

# Tercer Encuentro Académico

**SEDATU**  
SECRETARÍA DE  
DESARROLLO AGRARIO,  
TERRITORIAL Y URBANO



**CONAVI**  
COMISIÓN NACIONAL  
DE VIVIENDA



**CONACYT**  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Noviembre 2016

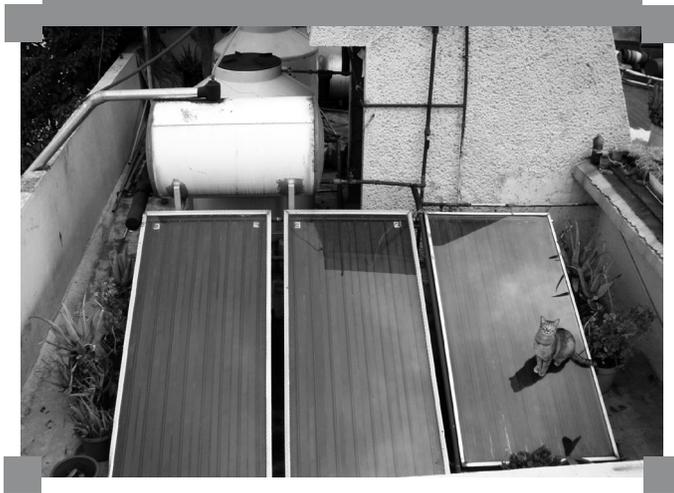


Figura 1

## Esquema financiero para la utilización de calentadores solares de agua en la vivienda

Se identifican las condiciones necesarias para extender un crédito comercial para financiar un calentador solar para agua (CSA) de uso doméstico, sin subsidio.

**L**a literatura profesional que se ocupa de la viabilidad técnica y económica de los sistemas de aprovechamiento de las fuentes renovables de energía es relativamente reciente y se concluye que 1. El uso de fuentes renovables de energía para suplir procesos de combustión es técnica y económicamente viable; 2. Las fluctuaciones en los mercados de los combustibles, ahora particularmente el gas natural, impactan de manera decisiva los mercados de electricidad, restando credibilidad a las fuentes renovables por su intermitencia y falta de capacidad

para apreciar los riesgos de las inversiones y 3. Cuando se logran establecer criterios de cierta equidad de las fuentes renovables con las tradicionales, generalmente la viabilidad económica se alcanza antes de diez años.

A partir de la crisis del petróleo de los pasados años setenta, cuando se observó que el desarrollo de las fuentes renovables de energía podría servir de contrapeso al impacto económico del incremento del precio petrolero, se empezó a estudiar con seriedad la viabilidad económica de las aplicaciones solares. Sin embargo, las discusiones específicas sobre aspectos financieros son más recientes.

Efectivamente, se tiene evidencia muy nutrida de la viabilidad técnica y económica de diversas aplicaciones de fuentes renovables, que de cualquier forma no son incorporadas al mercado. Un caso muy ilustrativo es el calentamiento solar de agua en México, motivo central del trabajo presente, ya que se ha demostrado durante décadas su viabilidad económica sin que por ello se haga mella en el mercado doméstico.

### **Planteamiento y desarrollo de la investigación**

Se obtuvieron resultados de la operación de dos CSA, uno ubicado en la Ciudad de México y otra en La Paz, BCS, en condiciones de funcionamiento en el mercado real, con el propósito de ajustar el modelo matemático correspondiente y analizar, con éste, la sensibilidad del calentador solar a diversos cambios de diseño, operación y requerimientos, para evaluar la viabilidad económica en distintos escenarios y de ahí desarrollar y fundamentar los esquemas financieros necesarios.

El CSA de la ciudad de México funciona a termosifón, con el cual se pueden inferir importantes conclusiones con respecto a los mecanismos financieros que son tema central de este estudio, ver Fig. 1. Una forma aproximada de representar en un diagrama esta instalación se ilustra en la Fig. 2.

El otro CSA ubicado en La Paz, BCS, ver Fig. 3, es un calentador híbrido, funciona por convección forzada, de manera que permite reproducir con fidelidad el esquema operativo propuesto para casas habitación, y se presta apropiadamente para el análisis matemático. Se instalaron los sensores apropiados en el sistema solar, así que ha sido posible modelar matemáticamente con mucha

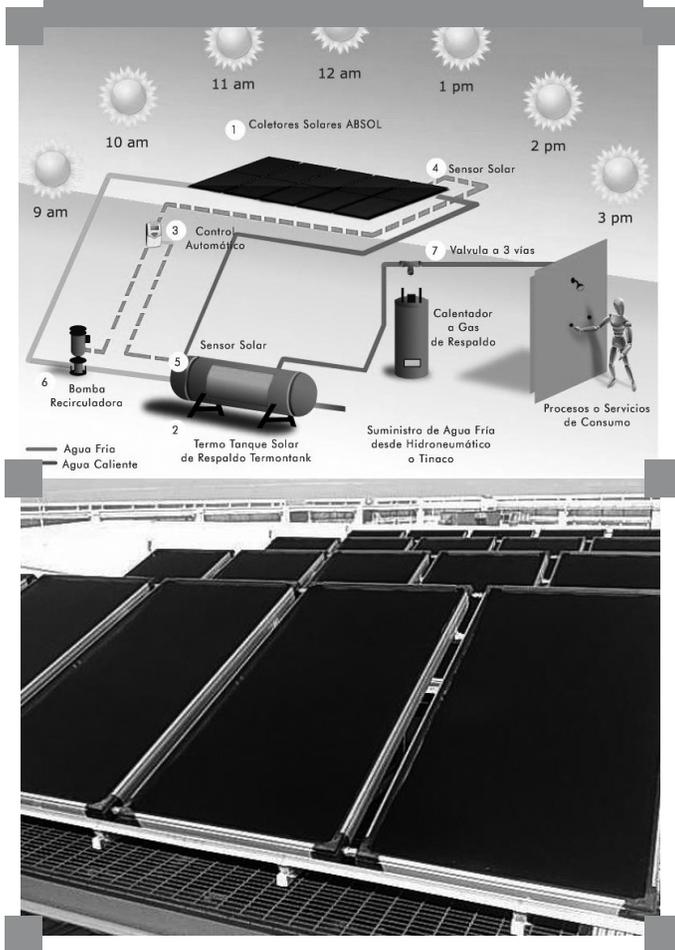
precisión los parámetros de operación y las variables de estado. Cuenta con un área de captación solar de 80 m<sup>2</sup>, un tanque térmico de 5,000 litros de agua, una bomba recirculadora de un caudal equivalente a 0.4 litros/segundo, un sistema de control automático para la bomba que opera mediante el principio de diferencial de temperatura entre el tanque y los captadores solares, y un completo esquema de medición de las variables de operación (flujo de agua y calor) que se puede interrogar mediante computadora en las cercanías del sitio.

El modelo matemático se resuelve para un CSA de circulación forzada y flujo constante para un día típico. Se hace una descripción del programa de computadora que se empleó en este trabajo, que es una versión actualizada de Básica, la que se validó con otra en Matlab mediante la comparación de resultados típicos de circunstancias muy bien definidas. El calentador solar, bien diseñado y operado, puede pagarse con el ahorro del gas de aproximadamente un año.

### **Exposición de los principales resultados de la investigación**

Se obtuvo un análisis de sensibilidad del calentador solar híbrido a diversas variables físicas y de carácter económico, cuya fluctuación, dentro de márgenes realistas, podría afectar su viabilidad económica. Estos resultados ilustran la robustez del modelo matemático de simulación en computadora ante posibles cambios de algunas variables de diseño, operación, climáticas y económicas.

El CSA híbrido es sumamente robusto para acomodar casi cualquier combinación de parámetros de diseño y de operación. Sin embargo, es claro que un calentador solar determinado, con un área de colectores solares de diseño y ➤



Figuras 2 y 3

un tanque térmico de capacidad determinada, es muy sensible a las demandas de extracción de agua caliente, tanto en calidad como en cantidad.

Se estudian los elementos básicos que determinan si la inversión adicional en un CSA para lograr una operación híbrida es económicamente viable. Que lo sea es una condición indispensable para establecer un esquema financiero viable, no subsidiado. Se determinan las variables que en México se requieren atender para que el negocio de los CSA híbridos sea viable, y se establece que un CSA que funciona en forma híbrida con un calentador a gas mediante circulación forzada y controlada del agua, será económicamente más atractivo que solamente

el calentador de gas, cuando se aplican condiciones de crédito tipo automotriz. Por extensión, esta conclusión será cierta para cualquier condición de financiamiento con crédito comercial bancario, sin subsidios.

### Potencial de aprovechamiento para el sector de la vivienda

Se propone financiar un CSA para uso doméstico, sin subsidio, en casa habitación de clase media, con un crédito comercial y condiciones competitivas para eliminar la barrera que significa un gasto inicial muy fuerte. El CSA de 200 a 300 litros, 4 a 5 m<sup>2</sup> de captación y circulación forzada, apoyados por sistemas de calefacción de gas de paso, con controlador

termostático, indispensable para asegurar una temperatura de servicio invariante en el tiempo, tendrá un plazo de recuperación de la inversión del orden de 4 a 6 años. Este es el plazo calculado, con costos vigentes en la fecha de elaboración de este trabajo, para que el costo del ahorro neto de gas LP exceda los costos combinados de adquisición, instalación, puesta a punto y aseguramiento de la operación del CSA híbrido.

Para que esta propuesta sea financieramente comercialmente se requiere que el instalador garantice los equipos citados y su apropiada operación, mediante un sistema de financiamiento similar al que se cuenta hoy en día para adquirir un

automóvil nuevo. O sea, el contratante del crédito contrata al mismo tiempo un seguro de vida y se compromete a entregar el equipo, al otorgante del crédito, en caso de faltar a sus pagos periódicos. Se demuestra que el financiamiento es viable y el usuario saldría beneficiado, al tiempo que se fomentaría una nueva industria de servicios de fontanería. También se incluye en este trabajo un código de cómputo que permite explorar diversas capacidades de CSA híbridos para aplicaciones domésticas y comerciales, que en casos en los que se puede estimar con certidumbre el consumo de agua caliente, facilita la selección de un sistema híbrido cercano al óptimo económico.



### José Luis Fernández Zayas

Ingeniero Mecánico Electricista por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y Doctor en Ingeniería por la Universidad de Bristol, Inglaterra.

En 2012 fue Director del Sistema Nacional de Investigadores. Actualmente es Director General del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias.

### Coautores:

Dr. Alejandro Rodríguez Valdés y Mtro. Norberto Chargoy del Valle del Instituto de Ingeniería de la UNAM.