para ello, se utiliza la humedad en la tierra y los materiales necesarios son solo una cubierta de plástico, un recipiente, un cubo y una pequeña piedra.

Diseños híbridos

Existe un número de maneras en las que los destiladores solares pueden ser combinados de manera útil con otra función tecnológica. Estos son tres ejemplos:

- Recolección de agua de lluvia. Añadiendo una canaleta externa, la cubierta del alambique puede ser usada para la recolección de agua de lluvia para suplementar el resultado del alambique solar.
- Alambique solar invernadero. El tejado del invernadero puede ser usado como la cubierta de un alambique.
- Calentamiento suplementario. El calor disipado de un motor o del condensador de una refrigeradora puede ser utilizado como una fuente de energía adicional.

Rendimiento de un alambique solar

Un método aproximado para estimar el rendimiento de un alambique solar es el siguiente:

$$Q = \frac{E \times G \times A}{2.3}$$

- Q = producción diaria de agua desalada (litros/día)
- E = eficiencia
- G = irradiación solar global diaria (MJ/m²)
- A = área de apertura del alambique (área de superficie de un recipiente simple de alambique)

La media diaria y global de irradiación solar en un país con incidencia media de es 18MJ/m² (5 kWh/m²). Un recipiente simple funciona con una eficiencia total del 30%. Por lo tanto, el OUTPUT por metro cuadrado es de:

$$\text{Producción diaria} = \frac{0.30 \times 18.0 \times 1}{2.3} = 2.3 \text{ litros (por metro cuadrado)}$$

El rendimiento varia en zonas tropicales pero no significativamente. Una producción media es de 2.3 a 3.0 litros/m²/día es lo típico, la capacidad anual de un alambique solar es aproximadamente un metro cubico por metro cuadrado 1m³/m²/año.

Experiencia

A pesar de la proliferación de diseños más sofisticados como la unidad de desalación solar TERI con recolectores desplazados, el alambique de único recipiente tiene el mejor historial en el campo. Cientos de destiladores más pequeños están en funcionamiento en África e India.

El coste de agua pura producida depende de:

- el coste de hacer el alambique
- el coste del terreno
- la vida útil del alambique
- costes operativos
- coste del agua entrante
- la tasa de descuento utilizada
- la cantidad de agua producida

Un ejemplo de costes de un alambique solar en India es Rs. 28.000 por 15 m², aproximadamente \$575.00 por 15m², o \$38,3/m². El precio de la tierra normalmente será una pequeña proporción de esta cantidad en zonas rurales, pero puede que sea prohibitivo en pueblos y ciudades (ver la página web de TNAU para más detalles).

La vida de un alambique de cristal es normalmente de entre 20 y 30 años pero los costes operativos pueden ser importantes, especialmente si hay que reparar o cambiar un cristal roto.

Es importante que los destiladores sean inspeccionados y mantenidos regularmente para mantener su eficiencia y reducir su deterioro. Daños, como rotura del plato recolector, necesitan ser rectificadas.

Algunas compañías, como en Estados Unidos, Rusia, India y Sudáfrica, venden destiladores solares, principalmente para uso doméstico para producir hasta 50 litros al día.

¿Es un alambique solar lo que necesitas?

Las personas necesitamos 1 o 2 litros de agua potable al día. El mínimo requerido para una vida normal en países en desarrollo (que incluye cocinar, limpiar y lavar los platos) es de 20 litros al día (en los países industrializados es típicamente de 200 a 400 litros diarios). Aun

así, algunas funciones pueden ser realizadas con agua salada y un requerimiento típico para agua destilada es de 5 litros por persona y día. Por lo tanto, se necesitan 2m² por persona.

Los destiladores solares deberían normalmente ser considerados para extraer sales disueltas del agua. Si existe una opción entre agua subterránea salada o agua contaminada superficial, es normalmente más barato utilizar filtros de arena u otro equipo de tratamiento. Si no hay agua pura, entonces las alternativas son desalación, transportación y recolección de agua de lluvia.

Al contrario de otras técnicas de desalación, los destiladores solares son más atractivos cuánto más pequeños son sus rendimientos. El coste capital inicial de destiladores es aproximadamente proporcional a su capacidad, mientras que otros métodos tienen significantes economías de escala. Para el domicilio individual, por lo tanto, el alambique solar es más económico.

Para una capacidad de 1m³/día o más, la osmosis reversa o electrodiálisis deberían ser consideradas como alternativas a destiladores solares. Mucho dependerá de la disponibilidad y el precio de la electricidad. Para producciones de 200m³/día o más, la compresión de vapor o evaporación normalmente serán de menor costo. Esta última tecnología puede tener adquirir parte de sus requerimientos energéticos por calentadores de agua solares.

En muchas partes del mundo, agua limpia es transportada de una región o lugar por barco, tren, camión o tuberías. El coste de agua transportada por vehículos es típicamente del mismo orden de magnitud como lo producido por destiladores solares. Un sistema de tuberías podría ser menos caro para cantidades muy grandes.

La recolección de agua de lluvia es una técnica mucho más simple que la destilación solar y es preferible en áreas con 400mm de lluvia anual, pero necesita una mayor superficie y normalmente un tanque de almacenamiento más grande. Si existe ya una colección de superficies ya disponibles (como techos de casas), esto puede proveer una fuente más económica para la obtención de agua limpia (ver el Informe técnico de recolección de agua de lluvia).

¿Qué alambique solar?

El alambique de recipiente único es el único diseño probado en terreno. Los destiladores multiefecto tiene el potencial de ser más económicos, pero sería recomendable obtener experiencia primero con el alambique de recipiente único.

Más información

- Malik A S et al - '*Solar Dialambiqueation*' - Pergamon Press - 1982. Aporte un texto técnico completo.
- *Solar Dialambiqueation Practice For Water Desalination Systems* Dr. G N Tiwari, Professor of Energy Studies, Indian Institute of Technology, Delhi, India
- Dr. A K Tiwari, Dept of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Raipur, India, 2008 Anshan Publishing, ISBN: 978 1905740 888

Direcciones útiles

International Desalination Association (IDA)

POB 387

37 Main St.

Topsfield, MA 01983 USA

Teléfonos: +1 508 887 0410, 356 27 27 / Fax: +1 508 887 0411

E-mail: idalpabgix.netcom.com

<http://www.ida.bm>

Las metas de la asociación son el desarrollo y la promoción del uso apropiado de la desalación y su tecnología a nivel mundial.

Pakistan Desalination Association (PaKDA)

42, Bhayani Centre, Block-M

North Nazimabad, Karachi

Pakistan

Teléfonos: +92 21 6677341-2 / Fax: +92 21 6641121

E-mail: nahmed@paknet3.ptc.pk

Afiliado al IDA.

The International Development Research Centre –IDRC

PO Box 8500,

Ottawa, ON,

Canada

K1G 3H9

Teléfonos: +1-613 236-6163 / Fax: +1-613 238-7230

E-mail: info@idrc.ca

Website: <http://www.idrc.ca/>

http://archive.idrc.ca/library/document/053715/chap3_e.html

Trabajo de proyecto incluye destilación solar en Botsuana.

The Centre for Energy Studies

Indian Institute of Technology Delhi - IITD

Hauz Khas, New Delhi - 110 016.

New Delhi

India

Fax: (91) 011-2658 2037, (91) 011-2658 2277

E-mail: gntiwari@cas.iitd.in

Website: <http://www.iitd.ac.in/>

Investigación sobre sistemas multiefecto de destilación solar.

The Energy and Resources Institute - TERI

Darbari Seth Block, IHC Complex, Lodhi Road, New Delhi - 110 003, INDIA

Tel: +91 11 2468 2100 and 41504900 / Fax: +91 11 2468 2144 and

2468 2145

E-mail: mailbox@teri.res.in

Website: <http://www.teriin.org/>

http://www.teriin.org/index.php?option=com_content&task=view&id=62

Diseño de una unidad desalinadora solar con recolectores desplazados.

Indian Desalination Association (InDA)

Dr. B.M. Misra

Mumbai 400 085 India

Tel: +91 22 5513992 / 5563060 Ext. 4705 /4706 / Fax: +91 22 5560750

E-mail: bmmisra@magnum.barctl.ernet.in

Website: www.buc.emet.in

Afiliado al IDA.

El Paso Solar Energy Association (EPSEA)
 P.O. Box 26384
 El Paso
 Texas 79926
 USA

Website: <http://www.epsea.org/>

La página web incluye detalles de la instalación de destiladores solares en Texas y México. Detalles de la construcción de destiladores solares pueden ser pedidos a través de la página.

Agricultural Engineering College & Research Institute
 Tamil Nadu Agricultural University - TNAU
 Coimbatore - 641 003, Tamil Nadu, India
 Website: <http://www.tnau.ac.in/tech/implements/bioen1c.htm>
 Desarrolló un alambique solar de 15m².

Gujarat Energy Development Agency - GEDA
 4th floor, Block No. 11 & 12
 Udyog Bhavan
 Sector -11
 Gandhinagar, Gujarat, India
 Teléfonos: +91-079-23247086, 23247089, 23247090 / Fax: +91-079-23247097
 E-mail: info@geda.org.in
 Website: www.geda.org.in
http://www.geda.org.in/solar/so_slr_alambique_manuf.htm
 Lista de proveedores de destiladores solares.

Techno Marketing Department
 National Engineering Research and Development Centre – NERD Centre
 Ekala, Jaela.
 Sri Lanka
 Teléfonos: 2236284, 2236 384, 2236307 / Fax. 5354597
 E-mail: nerdcentre@nerdc.lk
 Website: www.nerdc.lk
 Alambique a pequeña escala productor de 4-5 litros de agua al día.

Soluciones Prácticas
 Apartado Postal 18-0620
 Lima 18
 Perú
 Teléfonos: (511) 447-5127,
 444-7055, 446-7324
 E-mail: info@solucionespracticas.org.pe
 Website: www.solucionespracticas.org

Practical Action
 The Schumacher Centre for Technology and Development
 Bourton-on-Dunsmore
 Rugby, Warwickshire, CV23 9QZ
 Reino Unido
 E-mail: infoserv@practicalaction.org.uk
 Website: <http://practicalaction.org/practicalanswers/>

Soluciones Prácticas es un organismo de cooperación técnica internacional que contribuye al desarrollo sostenible de la población de menores recursos, mediante la investigación, aplicación y difusión de tecnologías apropiadas.

No ponemos en primer lugar a la tecnología, sino a las personas. Las herramientas pueden ser simples o sofisticadas, pero proveen respuestas apropiadas, prácticas y de largo plazo; deben estar firmemente bajo el control de las poblaciones locales; son ellas quienes les dan forma y las utilizan para su propio beneficio.