

Aplicaciones de la energía solar en diferentes procesos agrícolas e industriales*

*Sergio Agudelo Florez***, *Alexánder Pineda Ríos****

(Recibido el 25 de febrero de 2002)

Resumen

Las tecnologías concernientes al aprovechamiento de la energía solar térmica permiten, ahora, ofrecer mucho más que el simple calentamiento de agua para uso doméstico. El presente artículo muestra algunas aplicaciones de sistemas solares que pueden brindar nuevas alternativas en procesos de calentamiento para muchos y variados requerimientos ya sean agrícolas o industriales, por ejemplo para el secado de cosechas; para la potabilización de agua, al destruir contaminantes presentes en ella, y para la fabricación de materiales avanzados, entre otros.

----- *Palabras clave:* energía solar, sistemas de calentamiento, insolución, destoxificación.

Solar energy applications in different agricultural and Industrial processes

Abstract

Solar thermal technology can offer so much more than just domestic hot water, In this paper it is shown some solar system that can provide process heat for many industrial and agricultural requirements, for example can dry crops, extract potable water from brackish or saline supplies, destroy hazardous contaminants and be used in the manufacture of advanced material.

----- *Key words:* solar energy, heat systems, insolation, storage.

* Documento extraído de la ISES position papers. Internacional Solar Energy Society.

** Coordinador Grupo de Energía Alternativa (GEA).

*** Estudiante de Ingeniería Mecánica. Integrante GEA.

Introducción

Los sistemas solares empleados para procesos de calentamiento son, en estos momentos, tecnologías altamente estudiadas que han avanzado considerablemente en los últimos tiempos, las cuales resultan económicamente viables en muchos aspectos. Los objetivos que persiguen las investigaciones más recientes en el uso de la energía solar para diferentes aplicaciones son los de poder reducir los costos de éstas a partir de técnicas más refinadas y usar nuevos y mejores materiales.

Obtención de agua caliente para procesos industriales

La obtención de agua caliente para su uso en diferentes procesos industriales a partir de la energía solar, es una tecnología avanzada, cuyos planes, diseños y conceptos tecnológicos en general se han desarrollado y están bien entendidos en estos momentos. Aunque la adopción de este tipo de tecnologías es económicamente viable, está limitada por factores no técnicos, como son la disponibilidad de inversión, el mercado, las estructuras comerciales y el conocimiento por parte del interesado de estas tecnologías alternativas. Existen ejemplos exitosos de sistemas de calentamiento que emplean energía solar. Uno de ellos se encuentra en Egipto, cerca de El Cairo, donde una planta para el procesamiento de aves de corral utiliza un sistema solar térmico para el calentamiento del agua que se requiere en los diferentes procesos de la planta. Este sistema alternativo fue instalado en 1991 y lo proporciona la mitad de los 63,6 m³ de agua precalentada usados cada día; el resto del suministro de agua caliente lo proporciona un sistema convencional de vapor que utiliza gas licuado del petróleo (GLP). El sistema solar mencionado usa 361,6 m² de colectores planos que se encuentran en un 37% de su carga anual de 3.028 GJ, con una eficiencia del sistema de un 50%, aproximadamente, para un día promedio.

Otro ejemplo para citar se encuentra en Arizona (EE.UU.), donde una fábrica que elabora lámi-

nas de cobre utiliza, dentro de sus procesos, un sistema para calentar agua mediante colectores concentradores cilíndrico-parabólicos, como se muestra en la figura 1. El sistema emplea un área de apertura total de 5.619 m², distribuidos en cuatrocientos treinta y dos canales parabólicos. Este sistema utiliza aceite como fluido de trabajo, el cual, a su paso por los diferentes colectores, aumenta su temperatura y luego, mediante el empleo de un intercambiador de calor, transfiere el calor ganado por el aceite al agua que se utilizará en los procesos requeridos; esta técnica proporciona el 60% de la carga de agua caliente anual.



Figura 1 Colectores concentradores cilíndrico-parabólicos usados para calentar agua en procesos industriales (Arizona, EE.UU.)

Sin embargo, a pesar de los éxitos logrados, estos sistemas han sido reprimidos por la desconfianza del cliente sobre la fiabilidad y la seguridad a largo plazo, y también de una rápida respuesta en el mando de control del sistema. Esto último es particularmente importante en procesos para los cuales es esencial un control exacto de todos los parámetros operacionales.

Ya que muchos procesos industriales de alta temperatura usan vapor, los recientes desarrollos en la generación de vapor directamente, a partir del uso de colectores solares para la producción de electricidad, ayudarán a disminuir la necesidad actual de energía. La adopción de una generación directa de vapor a través de colectores solares en los procesos industriales permitirá una

producción de vapor más eficaz y, posiblemente, a un costo menor. De nuevo, el mando del sistema será sin embargo un problema por considerar. Es probable que el factor limitante en la difusión de esta tecnología sea la disponibilidad comercial de tubos para la superficie absorbente, los cuales deben ser de un material especial (selectivo) para lograr las altas temperaturas requeridas.

Energía solar para aplicaciones en electrónica

Como un horno solar puede crear un rayo concentrado con una intensidad de hasta cincuenta mil veces la intensidad de la radiación solar inicial, la superficie de un material puede calentarse rápidamente por la acción de semejante intensidad. Este calentamiento rápido de superficie es necesario para la deposición de vapores químicos y la metalización cerámica. En esta última, la radiación concentrada en tales magnitudes puede usarse para unir capas delgadas de metal a un substrato cerámico para fabricar componentes electrónicos de alta calidad. Produciendo estos componentes electrónicos en un horno solar, se usaría menos energía que con las tecnologías de producción convencionales. Las aplicaciones potenciales incluyen el procesamiento de materiales especializados y la foto-química.

Energía solar y la industria del cemento

El uso de energía solar para aplicaciones en la industria del cemento se ha examinado profundamente con el fin de reducir costos y el impacto ambiental. En el proceso de producir cemento seco, el secado parcial de materiales crudos que tienen un volumen de humedad alto es, a menudo, esencial para la viabilidad comercial del proceso. En Egipto, por ejemplo, se ha encontrado viable la aplicación de sistemas solares para el secado de la arcilla, que contenga aproximadamente un 23% de humedad inicial respecto a una base seca. Los resultados del desarrollo de este tipo de sistemas son aumento de la productivi-

dad del proceso y disminución de las emisiones ambientales. También, en el contexto de producción de cemento, la viabilidad técnica de decomponer las partículas de la piedra caliza transportadas en el aire por exposición directa a la energía solar concentrada ya se ha demostrado. En un reactor de partículas en el que la piedra caliza se alimentaba a una rata de flujo de 25 kg/h y 50 kW de flujo de energía solar con una concentración máxima de 3.500, la reacción proporcionó 85% de calcinación de esas partículas y un 65% de eficiencia en la conversión de la energía solar recibida en entalpía de reacción.

La destoxificación solar

En condiciones de insolación apropiadas, los destoxificadores solares pueden ser efectivos y de bajo costo, para el tratamiento de fluidos con desechos contaminantes bajos. Un sistema experimental de destoxificación solar se muestra en la figura 2. En la destoxificación fotolítica, la exposición de un fluido a la radiación solar, con una concentración de mil veces, permite la destrucción de contaminantes presentes en ese fluido. La oxidación fotocatalítica destruye los agentes contaminantes con la componente ultravioleta de la radiación, la cual activa un ca-

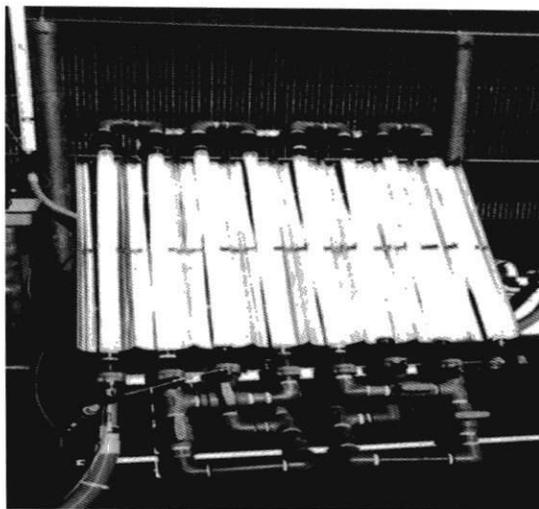


Figura 2 Colectores solares concentradores usados para la destoxificación de aguas

talizador que los destruye. El proceso de fotocatalisis solar es muy efectivo para la descontaminación de bacterias, pesticidas y la polución química u orgánica en depósitos de agua. En la destoxificación de benceno, tolueno y xileno, el uso de la fotocatalisis con dióxido de titanio ha demostrado, después de cuatro horas de irradiación a 50 W/m^2 , la mineralización por debajo de los límites de detección de contaminantes.

En las aplicaciones de la energía solar para descontaminar fluidos, un nuevo catalizador de platino-titanio en forma de panel se ha desarrollado para procesos de oxidación foto-asistida de rastros de componentes orgánicos en una corriente de aire, y se ha logrado la mineralización casi completa de tóxicos, como el tricloroetileno, a temperaturas del orden de los 350-383 K. En EE.UU. los fabricantes de semiconductores están explorando la aplicación de tecnologías concernientes al uso de la oxidación fotocatalítica en el tratamiento de aguas industriales.

El agua extraída de arroyos, ríos y lagos en regiones tropicales contiene elementos patógenos en la mayoría de los casos, por tanto se debe desinfectar antes de ser consumida por el hombre. Un proceso de desinfección por radiación ultravioleta se ha ideado para ese propósito, pero algunas bacterias contienen enzimas que reparan su ADN después del daño sufrido. El agua tratada con este proceso sólo puede consumirse sin peligro durante veinticuatro horas. La pasteurización térmica solar, al calentar el agua a 348 K durante diez minutos, destruye todos los patógenos y no requiere que el agua se filtre; además, tiene menos restricciones operacionales que el tratamiento con cloro. Aunque la pasteurización solar es eficaz y requiere poco mantenimiento de los equipos, se ha demostrado que tiene mayores costos por ciclo de vida que las opciones que competirían con ella, como por ejemplo la desinfección con radiación ultravioleta.

La destilación

Muchas regiones áridas tienen recursos subterráneos de agua salobre o están cerca del mar y

tienen altos niveles anuales de insolación. La producción de agua potable con el uso de la energía solar ya ha sido investigada muy bien y, en regiones remotas e insoladas, ya se han adoptado este tipo de sistemas. Hay tres procesos de extracción de agua potable que pueden emplear la energía solar; son:

Destilación, en la cual el agua se evapora con el calor solar y luego se condensa y separa de los minerales que contiene. Este proceso se puede llevar a cabo a presión atmosférica y en diversas formas para el estanque de agua o en un proceso de múltiple efecto.

Ósmosis inversa, en el cual un gradiente de presión a través de una membrana causa que, al pasar las moléculas de agua de un lado a otro, sólo las moléculas de los minerales más grandes no puedan cruzar finalmente la membrana.

Electrodiálisis, en el cual una membrana selectiva, que contiene iones positivos y negativos, se encarga de separar el agua de los minerales al usar la electricidad obtenida en un proceso de generación solar.

La optimización de plantas de desalinización de efecto múltiple, como el mostrado en la figura 3, es sensible a las variaciones en los costos del colector. Una reducción del 50% en el costo del colector podría resultar en una disminución en el costo mínimo del agua potable que pasaría de



Figura 3 Sistema de destilación solar usado para producir agua potable (Chaco, Argentina)

4,77 a US\$3,03/m³ y este costo mínimo del agua siempre se puede lograr gracias a que el evaporador tiene la mayor razón de desempeño que corresponde al mayor número de efectos posibles.

Para propósitos de desalinización, usar un estanque solar para impulsar un sistema de este tipo tiene un costo relativamente bajo para condiciones favorables del lugar. También, hay sistemas para desalinización que funcionan plenamente con energía solar, los cuales resultan ser más competitivos que los sistemas solares parciales y de bajo costo, en cuanto al campo de la energía solar se refiere, y de altos precios por electricidad. Tales condiciones prevalecen, por ejemplo, en regiones remotas, donde es bajo el costo de la tierra y están alejados de la red de interconexión eléctrica. Sin embargo, tales lugares pueden poner a prueba aspectos como el mantenimiento y la operación para un abastecimiento efectivo.

El secado de cosechas con energía solar

El objetivo al secar un producto agrícola es el de reducir su humedad, lo cual previene el deterioro de los productos en un periodo de tiempo que se considera como "periodo de almacenamiento seguro". Secar como tal es un proceso dual. Primero se transfiere calor hacia el producto desde la fuente de calor y después se transfiere la masa de humedad desde el interior del producto hasta la superficie y desde ésta hacia el aire circundante. En el secado solar la energía solar se puede usar ya sea como única fuente para el calor requerido o como una fuente suplementaria, y el flujo de aire puede generarse ya sea por una convección natural o forzada. El proceso de calentamiento puede involucrar el paso del aire precalentado a través del producto, por la exposición directa del producto a la radiación solar o por un proceso que involucre ambas técnicas. El aspecto más importante y de mayor cuidado es el de poder lograr buena transferencia de calor hacia el producto húmedo, por medio de la convección y de la conducción con la masa de

aire de los alrededores, que se encuentra a temperatura por encima de la del producto; también puede ser por radiación, principalmente desde el sol sobre una extensa superficie, y por conducción, desde la superficie así calentada hacia el producto húmedo. El agua comienza a evaporarse de la superficie del producto húmedo cuando la energía absorbida por éste se ha incrementado y la temperatura es suficientemente alta como para que la presión de vapor de agua de la gota que brota exceda la presión de vapor del aire de los alrededores. La razón de difusión de la humedad que llega a la superficie, por difusión desde el interior, depende de la naturaleza del producto y del contenido de humedad. Si esa razón es lenta, se vuelve un factor limitante en el proceso de secado. La absorptividad solar del producto también es un factor importante por considerar en el proceso de secado solar directo. La mayoría de los materiales agrícolas tienen absorptividades relativamente altas, entre 0,67 y 0,9. Las razones de transferencia de calor y evaporación pueden controlarse con sumo cuidado, con óptima combinación entre la razón de secado y una aceptable calidad final del producto. Los secadores que utilizan energía solar varían, principalmente, en el modo de uso del calentamiento solar y por sus arreglos propios, con lo que tienen rasgos distintivos. El desarrollo de secadores solares por circulación natural puede quedar comprometido cuando se presentan muy altas humedades ambientales.

Refrigeración

La refrigeración solar se emplea para refrescar las tiendas o locales que, por ejemplo, almacenan vacunas, como se muestra en la figura 4. La necesidad de estos sistemas es mayor en los centros de salud periféricos, y en las comunidades rurales del tercer mundo. Celdas encadenadas, sin necesidad de conexión eléctrica para mantener las vacunas frías, se pueden extender a estas áreas, con sistemas de almacenamiento autónomos que funcionan con energía solar. La mayor parte de esta provisión se logra por medio de la compresión en ciclos de refrigeración, con

una entrada de potencia que proviene de celdas fotovoltaicas. Los sistemas de refrigeración térmica solar se han sometido a extensas investigaciones pero, a la fecha, sólo se han dirigido hacia sistemas de producción comercial.



Figura 4 Refrigerador de vacunas alimentado por celdas fotovoltaicas (área rural Ghana)

Los sólidos porosos, denominados absorbentes, pueden absorber física y reversiblemente grandes cantidades de volúmenes de vapor. La concentración del vapor absorbido en un absorbente sólido es una función de la temperatura del conjunto activo (es decir, juntos el sólido y la sustancia absorbida) y de la presión de vapor de la sustancia absorbida como tal. La dependencia de esta concentración con la temperatura, bajo condiciones de presión constante, hace posible el proceso de absorción para variaciones de la temperatura del conjunto activo. Esto forma la base para aplicaciones de este fenómeno, en ciclos de refrigeración alimentados con energía solar para la absorción de vapor intermitente.

El agua y el amoníaco han sido usados de una manera más amplia en los sistemas de absorción para refrigeración. La eficiencia de estos sistemas está limitada por la temperatura de condensación. Algunas desventajas en el uso de agua y amoníaco son la necesidad de tuberías de gran espesor, para soportar las altas presiones, los agentes corrosivos presentes en el amoníaco y el problema de la rectificación (que significa la

remoción del vapor de agua del amoníaco durante la generación).

Un sistema para refrigeración por absorción tiene las siguientes características:

- Un refrigerante, con un alto calor latente de vaporización.
- Una alta eficiencia termodinámica en conjunto.
- Una baja capacidad térmica.

Además, las condiciones de operación de un refrigerador alimentado con energía solar (las temperaturas del condensador y del generador) varían con la posición geográfica del lugar de ubicación.

Un ejemplo de aplicación es la producción de hielo para el almacenamiento de alimentos, realizado en las zonas rurales de México, que ilustran uno de los varios usos de los procesos alternativos con energía solar en aquellas regiones remotas que se encuentran alejadas de la red eléctrica. Consiste en siete ciclos intermitentes, dobles, de fabricación de hielo por absorción de agua-amoníaco, tres de los cuales se montan en el suelo para procesar pescado y transportarlo y los otros cuatro se montan en el techo de una bodega y se encargan de proveer hielo a un tanque de almacenamiento. Cada ciclo de doble intermitencia para la absorción de agua-amoníaco se alimenta con el calor recogido por unos colectores cilíndrico-parabólicos, con área de apertura de 12 m², y han producido 68 kg diarios de hielo desde 1992. Los 84 m² de área total de apertura de los colectores cilíndrico-parabólicos proporcionan anualmente 519 GJ de calor de entrada, lo que arroja un valor anual de 72,8 GJ de refrigeración.

Calentamiento de granjas y bodegas

La energía solar puede usarse para el calentamiento de espacios en edificaciones de carácter agrícola. Los principios orientadores son similares que los del calentamiento solar de espacios

de construcciones no agrícolas: primero se conserva la energía, se adoptan luego sistemas pasivos para la recolección, distribución y almacenamiento de la energía solar y sólo entonces se considera el uso de tecnologías solares activas. El uso de estas tecnologías ayudará en aquellas fincas donde la construcción del techo puede modificarse para el sostenimiento de colectores solares que calienten el aire. Con el fin de disminuir los costos, los techos en los que hay colectores para el calentamiento del aire pueden tener una de dos especificaciones alternativas: la primera sería utilizar una película de plástico transparente sobre un plástico negro o un metal absorbente y la otra sería fabricar el metal con una cubierta de vidrio; los colectores plásticos no pueden operar en temperaturas superiores a los 330 K, y la degradación ultravioleta y su vida operacional efectiva límite, pueden ser tan cortas como un año de vida útil. Los calentadores solares metálicos de aire construidos sobre granjas, cubren rangos que van desde modelos simples metalizados, para unidades de baja temperatura utilizados con el ganado, hasta el uso de sistemas de temperatura con doble vidrio para el secado de la cosecha. La atracción principal de las granjas que poseen colectores para el calentamiento del aire es la baja inversión inicial que se requiere. Las desventajas se deben a un pobre control de calidad en la fabricación, lo que conlleva una pobre labor de mantenimiento, y la falta frecuente de decisiones óptimas ante los problemas que se presentan en los componentes del sistema.

El bien llamado estanque solar se construye con módulos de un precio relativamente bajo. Cada módulo contiene una o dos bolsas de agua en el piso, en una capa de aislamiento o en arena dentro del hormigón o fibra de vidrio que rellena y cubre el invernáculo de vidrio. Un sistema de

este tipo fue instalado en 1991 en Florida (EE.UU.). Tiene un área de captación solar para el estanque de 744,7 m², con el fin de precalentar agua a 60,4 °C para poder limpiar una granja de caimanes. El sistema consiste en 3 módulos, de un ancho de 4,88 m y una longitud de 60,96 m; con ellos se busca que cada uno mantenga aproximadamente 45,46 m³ de agua. El agua caliente de los desagües de las bolsas se lleva a un tanque, donde luego se bombea a un calentador auxiliar de propano líquido por medio de una presurización del tanque, para poder usarla en los ciclos de lavado. Como las bolsas se evacúan, deben llenarse con agua que entra por los extremos de las bolsas. En EE.UU. estos sistemas producen alrededor de 1.243 TJ de la energía requerida para el calentamiento de espacios agrícolas; ello equivale, aproximadamente, al 31% de la carga total de calor.

Conclusión

Una aplicación térmica solar en un contexto agrícola o industrial tiene que ser diseñada y operada para proporcionar una combinación óptima de desarrollo eficiente, alta fracción de aprovechamiento de la energía solar, costos iniciales bajos y corrientes, rigidez y durabilidad. Muchas aplicaciones térmicas solares son económicamente viables, con perspectivas favorables y buenos contextos para su uso. Los materiales empleados en sistemas solares foto-térmicos requieren todavía de más investigación y desarrollo. La liberación de calor en los procesos térmicos solares, por medio de tecnologías avanzadas, también requiere de programas intensivos para demostrar y mejorar los componentes.

Bibliografía

ISES position papers. Internacional Solar Energy Society.