

huella

cuadernos de divulgación académica

16

Juan Jorge Hermosillo Villalobos

Destilación solar.



DESTILACION SOLAR

ITESO

Rector:

Lic. Luis González Cosío Elcoro

Directora de Extensión Universitaria

Mtra. Cristina Romo de Rosell

Consejo Editorial:

Mtro. Miguel Bazdresch Parada

Mtro. Raúl Fuentes Navarro

Ing. Francisco Morfín Otero

Mtro. Francisco J. Núñez de la Peña

Mtra. Cristina Romo de Rosell

Mtro. Luis Sánchez Villaseñor

Lic. Jacinto Silva Rodríguez

D.R. 1989 Instituto Tecnológico
y de Estudios Superiores de Occidente, ITESO,
Comisión para el Fomento Editorial, COFE.

Fuego No. 1031, Guadalajara, Jal., México.

Impreso y hecho en México.

Printed and made in Mexico.

ISBN 968-6101-10-1

Juan Jorge Hermosillo Villalobos

DESTILACION SOLAR

INDICE

Introducción	7
Una justificación al uso de la destilación solar	8
Principios de funcionamiento de los destiladores solares	14
Captación de energía solar	14
Evaporación del agua	15
Condensación del vapor	17
Flujos de calor	17
Eficiencia térmica	20
Eficiencia de remoción	21
Efecto de los depósitos salinos	21
Detalles prácticos en la construcción de destiladores	23
Materiales de construcción	23
Inclinación del condensador	25
Alimentación del destilando	26
Separación entre destilando y destilado	26
Remineralización del destilado	27
Algunos prototipos experimentales	29
Destilador de tipo caseta	29
Destilador de tipo escalera	31
Destilador con evaporador de tela	33
Destilador con colector solar auxiliar	35
Destilador de múltiple efecto	37
Conclusión	40
Referencias	41
Bibliografía complementaria	41

INTRODUCCION

Uno de los proyectos que se han venido realizando en los últimos años en el Grupo Solar de la División de Ingeniería del ITESO, es la aplicación de la destilación de agua mediante energía solar para la obtención de agua potable.

La *destilación solar*, como se le conoce en el campo de la energía solar, se nos presenta como una alternativa desde los puntos de vista de tecnología sanitaria y de tecnología energética. Ambos puntos de vista son interesantes e importantes en la situación actual de nuestro país.

A pesar de que la destilación solar, como veremos en la primera parte, ya se emplea en México y fue implementada a escala industrial hace más de un siglo, se escribe un trabajo sobre el tema porque la purificación de agua mediante energía solar ha sido subestimada. Hace falta más difusión acerca de su utilidad y sus limitaciones; hacen falta más desarrollo tecnológico e investigación aplicada para desarrollar dispositivos mejores y más confiables.

Este trabajo tiene la intención de dar a conocer algo de lo realizado por el ITESO en el campo de la destilación solar y de divulgar su uso. Por tanto, no es un tratado formal sobre el tema y no es exhaustivo en la descripción de los diversos destiladores que se han desarrollado.

En la primera parte se describe brevemente porqué algunos sectores de la población podrían solucionar en parte su carencia de agua potable mediante destilación solar y la conveniencia de ésta. En la segunda parte, describiremos brevemente los procesos físicos que se llevan a cabo en cada parte del destilador, para dejar una idea -al menos cualitativa- de su funcionamiento. En la tercera parte, se explican algunos detalles prácticos que son importantes en la construcción y operación de un destilador y, en la última parte, hablaremos de los principales tipos de destiladores solares que han sido desarrollados.

UNA JUSTIFICACION AL USO DE LA DESTILACION SOLAR

Es de todos conocido que tres cuartas partes de la superficie terrestre están cubiertas por el agua de los océanos y que no es posible la vida del hombre sin agua potable. Se considera potable el agua sólo cuando tiene presente menos de cierto límite de otras sustancias minerales y de microorganismos. Este límite es diferente para cada sustancia mineral en particular y para los organismos vegetales o animales. Por ejemplo, se considera impotable el agua que contiene en solución más de 500 partes por millón de sal común¹. Por su alto contenido de sales, el agua de los océanos es impotable (24 mil partes por millón de cloruro de sodio y 34 mil 500 partes por millón de sales en total)², por lo que la cantidad de agua disponible para que el hombre y los animales terrestres beban es mucho menor de lo que en principio pudiera imaginarse. Sin embargo, la Naturaleza dispone de un proceso sencillo y eficiente para "fabricar" agua potable a partir de la de los océanos: el ciclo hidrológico. Los beneficios que éste produce para la vida en todo el planeta van desde lo económico hasta lo climatológico.

A grandes rasgos, el ciclo hidrológico consiste en lo siguiente: el agua de los océanos se calienta por efecto de la luz solar, de donde se evapora y pasa a formar parte de la atmósfera en forma de vapor. La atmósfera, cuyos movimientos -vientos, ciclones, tornados, etc.- son debidos también a la radiación solar, se encarga de transportar aquel vapor a los continentes. Aquí encuentra condiciones que lo hacen condensarse en pequeñas gotas que forman las nubes. A medida que estas gotitas van creciendo por el proceso de condensación, tienden a caer a la superficie terrestre, en lo que llamamos lluvia, granizo o nieve. Desde luego, este proceso también ocurre sobre el océano mismo. Si ocurre en una atmósfera limpia -lejos de áreas urbanas e industriales, de emanaciones volcánicas-, el agua que se obtiene es de un alto grado de pureza, con algo de oxígeno y nitrógeno disueltos. Así, el Sol suministra no sólo la energía para purificar el agua al separarla de los minerales que tiene en solución en el mar, sino que proporciona también la energía para transportarla ya purificada a las zonas continentales. Gracias a la energía solar se obtiene pues, toda el agua "dulce" de

origen natural, ya sea en la nieve de las altas montañas, en los arroyos y los ríos, en los lagos o en los mantos freáticos y nacimientos naturales.

Sin embargo, existen dos razones principales por las cuales en grandes regiones de la Tierra -el territorio mexicano, entre otros- es difícil encontrar agua potable superficial. La primera de ellas es la heterogénea distribución de las lluvias en su superficie. Basta observar un mapa medianamente detallado de la hidrología de Europa o Canadá y compararla con la de la región norte de México y sur de Estados Unidos, con la del norte de África o de Australia, para convencerse de que la distribución del vital líquido sobre los continentes es muy poco homogénea. La segunda razón por la que es difícil hallar agua potable de superficie, es la contaminación -natural y artificial- de ríos y lagos y, en algunos casos, aun de mantos freáticos. En nuestro país, quizá el caso más patético sea el de la cuenca del Lerma-Chapala-Santiago, la más grande de México, que recibe descargas urbanas, industriales y agropecuarias, principalmente a lo largo del Río Lerma y en la ribera del lago de Chapala. En el tramo correspondiente al Río Santiago, recibe además la imponente descarga urbana e industrial de la zona metropolitana de Guadalajara. El caso de la Laguna, entre los estados de Durango y Coahuila, es también patético por la presencia de arsénico (elemento químico altamente tóxico) en la mayoría de las fuentes de agua subterránea que abastecen el área.

El suministro de agua potabilizada mediante diversos tratamientos es posible en nuestro país solamente en las poblaciones relativamente grandes. En éstas, es común que dicho suministro sea insuficiente y no llegue a un importante porcentaje de la población: típicamente las colonias marginadas en la periferia de las ciudades.

En poblaciones de tamaño intermedio, son comunes las siguientes situaciones: el agua es extraída del subsuelo y, sin ningún análisis para determinar su potabilidad, se suministra a la población; en otros casos, la deficiente operación de pequeñas plantas de tratamiento -por falta de personal capacitado, de recursos económicos, etc.- hace que operen casi como simples plantas de bombeo, sin dar al agua un tratamiento realmente potabilizador.

Por último, en las comunidades rurales más pequeñas, en la mayoría de los casos aisladas y carentes de recursos, el suministro de agua -raras veces potable- proviene de aguas superficiales o de pozos no profundos y se emplea, por supuesto, sin recibir tratamiento alguno.

Ante la perspectiva de un país con problemas en el suministro de agua potable en todos sus niveles, desde las grandes urbes hasta el medio rural y desde las zonas montañosas hasta las costas -por mencionar sólo un aspecto del problema ecológico más general en que nos encontramos inmersos- parece conveniente intentar una reconciliación con la Naturaleza, en vez de tratar de dominarla por medio de la fuerza bruta, con la cual usualmente se obtiene el beneficio buscado a cambio de perjuicios secundarios que a su vez hay que tratar de dominar posteriormente.

Esta búsqueda de reconciliación con la Naturaleza de ninguna manera es cosa fácil, si la entendemos no como un retorno a la era de las cavernas, sino como una forma de avanzar hacia un estilo de progreso amigable con ella y por tanto con nosotros mismos como género humano. Este esfuerzo pues, debería involucrar a todas las áreas del conocimiento para lograr un cambio global en nuestras actitudes en general y en nuestros puntos de vista acerca del uso de los recursos, así como del manejo de los residuos -aguas negras, basura, calor residual en la industria- lo cual frecuentemente se hace con desperdicio, en el sentido de "derroche" o "despilfarro".

En el caso particular del agua -tanto la potable como las aguas negras- en muchos casos es cuestionable la forma y la tecnología que se ha empleado en su manejo. Como ejemplo de algunos cuestionamientos que podrían hacerse al manejo del agua en nuestro medio actualmente y en el pasado, mencionaremos los siguientes:

¿Es realmente necesario, como se hace actualmente, emplear agua potable en el lavado del excusado?

En el contexto de escasez de agua, ¿es razonable utilizar también el excusado para deshacerse algunas veces hasta de un trozo de papel, tirando al drenaje de 15 a 25 litros de agua potable cada vez?

¿Es satisfactorio saber que las aguas negras -industriales y domésticas- de la ciudad de Guadalajara se tiran sin tratamiento alguno en varios puntos a lo largo del Río Santiago, en un lugar que por su belleza podría haber sido un parque nacional?

Sabiendo que los mantos freáticos de Guadalajara y sus alrededores cada vez están más bajos, ¿es sensato tirar el agua de la lluvia, limpia en principio, al mismo Río Santiago, después de mezclarlas precisamente con las aguas negras?

¿Nos enorgullecemos de nuestro pasado al recordar que, a mediados del presente siglo se construyó la red de drenaje en el

popular balneario de Chapala, para descargar el producto de dicha red, sin tratamiento alguno, a unos metros de los inocentes bañistas?

¿Y al recordar, más atrás en la historia tapatía, que cerca de Guadalajara existía un bosque y un pequeño lago natural, el Agua Azul, de donde partía el Río San Juan de Dios que atravesaba la ciudad, mismo que fué entubado, convertido en drenaje y transformado en la actual Calzada Independencia, mientras que el bosque fue sustituido por construcciones y avenidas?

¿Forzosamente un águila parada sobre un nopal en un islote del lago de Texcoco, debió dar lugar a una de las más enormes ciudades del mundo, construida precisamente sobre los lagos del Valle de México, con los consiguientes problemas gigantescos tanto para abastecerla de agua limpia como para deshacerse de la residual?

Las respuestas a estas preguntas deberían ser "no", al menos desde un punto de vista de conservación del ambiente natural. Las razones por las que se han llevado a cabo algunas de las acciones descritas en las preguntas anteriores se siguen realizando en la actualidad, son muy variadas y van desde aspectos antropológicos y económicos, hasta argumentos de ingeniería y urbanismo. Sin embargo, conviene tener presente que cada vez que se plantea una solución a un problema -en el pasado o en el futuro- dando prioridad a otros puntos de vista sobre el ambiental, se corre el riesgo de destruir el entorno natural, a veces en forma permanente e irreversible, y esto es más grave a medida que se ven involucradas mayores densidades demográficas. Ya es tiempo de que, como sociedad y como individuos, estemos dispuestos a pagar un poco, con recursos económicos y mediante un cambio en nuestro estilo de vida, para lograr un ambiente más saludable para el hombre y para los demás seres vivos.

Muchas de las tecnologías que se conocen como alternativas tienen como origen y punto de partida ese cuestionamiento de la forma convencional de solucionar un problema, así como la observación de los fenómenos que emplea la Naturaleza para lograr la infinidad de procesos que se realizan en ella.

La fuente de energía que hace posible la inmensa mayoría de los procesos naturales es exclusivamente el Sol. Este produce no sólo la energía necesaria para mantener temperaturas habitables en la Tierra y para el ciclo hidrológico mencionado anteriormente, sino para generar los vientos y las olas del mar, para producir alimentos,

fibras, madera, resinas, solventes y medicamentos por medio de la fotosíntesis que realizan los vegetales y hasta para producir espectáculos naturales como los ocasos, los rayos, las auroras boreales y australes y los espejismos. Quizá por esto el Sol fue adorado como dios en las civilizaciones de la antigüedad. Unos cuantos fenómenos naturales, como la formación de volcanes y géiseres, los terremotos y las mareas, no tienen su origen en la luz del Sol.

Por su misma relación con toda la ecología del planeta, la energía solar es pues una de las más "limpias" que se pueden encontrar: no produce efectos secundarios que alteren gravemente un ambiente que se ha desarrollado a lo largo de millones de años precisamente en presencia de y gracias a la luz del Sol.

Una de las aplicaciones de la energía solar, que puede ser manejada con tecnología simple hasta muy sofisticada, es precisamente la producción de agua potable a partir de agua de mar o de agua dulce que tenga algún problema de contaminación. El principio de operación de la potabilización de agua mediante energía solar es el mismo que el que utiliza la naturaleza en el ciclo hidrológico: se evapora el agua del embalse que tiene presencia de sales y se condensa en otra parte, donde se obtiene agua purificada. Este proceso es fácil de lograr en lo que se conoce como *destilador solar* o más correctamente, *desalador solar*.

El destilador solar fue desarrollado inicialmente para ser aplicado en islas y en general, en regiones áridas localizadas en las costas, para obtener agua potable a partir del agua del mar. Sin embargo, en la búsqueda de tecnología alternativa para suministrar agua potable a pequeñas comunidades rurales -tan pequeñas como una familia, por ejemplo- el destilador solar resulta ser una buena alternativa no sólo para la remoción de sales presentes en el agua, sino para destruir los microorganismos que muchas veces hacen que el agua dulce sea no potable.

La aplicación de los destiladores solares puede extenderse también a la población urbana. En algunas ciudades, como Guadalajara, el sistema para el suministro de agua a cada vivienda consiste en el sistema convencional de aljibe y tinaco. Aun cuando la red municipal suministre agua potable, las posibilidades de que ésta se contamine en el aljibe y/o el tinaco son altas, por las condiciones en que suelen tenerse, por lo que es común que el agua "de la llave" sea bacteriológicamente impotable. Este problema suele atacarse mediante la instalación de "filtros" bactericidas o la

compra de agua embotellada "electropura". En el primer caso, el filtro es incapaz de remover sustancias contaminantes disueltas y en el segundo, la distribución de agua electropura suele ser insuficiente, además del conocido fenómeno de que se vende al público un mayor volumen de agua "purificada" del que oficialmente se produce. Esta situación hace que el destilador solar esté siendo considerado como una buena alternativa para la purificación de agua en viviendas urbanas.

El destilador solar no es un invento reciente. Existe información de que, en el año de 1847 se construyó en Chile un gran sistema de destiladores solares para surtir de agua dulce la operación de una mina de nitrato y dicho sistema operó con éxito al menos durante cuarenta años, suministrando hasta 23 mil litros de agua por día.³

La referencia más antigua que existe sobre el uso de la energía solar en México, para obtención de agua potable, corresponde a 1964. En este año se construyeron en Baja California dos plantas con una capacidad de producción de 28 mil 400 metros cúbicos por día. Este conjunto de desalación solar fue el más grande del mundo a la fecha de su instalación.⁴ Posteriormente, varias instituciones nacionales han hecho investigación y desarrollo tecnológico en el campo de la desalación solar. Utilizando parcialmente tecnología alemana, se han construido también otras plantas desaladoras altamente sofisticadas. Una de éstas se encuentra en La Paz, B.C.S., con una capacidad de 10 metros cúbicos por día.

En la actualidad existen alrededor de cincuenta plantas desaladoras distribuidas en nuestro país.⁵ Estas tienen un uso relativamente amplio en algunas islas y en la península de Baja California, que es una zona de las más soleadas del mundo, pero por su aridez tiene serios problemas en la consecución de agua potable. Los destiladores solares encuentran también aplicación como equipo de norma en algunas balsas salvavidas utilizadas para emergencias en alta mar.

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS DESTILADORES SOLARES

Para entender en qué procesos se basa la destilación solar, haremos una descripción cualitativa de ellos en esta segunda parte. La descripción cuantitativa para algunas aplicaciones, como el modelado y simulación de procesos por computadora, podrá encontrarse en la bibliografía citada al final.

Captación de Energía Solar

La energía solar está compuesta principalmente por luz visible, algo de radiación infrarroja y un pequeño porcentaje de radiación ultravioleta; estas radiaciones son de la misma naturaleza que las demás ondas del espectro electromagnético que incluye los rayos X y las ondas de radio, por ejemplo. La energía solar -la luz del Sol, para fines prácticos- está siendo continuamente emitida desde él hacia sus alrededores y se disipa en el espacio interestelar, con excepción de la pequeñísima fracción que logran interceptar los planetas, satélites y demás cuerpos del Sistema Solar. Es importante entonces, hacer énfasis en que la energía solar siempre está viajando y para aprovecharla hay que "tomarla a la pasada".

Por otro lado, la energía solar, como luz, sirve principalmente para iluminación y para dar energía a la fotosíntesis en los vegetales; otros usos de menor importancia energética son la generación de electricidad mediante celdas fotovoltaicas (que parece ser una buena alternativa para el futuro) y la producción de algunas reacciones químicas, como la empleada en fotografía. Pero quizá la utilización más amplia de la energía solar a través de la tecnología, no sea precisamente en forma de luz, sino mediante la transformación de ésta en otras formas de energía o de efectos producidos por ella. Así, en el caso de un destilador solar del tipo que nos ocupa, se requiere de un elemento que transforme la energía solar en un incremento de temperatura del agua, para poder evaporarla: el *colector solar*.

La radiación visible e infrarroja es absorbida por cualquier superficie de "color" negro mate. De hecho, físicamente el negro no es un color, sino la ausencia del mismo, porque sin importar de qué

color sea la luz que incide sobre un cuerpo negro, éste la absorbe casi completamente; casi no la refleja y por eso se ve negro. Si reflejase únicamente algún color, rojo por ejemplo, el cuerpo se vería rojo al iluminarlo con luz blanca (que es una mezcla de todos los colores) y la luz de los demás colores sería absorbida en su superficie. El acabado mate es usado para lograr una mejor absorción, al evitar la pérdida de una fracción de luz por reflexión.

En los destiladores solares más simples, el colector solar consiste en una charola horizontal, de color negro, que contiene el agua que se quiere destilar -que en adelante llamaremos *destilando*. Véase la figura 1. La superficie negra de la charola absorbe la radiación solar, lo que se traduce en un ligero calentamiento que inmediatamente se transmite al agua. Así, a medida que el Sol sube sobre el horizonte en la mañana, el destilando va aumentando su temperatura hasta llegar a un máximo un poco después del mediodía, para luego enfriarse al ir declinando el Sol.

Para evitar flujos de calor indeseables, es necesario que la charola esté aislada térmicamente por la parte inferior. De lo contrario, parte de la energía captada por el colector se perderá como calor que escapa hacia el ambiente sin haber hecho el efecto buscado. Un destilador bien aislado no se siente caliente al tocarlo por la parte de abajo.

Evaporación del Agua

El calentamiento del destilando da lugar a un incremento en su *presión de vapor*, que es una medida o manifestación de su tendencia a evaporarse. La presión de vapor del agua es mucho mayor que la de las sales minerales, lo que hace que al calentar una solución de agua con sales minerales, aquélla se evapore mientras éstas se quedan en la charola, por lo que se logra una separación eficiente. De aquí que la charola de un destilador solar simple reciba también el nombre de *evaporador*.

Para facilitar la evaporación, conviene que el evaporador tenga un área grande comparada con el volumen de destilando que puede contener. Esta conveniencia coincide con la necesidad de tener también la mayor área posible para colección de energía solar. Por eso, en el destilador simple que estamos describiendo se combinan el colector y el evaporador en un solo elemento: una charola extensa, poco profunda y con acabado negro mate.

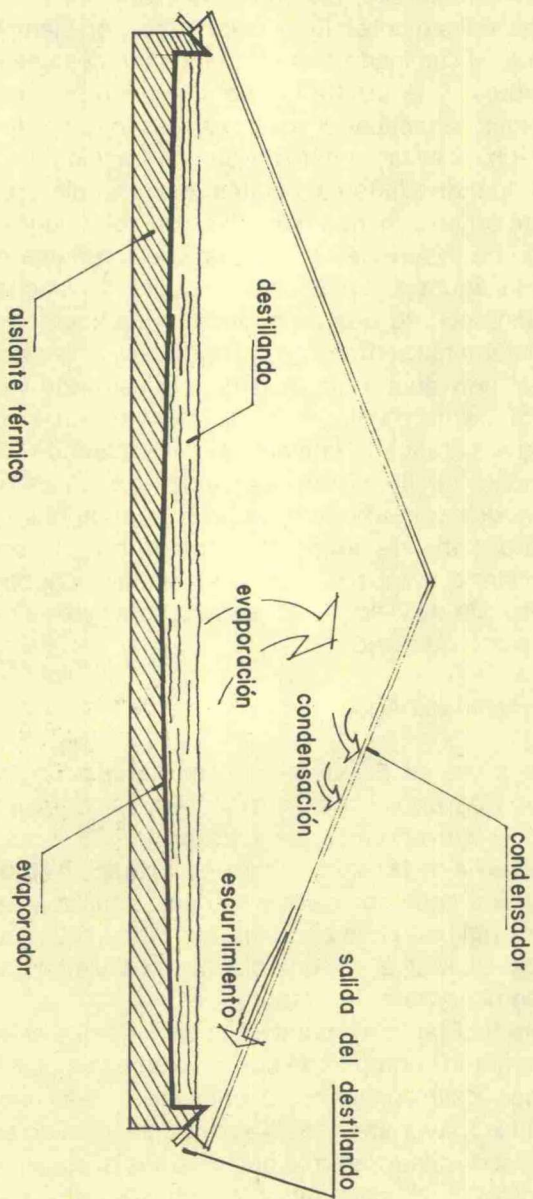


FIGURA No. 1 Diagrama simplificado de un destilador de tipo "caseta".

Condensación del Vapor

Una vez que el agua, libre ya de sales, se encuentra en forma de vapor, es necesario volverla a la fase líquida sobre una superficie limpia para después extraerla del destilador. Esto se logra en lo que se conoce como el *condensador* y generalmente es una cubierta de vidrio o algún otro material transparente que se coloca sobre el evaporador a una distancia e inclinación adecuadas. La figura 1 muestra el arreglo típico de esta clase de destiladores. Nótese que la cubierta debe ser transparente para permitir la llegada de luz hasta el colector-evaporador. Por otro lado, como es transparente, absorbe mucha menos radiación que el colector y como se encuentra en contacto directo con el ambiente su temperatura es menor a la del destilando en la charola, al menos en la etapa diurna. Gracias a esta diferencia de temperaturas que se establece entre el evaporador (temperatura alta) y el condensador (temperatura baja) hay una tendencia neta del agua a evaporarse de la charola y a condensarse en la cubierta transparente.

Existen varios diseños de condensadores. El más simple -el ilustrado en la figura 1- consiste en una caseta de vidrio de dos aguas, con una inclinación de alrededor de 20° respecto a la horizontal. Esto permite que las gotitas de agua condensada escurran hacia abajo en donde puede recogerse en unos canalitos adecuados.

Flujos de Calor

Todas las substancias requieren una cierta cantidad de calor para evaporarse, mismo que *devuelven* íntegramente al condensarse. En nuestro caso esto significa que junto con la transferencia de agua del evaporador al condensador, se produce un flujo neto de calor debido a que el agua lo toma de la charola al evaporarse y lo cede en la cubierta al condensarse. Por tanto, es necesario facilitar que salga calor del sistema a través del condensador. Evitar que el destilador pierda calor por el condensador es equivalente a no permitir que el vapor de agua ceda su calor de vaporización y, por tanto, *prohibirle* que se condense. Entonces, el condensador de un destilador debe sentirse caliente, por lo menos durante la etapa diurna, lo que debe interpretarse como un flujo neto de calor hacia los alrededores.

Desafortunadamente para nuestros fines, al estar el evaporador a alta temperatura y el condensador a otra menor, se favorecen otros flujos de calor del primero al segundo, debido simplemente a esa diferencia de temperaturas. Este calor se pierde, porque en nada contribuye al proceso de la destilación. Al hacer nuevos diseños de destiladores solares, es deseable tener esto en mente para tratar de que del calor total transferido del evaporador al condensador, la mayor parte se deba al proceso de evaporación-condensación y sólo una fracción a los otros flujos de calor *parásitos*, debidos a la radiación infrarroja interna y a la convección del aire en el interior del destilador. La figura 2 muestra esquemáticamente los principales flujos de calor que se establecen en un destilador solar de caseta.

Nótese que, además de las pérdidas de calor antes mencionadas (conducción por el fondo del colector-evaporador; radiación y convección internas) existe otra, inherente al diseño de tipo caseta, que consiste en que no toda la energía solar que incide sobre el destilador llega realmente al colector. Cierta fracción de ésta es reflejada en la cubierta que sirve como condensador, debido a dos causas: primero, todos los materiales transparentes reflejan una parte de la radiación que incide sobre ellos (excepto en películas delgadas, en las que puede darse interferencia; pero no es el caso). Segundo, las gotitas de agua que se forman en el interior de la cubierta, debido precisamente a la condensación, aumentan considerablemente la fracción de energía que es reflejada a los alrededores y que por ello no logra incidir sobre el colector. De estas dos causas, la primera es prácticamente inevitable y la segunda puede combatirse un poco mediante limpiadores mecánicos⁶ o mediante tratamientos en la superficie condensadora para facilitar que se moje y, al condensarse el agua, forme una película continua, en vez de gotas aisladas.

El material de construcción del condensador también es importante para los flujos de calor. El vidrio y algunos plásticos, como los acrílicos y el vinilo, son parcialmente opacos al infrarrojo, lo que aminora las pérdidas por radiación interna: la radiación infrarroja emitida por el evaporador al calentarse, es parcialmente reflejada hacia él por el condensador. En cambio, el uso de otros plásticos, como el polietileno, no produce este efecto por ser transparente no sólo a la luz visible, sino también a la radiación infrarroja.

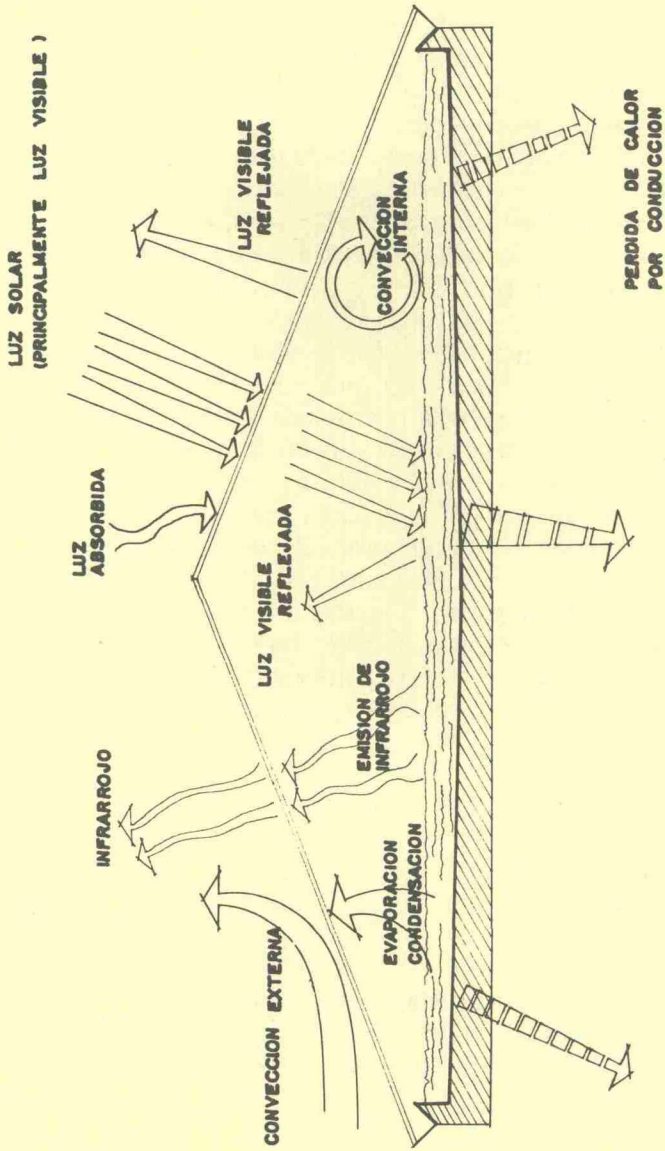


FIGURA No. 2 Principales flujos de calor en un destilador solar.

Eficiencia Térmica y Productividad

Este concepto es útil para comparar el funcionamiento de dos destiladores diferentes o para saber qué tan efectiva es una modificación que se haga, por ejemplo al cambiar los flujos de calor antes mencionados. La *eficiencia térmica* de un destilador se define como el cociente entre el calor necesario para evaporar el volumen de agua que se obtiene como destilado y el calor que recibe del Sol, ambos tomados en un periodo de tiempo dado que suele ser un día. Así, la eficiencia térmica es una medida de la fracción de calor que se emplea realmente en el proceso evaporación-condensación. Una eficiencia de 1.00 significaría que toda la energía solar se emplea en dicho proceso, 0.50 significaría que sólo la mitad se emplea para destilar y la demás se pierde al ambiente.

Otra forma de comparar los funcionamientos de los destiladores es mediante su *productividad*, que suele ser una medida más práctica y desde luego, está relacionada con la eficiencia térmica. La productividad es el volumen de destilado que puede producir un destilador por cada metro cuadrado de colector-evaporador y por cada día de operación. Suele tomarse como dato característico de un destilador su productividad promediada durante un mes o más. La productividad de los destiladores solares de caseta suele ser de alrededor de 3 litros por metro cuadrado por día. En otras variantes simples puede ser de unos 5 litros por metro cuadrado por día y en los más sofisticados, hasta alrededor de 15 ó 20.

Una baja eficiencia térmica o baja productividad pueden deberse no sólo a pérdidas de calor como tal, sino a pérdidas de agua en forma líquida o de vapor. Una fuga de vapor, por ejemplo, implica la salida de agua que ya utilizó energía solar para evaporarse y que no se manifestará como un volumen de agua destilada. Una pérdida de destilando conlleva por lo general una disminución en la eficiencia porque si la fuga se produce durante el día, el destilando se llevará consigo parte del calor solar que el colector había captado y transformado en un incremento de temperatura del mismo. De lo anterior se sigue que es muy necesario que todo el sistema se encuentre perfectamente sellado, excepto por la entrada de destilando y la salida de destilado, que deben estar bien controladas.

Eficiencia de Remoción

Para algunas aplicaciones, principalmente a pequeña escala, no es muy importante tratar de maximizar la eficiencia térmica, porque las pérdidas, de cualquier forma, son pequeñas. Esta adquiere mayor importancia cuando existe limitación de espacio o hay una demanda de agua relativamente grande comparada con el destilador que se tiene.

En cambio, en todos los casos es importante la *eficiencia de remoción* de contaminantes. Si el destilando no tiene contaminantes, es absurdo hacerlo pasar por un destilador o, dicho de otra forma, siempre que se piensa instalar un destilador se da por hecho que el agua que se le va a alimentar tiene alguna contaminación. De aquí que la eficiencia de remoción de un destilador sea un parámetro de importancia.

El problema más general de remoción de contaminantes del agua, puede ser dividido en tres grandes partes: la remoción de material en suspensión; la remoción de sustancias químicas disueltas y la de la contaminación biológica (microorganismos). El destilador solar es práctico solamente para cierta etapa del tratamiento del agua y, específicamente, para remover de ella sustancias poco volátiles, como las sales minerales y para microorganismos, que son destruidos por efecto de las altas temperaturas que se logran en el evaporador. Aun tratándose de estos casos, no es recomendable el uso del destilador para agua con altas cantidades de contaminantes porque, aunque sí podría dar los resultados esperados, requeriría un mantenimiento intensivo para continuar operando correctamente.

En el caso de sustancias con volatilidad mayor que la del agua, el destilador solar también puede funcionar si se construye adecuadamente, aunque no con tan buena eficiencia de remoción como en el caso de sales poco volátiles. Para contaminantes con volatilidad semejante a la del agua, la destilación no es el proceso adecuado para su separación.

Efecto de los Depósitos Salinos

El proceso de evaporación del agua de la charola produce un aumento en la concentración de sales en el destilando (suponiendo que este tipo de sustancia es el que se quiere remover). Este

aumento en concentración produce dos efectos contrarios al proceso de la destilación. Primero, los depósitos de sales sobre el acabado negro mate del colector, lo cambian a un color grisáceo, por lo que pierde su capacidad de absorber al máximo la radiación solar y a medida que se hace más claro, es mayor la fracción de energía que refleja *como luz visible*, es decir, logrando escapar la cubierta transparente. Segundo, la presión de vapor de cualquier solución de substancias poco volátiles (sales minerales, por ejemplo) disminuye a medida que la concentración es mayor, lo que equivale a una menor tendencia a evaporarse a una cierta temperatura o a la necesidad de aumentar más la temperatura para lograr cierta rapidez de evaporación. Esto también se manifiesta en pérdidas que se inducen porque a una cierta diferencia de temperaturas entre el evaporador y el condensador, corresponderá menor fracción del flujo de calor al proceso de evaporación-condensación y en cambio aumentarán los flujos de calor *parásitos* por radiación y convección internas, mencionados anteriormente.

De lo anterior se deducen la conveniencia de hacer purgas frecuentes del destilando concentrado y la necesidad de repintar periódicamente la charola-colector, al menos en el destilador de caseta.

DETALLES PRACTICOS EN LA CONSTRUCCION DE DESTILADORES

Hasta ahora hemos descrito cualitativamente los principales fenómenos fisicoquímicos que suceden en un destilador para que éste cumpla su tarea. En esta parte mencionaremos algunas generalidades de orden práctico que pueden servir de guía para el diseño y construcción de nuevos destiladores solares.

Materiales de Construcción

Los materiales más adecuados para la fabricación de las diversas partes de un destilador solar dependen, por una parte, de la función que debe desempeñar cada elemento en el destilador y, por otra, de los recursos económicos y tecnológicos con que se cuente. En esto hay que tener presente que, si se quiere que el destilador solar sea una alternativa tecnológicamente apropiada, su diseño debe tener en cuenta los recursos con los que se puede contar para construirlo y para darle mantenimiento, así como las condiciones de uso en las que se va a encontrar.

En un destilador como el de la figura 1, la charola (colector-evaporador) puede ser construida de diversos materiales, con tal que sean resistentes al agua y a la temperatura de unos 80°C. Se han construido colectores-evaporadores de lámina de hierro, de plástico reforzado con fibra de vidrio, de mampostería, de madera, de ferrocemento, etc.

La lámina de hierro tiene la ventaja de sus buenas propiedades mecánicas (no se deforma con las temperaturas del destilador) pero en cambio es de fácil corrosión y, por ser el hierro buen conductor, propicia las fugas de calor. Estas características deben ser tomadas en cuenta para lograr un buen diseño y operación. Los plásticos reforzados con fibra de vidrio (conocidos simplemente como "fibra de vidrio") dan buen resultado si se toman ciertas precauciones al momento de la construcción: proteger el plástico de la luz solar (mediante pigmentos y pinturas o utilizando un plástico que no sea destruido por la radiación solar) y reforzarlo suficientemente para evitar deformaciones por efecto de la temperatura. La construcción de mampostería puede ser una buena alternativa en situaciones

donde los materiales anteriores no pueden ser utilizados; cuando se piensa que nunca habrá que reubicar el destilador o si se requiere un equipo de dimensiones tan grandes que sea más práctica su construcción con este tipo de materiales, que con los otros mencionados.

Un colector-evaporador de madera deberá ser construido sólo si es la única alternativa en cuanto a material de construcción, porque ésta se deforma y cambia sus dimensiones apreciablemente a causa de la humedad y la temperatura, además de que fácilmente se pudre en las condiciones de trabajo de un destilador. Desde luego, un buen recubrimiento para la madera puede solucionar este problema, y en esto los plásticos reforzados con fibra de vidrio (poliéster o epoxi son los más comunes) son una buena alternativa. El colector-evaporador puede construirse de ferrocemento cuando se requieren economía y gran durabilidad, combinadas con una cierta facilidad para reubicar eventualmente el destilador.

El condensador tiene requerimientos mecánicos y térmicos muy diferentes al colector-evaporador. En un diseño convencional (de caseta) idealmente debería ser transparente a la luz visible, opaco al infrarrojo y buen conductor del calor, para facilitar la salida del calor que cede el vapor al condensarse. Sin embargo, éstos son requerimientos difíciles de conciliar perfectamente. El material que mejor los cumple es el vidrio, excepto en que no es muy buen conductor del calor (aunque tampoco es un aislante térmico) y, por otro lado, es relativamente frágil. Algunos plásticos se han usado con éxito, como el acrílico, con la desventaja de que se raya fácilmente por lo que disminuye su transparencia a la luz visible. Otros plásticos, como el polietileno, el polivinilo y el poliéster, que pueden fabricarse más o menos transparentes a la luz visible, tienen el defecto de que fácilmente son destruidos por la radiación solar, por lo que no pueden usarse durante períodos de tiempo largos. Además, también tienden a opacarse por efecto de la luz solar.

Los aislantes térmicos en las partes adecuadas del destilador también son muy importantes. El calor es una forma de energía que fluye sin ser vista, por lo que existen pérdidas de calor difíciles de percibir, a menos que se cuente con instrumentos adecuados o con cierta experiencia en este campo. Un aislante térmico dificulta el flujo de calor su través, por lo que éste "prefiere" el camino más fácil. Mediante aislantes térmicos en ciertas partes del destilador es posible disminuir las pérdidas de calor que no producen destilado. Los mejores aislantes térmicos son aquellos materiales que tienen

gran cantidad de algún gas (aire, por ejemplo) atrapado en su interior. Son muy buenos aislantes el corcho y las espumas sólidas de diversos materiales plásticos, como polietileno, poliuretano y poliestireno (este último, conocido erróneamente como "hielo seco", es utilizado para plafones). También son buenos aislantes el aserrín, la colchoneta de fibra de vidrio, el cartón corrugado y el papel en capas. En general, muchos sólidos no metálicos podrían funcionar como aislantes y lo harán mejor cuanto menor sea su densidad y mayor su espesor. Si algún aislante es colocado en el interior del destilador o a la intemperie, es importante protegerlo de la humedad. Algunos aislantes del tipo espuma sólida o a base de fibras, pueden absorber grandes cantidades de humedad que llena los huecos que antes contuvieron gas, lo que les hace perder, al menos parcialmente, su propiedad de aislantes térmicos.

Para sellar algunas partes del destilador, especialmente las partes de vidrio, es muy útil el adhesivo de silicón. También es posible utilizar mastique, aunque es menos recomendable.

Por último, el material de los ductos que se utilicen para llevar agua destilada hasta algún recipiente almacén, es también importante. Puede ser tubería de cobre o manguera de plástico. Sin embargo, algunos plásticos, además de su poca resistencia a la intemperie antes mencionada, dan al agua cierto sabor desagradable. Este problema tiende a desaparecer con el uso del destilador, pero hay que tenerlo presente. Lo más recomendable para este fin parece ser la tubería de cobre.

Inclinación del Condensador

En el destilador de caseta, la inclinación del condensador es producto de un compromiso entre dos factores opuestos. Por un lado, la cantidad ideal de aire contenido es el mínimo posible, lo que se lograría con un condensador horizontal y cercano a la superficie de evaporación. Con esto se evitarían pérdidas de energía empleada en calentar el aire y en moverlo por convección en el interior del destilador; energía ésta que no se traduce directamente en la obtención de agua destilada. Por otro lado, para que el agua que se condensó escurra hacia donde se va a coleccionar y no vuelva a caer sobre el evaporador, lo ideal sería tener la máxima inclinación posible. Algunos autores han reportado como inclinación óptima para el condensador (de vidrio) entre 20 y 30° respecto a la horizontal.⁷ Otros mencionan que 12° es lo menos inclinado que puede

construirse un condensador, sin que el destilado se desprenda de él. Aunque las dimensiones del condensador y la consistencia de su superficie pueden influir en el ángulo óptimo, lo más recomendable es quizá unos 20° respecto a la horizontal. Desde luego, pueden plantearse otros diseños, como se verá en la cuarta parte de este trabajo, que resuelven de otras formas el problema del contenido de aire dentro del destilador.

Alimentación del Destilando

Como se mencionó anteriormente, es conveniente que el destilando que alimenta al destilador no esté demasiado contaminado, a menos que se esté dispuesto a dar al destilador un mantenimiento intensivo.

El destilador común de caseta destila, en días soleados, entre 3 y 5 litros diarios, por cada metro cuadrado de colector-evaporador. Esto equivale a una disminución en la profundidad de destilando de 0.3 a 0.5 cm por cada día, lo que implica que, si la profundidad de destilando que la charola puede contener es de algunos centímetros, no es necesaria la alimentación continua, sino que puede ser una vez al día o varios días. Esta forma de operación, *discreta* o *por lotes* es práctica cuando la alimentación se hace manualmente. Si se prefiere una alimentación automática, puede usarse un flotador común para el control del nivel, ya sea en el interior del destilador o mediante un tanque externo conectado al evaporador por vasos comunicantes. En el primer caso es importante construir el evaporador de tal forma que el flotador pueda tener cierto movimiento vertical para que realmente controle el nivel del líquido, lo que se logra dando a la charola mayor profundidad que la necesaria estrictamente para que cumpla como evaporador. Esto puede hacerse en toda la charola o en una pequeña porción, suficiente para dar movilidad al flotador.

Separación entre Destilando y Destilado

La función del destilador solar es la de retirar del agua contaminada (destilando) las substancias extrañas que contiene, para obtener agua purificada (destilado). Como el destilando y el destilado coexisten en un mismo ambiente dentro del destilador, en algunos casos es fácil que se mezclen. Si parte del destilado cae en el destilando, se disminuyen la eficiencia térmica y la productividad,

lo cual no es deseable, pero no es tan grave como el caso opuesto: si parte del destilando se mezcla con el destilado, se obtendrá un producto contaminado, lo cual es casi siempre difícil de detectar en el uso común de un destilador, a menos que se cuente con equipo adecuado para ello.

Es importante entonces que durante el diseño y construcción del destilador se prevea que no puedan ocurrir goteos, escurrimientos, salpicaduras, inundaciones u otros procesos que causen contaminación del destilado. Una forma simple de lograr esto -no utilizable en todos los diseños- es que el destilado, al escurrir por el condensador y por los canalitos colectores, siempre se encuentre a una altura mayor que el destilando, para evitar que por gravedad el destilando pueda mezclarse con el destilado. Otro detalle importante es que el destilando se alimente lentamente para que no existan salpicaduras internas durante el proceso de alimentación.

Remineralización del Destilado

Algunas personas opinan que el agua destilada es de mal sabor e im potable. Esto es falso en el caso de un destilador solar. El agua destilada no tiene sabor alguno; sin embargo, por su alta pureza, es ávida de disolver y absorber diversas sustancias en mayor grado que cuando tiene impurezas. Debido a esta propiedad, es fácil que el agua destilada adquiera el sabor de alguna sustancia con la que tenga contacto. Por ello, en otros procesos de destilación, el agua adquiere un "sabor a alambique". En el destilador solar, en cambio, la destilación se lleva a cabo en presencia de aire, por lo que el destilado contiene aire disuelto que le da buen sabor.

La presencia de algunas sales en cantidades muy pequeñas también contribuye a que el agua tenga un sabor agradable. La calificación de *agradable* es, empero, subjetiva: el agua potable en las regiones costeras es mucho más salobre que en los lugares altos. El objetivo de un destilador solar es quitar del agua las sales disueltas. Sin embargo, es posible y razonable remineralizar el agua para modificarle su sabor, siempre que esta operación no la contamine más allá de ciertos límites. Uno de los métodos para remineralizar el agua consiste en recibir el destilado en un cántaro de barro, permitirle en él un tiempo de residencia y luego extraerla para su uso. Esta operación incorpora al agua algunos iones disueltos, principalmente sodio, potasio y calcio.⁸ Con esto se obtiene *agua de cántaro* que, al menos en nuestro medio, es muy

aceptada. Sólo hay que tener presente que existen algunos objetos de cerámica con contenido de plomo y otros minerales tóxicos, que no deben emplearse para la remineralización del agua. (Desde luego, tampoco deberían utilizarse para manejo de alimentos; únicamente para decoración).

En ciertos casos, el agua destilada tiende a adquirir el sabor del plástico de las mangueras por las que es conducida, así como el de las pinturas que se utilicen en el interior del destilador: ambos problemas desaparecen con el tiempo y con el uso del destilador.

ALGUNOS PROTOTIPOS EXPERIMENTALES

Después de haber descrito los principios de funcionamiento y algunos detalles prácticos sobre el diseño y construcción de destiladores solares, mencionaremos con más detalle algunos de los prototipos que han sido construidos y experimentados en el ITESO y en algunos otros centros de investigación.

Destilador de Tipo Caseta

Recibe este nombre el destilador solar clásico al que hemos estado haciendo referencia en el presente trabajo. Consiste pues, en una charola extensa que contiene el destilando, bajo una cubierta que suele ser de *dos aguas* (de donde recibe el distintivo *de caseta*) que funciona como condensador. Es el destilador más sencillo de construir y operar, aunque no el más eficiente, si se compara con otros más sofisticados. El destilador de caseta es el más adecuado para suministrar pequeños volúmenes de agua destilada, por ejemplo a escala familiar, si se está en posibilidad de darle mantenimiento unas dos veces al año (la frecuencia con que debe repintarse el colector depende del tipo de sustancias que traiga el agua y de su concentración).

La figura 3 muestra una vista isométrica de un destilador de caseta típico para satisfacer las necesidades de agua potable de una familia pequeña. En este prototipo, el condensador es de vidrio de 3 mm de espesor y el resto del destilador es de lámina de hierro galvanizada. Como aislante térmico se emplea espuma de poliestireno. La alimentación se hace mediante un flotador ordinario para aljibe o tinaco.

El prototipo mostrado se encuentra soportado por una estructura. Esto es práctico cuando se instala un destilador a nivel del suelo, para que el destilado salga por gravedad. Si se instala en una azotea, puede ahorrarse dicha estructura, previendo que el destilado tenga una salida adecuada. En el caso de destiladores construidos de mampostería, esta consideración adquiere mayor importancia.

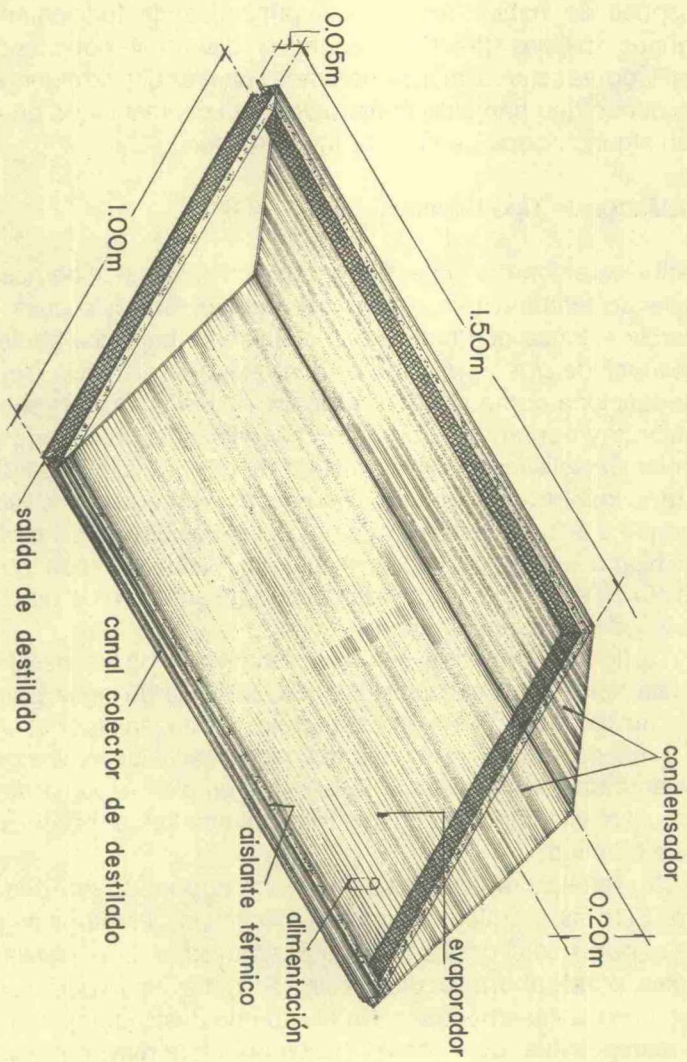


FIGURA No. 3 Vista isométrica de un destilador de caseta.

Algunas variantes al destilador de caseta consisten en hacer el condensador *de un agua*, en forma de pirámide o en forma de prisma, como el de la figura 3, pero con las cuatro caras de vidrio. Sin embargo, se ha observado que el condensador más práctico, por su facilidad de construcción, es el ilustrado en esa figura.

Destilador de Tipo Escalera

Este destilador, mostrado en corte en la figura 4, fue desarrollado en el ITESO⁹ como una alternativa al destilador de caseta, tratando de superar su productividad y su eficiencia térmica.

Como, puede verse en la figura 4, el colector-evaporador consiste en varias charolas a diferentes niveles, unidas por paneles verticales, que en conjunto forman una "escalera". Por ello, el área efectiva de colección de energía solar es mayor que si se tuviera únicamente una charola horizontal (especialmente en invierno, cuando el Sol se encuentra más al sur, si el destilador se orienta hacia ese punto). Además, la posición inclinada de todo el destilador facilita en principio la convección del aire húmedo en su interior, que sube por la parte de arriba al ser calentado por el colector y baja por la parte inferior al enfriarse. De esta forma, se tiene un patrón de flujo del aire más espontáneo que en el destilador de caseta, que facilita la transferencia del vapor de agua del evaporador al condensador. Otra cualidad del destilador de escalera es que puede construirse de forma que contenga menos aire en su interior, comparado con uno de caseta. Debido a esto, se emplea menos energía del Sol para mover el aire en su interior. Por último, como la parte de abajo se construye de lámina metálica, al igual que el resto del destilador, ésta tiene la capacidad de transferir calor, por lo que también funciona como condensador. Así, el destilador de escalera tiene mayor área de colección de energía solar y de condensación del vapor que uno de caseta del mismo tamaño exterior, por lo que su productividad es mayor en un 30%¹⁰.

La alimentación de un destilador de escalera se hace "en cascada", alimentando el destilando a la charola superior y dejando que, cuando se llene, derrame hacia la inmediata inferior. Esto sucede en cada charola, hasta llegar a la de más abajo, la cual derrama por un conducto hacia el exterior del destilador. El proceso de alimentación y control de niveles es por esto más complicado que en uno de caseta y más propenso a producir contaminación del

destilado, pues es fácil que existan escurrimientos y salpicaduras hacia el destilado que se obtiene en la parte de abajo.

Otra ventaja del destilador de escalera respecto al de caseta, es que tiene una sola superficie de vidrio, por lo que es más fácil obtener un sello perfecto entre el vidrio y el resto del destilador y así evitar fugas de vapor.

Un diseño alternativo de destilador de escalera ha sido reportado en la bibliografía¹¹. Es muy semejante al que acabamos de describir, con la diferencia de que no tiene el ducto formado entre la escalera y la parte inferior del destilador. Con esta modificación, la parte inferior del destilador no se tiene disponible para condensación, por lo que su funcionamiento debe ser algo diferente del aquí descrito.

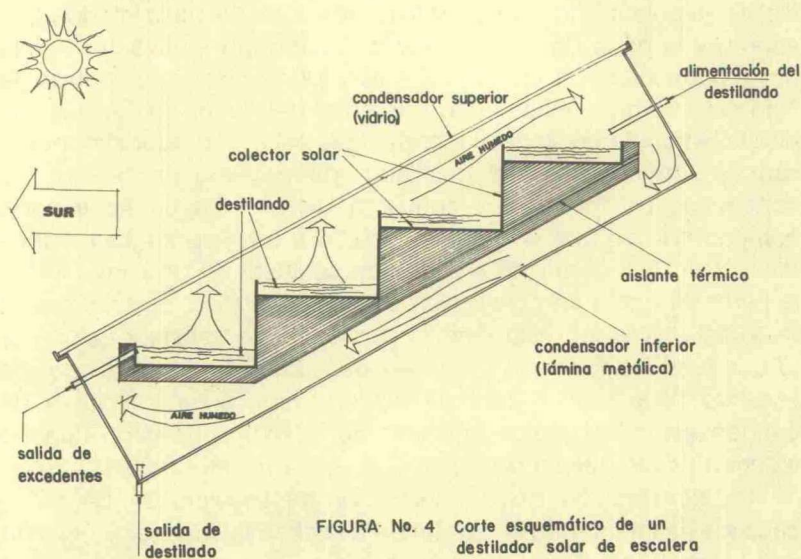


FIGURA No. 4 Corte esquemático de un destilador solar de escalera

Destilador con Evaporador de Tela

La conveniencia de tener un colector solar inclinado hacia el sur (en el hemisferio norte), sobre todo en localidades más al norte del Trópico de Cáncer, ha hecho que algunos investigadores desarrollen colectores- evaporadores para destilación solar que puedan trabajar en esa posición. Esto se logra, como se mencionó anteriormente, en el destilador de tipo escalera.

Otra forma de tener un colector- evaporador inclinado se muestra en la figura 5. En este tipo de destilador, se tiene una placa inclinada que soporta una tela de alguna fibra que se moje fácilmente. La tela se tiñe de negro y es la que hace propiamente las veces de colector solar. Mediante un depósito de destilando en la parte superior o inferior, o ambos, la tela se mantiene permanentemente húmeda, desde donde se evapora el agua por efecto del calor solar, para condensarse en la cubierta de vidrio, que en este diseño puede estar muy cerca del evaporador, minimizando así el contenido de aire.

Los resultados obtenidos mediante este tipo de destiladores han sido muy variados. Algunos autores han reportado eficiencias altas y otros, por el contrario, bastante bajas. Aunque la idea es ingeniosa en principio, la aplicación de este diseño de destilador a la purificación de agua con cierto contenido de sales es más problemática que en uno de evaporador tipo charola, porque a medida que el destilando se evapora deja las sales en la fibra, por lo que ésta perderá su capacidad para absorberlo, haciéndose cada vez menos eficiente. Aunque en los demás destiladores se tiene un efecto parecido, en aquéllos se soluciona mediante una purga de destilando o mediante la limpieza de la charola, mientras que en el de evaporador de tela, se piensa más bien en cambiar la tela, con el consiguiente costo y desperdicio de recursos.

Sin embargo, el destilador con evaporador de tela no ha sido suficientemente desarrollado y experimentado como para tener una opinión definitiva a favor o en contra.

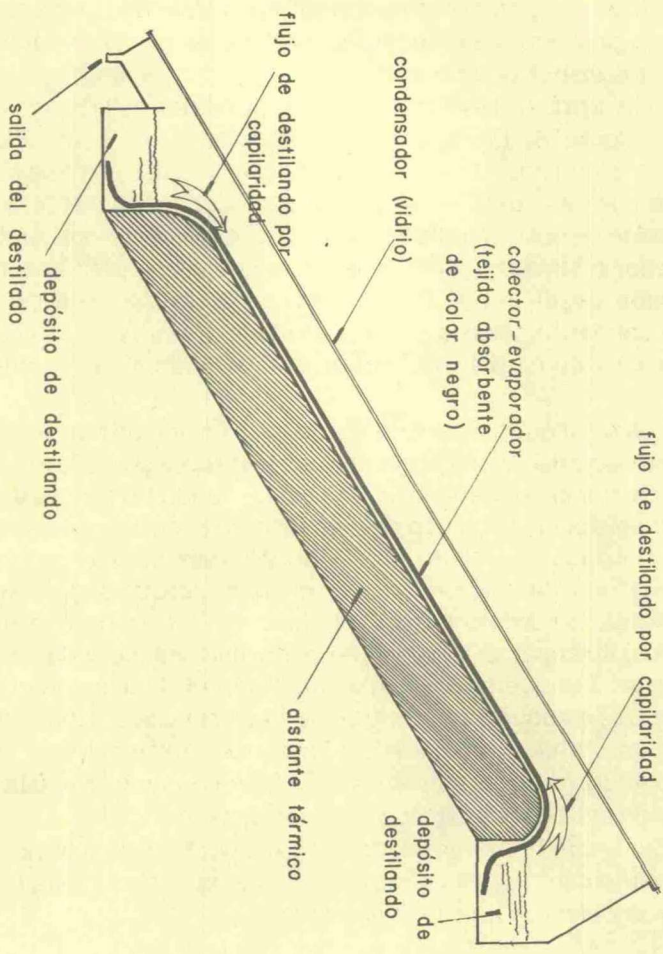


FIGURA No. 5 Destilador con evaporador de tela.

Destilador con Colector Solar Auxiliar

Como se mencionó en la segunda parte del trabajo, el colector solar de un destilador como el de caseta está sujeto a condiciones de trabajo que lo hacen menos eficiente que lo que se logra en otros implementos solares. Para evitar esta deficiencia, se ha desarrollado otro diseño de destilador, en el cual la energía solar es captada mediante un colector solar como el que se emplea, por ejemplo, en un calentador solar para agua. El agua que se calienta en este colector es transferida, por ejemplo, a un destilador solar de tipo caseta. Así se tiene en principio un destilador ordinario pero con área extra para la colección de energía solar, con la ventaja de que esa área extra no pierde cualidades a medida que se evapora el agua de la charola ni por efecto del vapor que se condensa en la cubierta. Este destilador se encuentra ilustrado en la figura 6.

Por lo anterior, el destilador solar con colector auxiliar tiene dos ventajas principales. Primero, menor necesidad de mantenimiento debido al depósito de sales en la charola, porque esto no degrada el colector. Segundo, una mejor eficiencia y productividad a lo largo del tiempo, por la misma razón.

Sin embargo, tener un colector separado de lo que es la unidad de evaporación-condensación puede facilitar las pérdidas de calor, por lo que es de suma importancia que los ductos que interconectan el colector con el destilador estén perfectamente aislados. De lo contrario no será posible superar la eficiencia de un destilador de caseta.

Una variante del destilador con colector auxiliar consiste en construir la unidad de evaporación-condensación para que se optimicen los flujos de calor hacia fuera del destilador, de tal forma que la mayor fracción de estos se deba al flujo por la evaporación-condensación y se minimicen los flujos por radiación y convección interna. En esta variante, puede suceder que el condensador sea metálico y por tanto no deje pasar la luz solar. En este caso, el colector solar ya no opera como auxiliar, sino como la única área de captación de energía para el sistema.

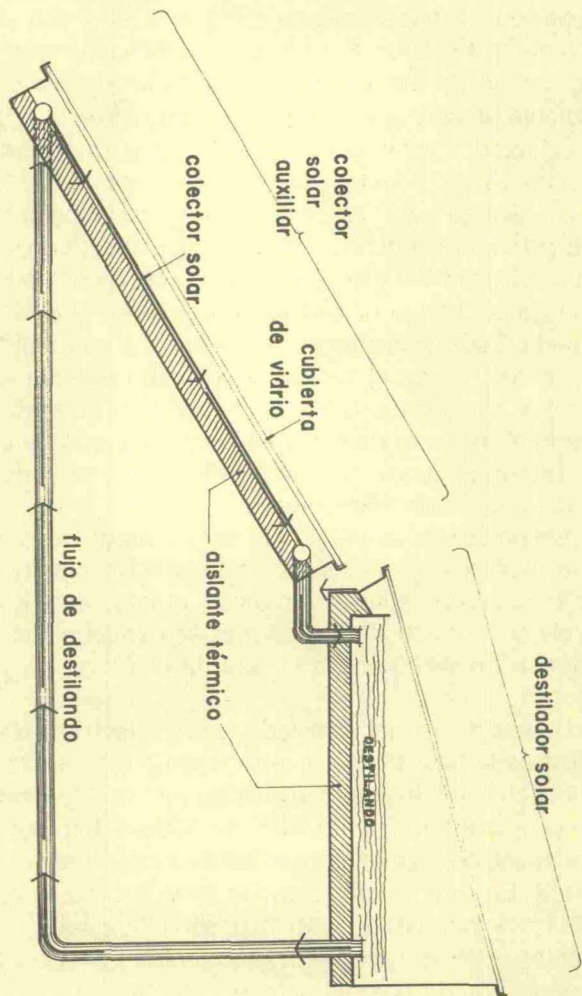


FIGURA No. 6 Diagrama de un destilador con colector auxiliar.

Destilador de Múltiple Efecto

Como se explicó anteriormente, el calor que cede el vapor de agua al condensarse, se disipa al medio ambiente a través del condensador. Desde un punto de vista, dejar escapar ese calor sin que evapore más agua, es un desperdicio. Sin embargo, por limitaciones de índole termodinámica, es imposible devolver ese calor al mismo destilando para que produzca más evaporación. Sin embargo, un ingenioso arreglo, conocido como "múltiple efecto", permite hacer uso de ese calor antes de cederlo al medio ambiente.

La figura 7 muestra un posible diseño para un destilador con múltiple efecto. El principio de funcionamiento consiste en tener varias charolas, cada una a diferente temperatura, de tal forma que el calor fluye del colector a la charola más caliente y ahí produce el efecto de evaporación deseado. El condensador de la primera charola no cede el calor al ambiente, sino a la segunda charola, que se encuentra a una temperatura un poco menor (lo cual es necesario para que realmente exista un flujo de calor). Esto produce la evaporación en la segunda charola, con el consiguiente flujo de calor hacia su condensador, el cual lo cede hacia la tercera charola que, de nuevo, se encuentra a una temperatura un poco menor. De esta forma, es posible producir un volumen mucho mayor de agua destilada por cada caloría que se recibe del Sol, porque se aprovecha varias veces. Por supuesto, tampoco es posible tener una serie de evaporadores-condensadores demasiado grande, porque el último condensador debe tener también una temperatura más alta que la del ambiente para poder ceder calor a éste.

Las eficiencias y productividades logradas con destiladores solares de múltiple efecto son mucho mayores que las que se logran con un destilador de caseta, pero en cambio tienen el aspecto relativamente complejo de alimentar y mantener el nivel de varios evaporadores.

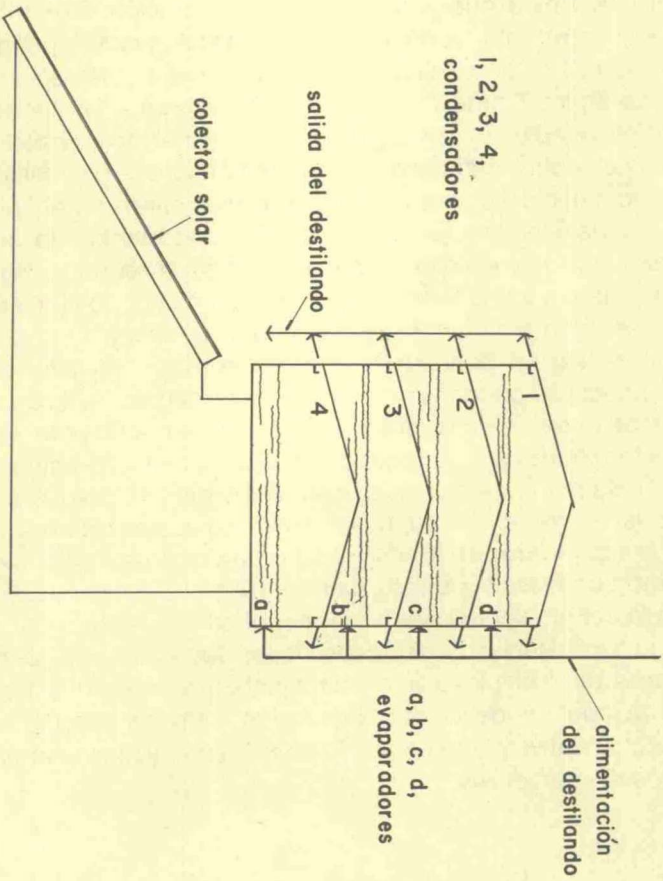


FIGURA No. 7 Destilador solar de múltiple efecto.

Destilador Solar Esférico

Algunos investigadores citados (Bernard y Barrera), han ideado y experimentado un destilador que elimina parcialmente el problema de la luz reflejada por las gotitas de agua que se forman en el condensador de vidrio de un destilador solar ordinario. El colector evaporador de este destilador es parecido al de un destilador de caseta. En cambio, el condensador consiste en un domo esférico o semiesférico, generalmente de material acrílico, que tiene en su parte superior un motor eléctrico pequeño que hace girar continua o intermitentemente un elemento limpiador semejante a los que se utilizan en los parabrisas de los automóviles. Este aditamento permite forzar el escurrimiento de las gotitas de condensado y por ello tener una mejor colección de energía solar.

Los problemas principales que se han encontrado con estos destiladores son el requerimiento de una fuente de energía extra, aunque pequeña, para mover el motor del limpiador y el hecho de que el material acrílico se raya por el efecto mecánico del elemento limpiador.

CONCLUSION

El agua potable es un recurso indispensable en cualquier comunidad humana. Obtenerla y distribuirla es un problema que aparece a lo largo y ancho de nuestro país, en las pequeñas comunidades rurales, hasta en las grandes concentraciones urbanas. En base a las experiencias desarrolladas por el Grupo Solar del ITESO y por otros investigadores -algo de ello escrito en este trabajo- podemos afirmar que la destilación solar es una alternativa económica y confiable para solucionar este problema, si no a nivel macroscópico, sí en pequeña escala y en muchos casos concretos.

Hemos descrito los principios de funcionamiento y los detalles de orden técnico que son importantes en el diseño y construcción de destiladores solares. El lector habrá notado que, con el enfoque que hemos dado, la tecnología requerida para llevar a cabo la destilación solar es relativamente simple y aplicable tanto en el campo como en la ciudad.

REFERENCIAS

1. Malik, M.A.S. et al., *Solar Distillation*, Pergamon Press, 1a. ed., 1982. p.1.
2. Cienfuentes, Juan Luis, Torres, María del Pilar y Frías, Marcela. *El Océano y sus Recursos. II. Las Ciencias del Mar: Oceanografía Geológica y Oceanografía Química*. SEP, FCE y CONACYT, Colección La Ciencia desde México, No. 12. 1986. p. 125.
3. Meinel, Aden B. y Meinel, Marjorie P., *Applied Solar Energy*. Addison-Wesley, 4a. impresión, 1979. p. 9.
4. Barrera C.E., Valdés, P.A., y Lugo, L.R., *Construcción y Pruebas de un Destilador Solar Esférico*, Memorias de la XI Reunión Nacional de Energía Solar, Villahermosa, Tab., 1987.
5. Ibidem.
6. Bernard, Roger, Menguy, Gilbert y Schwartz, Marcel, *La Radiación Solar. Conversión Térmica y Aplicaciones*, Editorial Lavoisier, París, 1982. p. 156.
7. *Energía Solar, Cartilla #4, Destilación Solar*, SAHOP, 1979. p. 9.
8. Hermosillo, Juan Jorge, *Los Destiladores Solares en la Obtención de Agua Potable*, Tesis Profesional, ITESO, 1983.
9. Alvarado, Ramón y Hermosillo, Juan Jorge, *Utilización de Destiladores Solares para Obtención de Agua Potable a Escala Familiar*, Memorias de la VII Reunión Nacional de Energía Solar, Saltillo, Coah., 1983.
10. Alvarado, Ramón y Hermosillo, Juan Jorge. *Destilador Solar por Convección Natural*, Memorias de la IX Reunión Nacional de Energía Solar, Mérida, Yuc., 1985.
11. Malik, M.A.S. et al. *op. cit.*, p.72.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

Además de los trabajos citados como referencias, mencionaremos algunos libros que tratan, al menos parcialmente, el tema de la destilación solar.

- ANDERSON, Edward E. *Fundamentals of Solar Energy Conversion*. Addison-Wesley, 1983.
- BRINKWORTH, B. J. *Energía Solar para el Hombre*. H. Blume Ediciones, 1981.
- DANIELS, Farrington. *Uso Directo de la Energía Solar*. H. Blume Ediciones, 1977.
- DUFFIE, John A. y Beckman, William A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley and Sons, 1980.
- HOWE, Everett D., Tleimat, Badawi W. y Laird, Alan D. K., *Solar Distillation*. University of California. College of Engineering. Sea Water Conversion Laboratory.
- MESSEL, H. y Butler, T. *Solar Energy*, Pergamon Press, 1975.

COLECCION HUELLA

- Número 1 *Ecología urbana*
Diana Ortega
- Número 2 *La comunicación interpersonal como modelo teórico de las comunicaciones humanas*
Juan José Coronado
- Número 3 *Ideología y programa de Gobierno en los discursos de toma de posesión de los presidentes de México 1928-1982*
Jesús Orozco
Francisco J. Núñez
- Número 4 *Investigaciones en proceso ITESO 1982-1983*
Cristina Padilla
- Número 5 *Partidos políticos y cuestiones agrarias*
Teresa González Corvera
Carlos Felipe Ruiz Sahagún
- Número 6-7 *Universidad y campo*
Varios autores
- Número 8 *Leopoldo Solís y su contribución al estudio de los problemas económicos de México*
Francisco J. Núñez
Elena Torres
Gerardo Cruz
- Número 9 *Orígenes de la radiodifusión en México*
Enrique E. Sánchez Ruiz
- Número 10 *Horno solar para secar madera en la sierra huichola*
Gerhard Kunze
- Número 11 *Dirección y organización del trabajo en México: la visión transnacional*
José de la Cerda Gastélum
- Número 12 *La construcción informativa del acontecer*
El terremoto de México en los diarios de Lima
Raúl Fuentes Navarro
- Número 13 *La religiosidad universitaria. El caso de Jalisco*
Pablo Lasso Gómez
- Número 14 *El significado sociocultural de las nuevas tecnologías de comunicación*
Carlos Corrales Díaz
- Número 15 *Los caminos de la semiótica (ortodoxos y liberales)*
Xavier Gómez Robledo
- Número 16 *Destilación solar*
Juan Jorge Hermosillo
- Número 17 *Algunas condiciones para la investigación científica de la comunicación en México*
Raúl Fuentes Navarro
Enrique E. Sánchez Ruiz

Esta edición consta
de 500 ejemplares y se terminó
de imprimir en octubre de 1989.
La edición estuvo a cargo de
Cecilia Herrera de Félix,
Departamento de Extensión Universitaria
del ITESO.

16

El empleo de la energía solar para la purificación de agua para hacerla potable es una alternativa viable a pequeña escala, tanto desde el punto de vista energético como de ingeniería sanitaria. Este cuaderno Huella presenta los puntos más importantes acerca del diseño y construcción de pequeños destiladores solares para la obtención de agua potable, con base en proyectos desarrollados en el Departamento de Energía y Ecología del ITESO.

Juan Jorge Hermosillo es Ingeniero Químico por el ITESO, de donde egresó en 1981. Posteriormente cursó la Maestría en Ciencias en el área de Ingeniería Química, en la Universidad de Guadalajara. Es profesor investigador titular del Departamento de Energía y Ecología de la División de Ingeniería del ITESO, imparte las cátedras de Termodinámica y Fisicoquímica en el área de Química de la misma institución. Ha trabajado en el desarrollo de tecnología intermedia para la cuantificación y el aprovechamiento de la energía solar, especialmente en el área de obtención de agua potable mediante destiladores solares. Sus trabajos sobre estos temas han sido presentados en diversos foros nacionales.