

**Congreso Internacional de Investigación de AcademiaJournals.com**

**Chiapas 2010**

**CHISAJ2010**

**<http://chiapas.academiajournals.com>**

ISSN 1946-5351 Online 1948-2353 CD ROM



## **VOLUMEN III**

**Ingeniería**

**Ingeniería de Alimentos**

**Ingeniería Agrícola**

**Ingeniería Civil**

**Educación en la Ingeniería**

**Ingeniería Eléctrica**

**Ingeniería Mecánica**

## Exploración de perfiles de temperatura en el subsuelo para aplicaciones de enfriamiento pasivo

Dr. Adrián Vidal Santo<sup>1</sup>, Dr. Victor H. Gómez Espinoza<sup>2</sup>, M.I.A. Josué Domínguez Márquez<sup>3</sup> y M.C. Adrián Sánchez Vidal<sup>4</sup>

**Resumen**— En esta investigación se presentan los resultados experimentales del monitoreo de los perfiles de temperatura del subsuelo de la zona costera de Veracruz, los cuales muestran un buen gradiente de temperatura para la implementación de un sistema de enfriamiento pasivo; el cual se caracteriza por usar el subsuelo como sumidero de calor. Se presenta también el desarrollo del sistema de adquisición de datos,

así como las propuestas de los esquemas para el desarrollo del prototipo experimental del sistema de enfriamiento pasivo.

**Palabras claves**—ahorro de energía, energías renovables, pasivo, labview.

### Introducción

El confort térmico nos brinda las mejores condiciones para desarrollar las actividades cotidianas, desde trabajos físicos hasta trabajos intelectuales, incluso hasta descansar. Por tal motivo en las escuelas, hospitales, casas, industrias y cualquier recinto donde habiten o laboren personas se busca acondicionar el aire para tener un desempeño óptimo en las actividades; sin embargo, el proceso que se usa para el acondicionamiento del aire son los métodos convencionales como es el enfriamiento por compresión de vapor, en el mejor de los casos cuando se cuenta con los recursos económicos. Pero este método conlleva el alto costo que se paga por facturación eléctrica, el inconveniente de que usa refrigerantes fluorocarbonados y que al consumir energía eléctrica de la red se contribuye al deterioro de la capa de ozono ya que la mayoría de las plantas termoeléctricas quemando combustibles fósiles para generar la energía eléctrica. Por tal motivo, en los últimos años la generación de energía eléctrica y el enfriamiento, por medios pasivos, ha cobrado interés en los investigadores, desarrollando tecnologías que conduzcan a un mejor aprovechamiento de los recursos naturales para beneficio del hombre y su entorno. En este sentido se presentan aquí los resultados del monitoreo de las temperaturas del subsuelo en la zona costera de Veracruz, su análisis estadístico y avances de la construcción del prototipo experimental.

### Antecedentes

Los primeros trabajos reportados datan desde 1987 con el estudio de Hasegawa et al. (1987) quienes fueron los pioneros en buscar reducir la carga de enfriamiento en casas habitación construyéndolas en el subsuelo, lo que podría ser propicio para esas áreas secas (Japón), pero no para la región Veracruzana debido al nivel del manto freático que se encuentra a poca profundidad y que a la larga la humedad provocaría fuertes daños a la construcción.

Diez años después del trabajo de Hasegawa, el análisis del enfriamiento pasivo volvió a tomar importancia con el análisis que realizaron Santamouris et al. (1997), los cuales desarrollaron un modelo para cuantificar la disminución en la carga de enfriamiento de una vivienda aprovechando el enfriamiento nocturno y el subsuelo como sumidero de calor.

Un estudio, quizá de los más importantes, teórico-experimental fue el realizado por Hamada et al. (2001) quienes construyeron una casa muestra, para validar sus modelos de simulación, en la cual aprovecharon la energía solar, del viento y del subsuelo para producir casi el 85% de la energía consumida por una vivienda del tipo popular.

Pfafferot (2003), Sanner et al. (2003) y Kumar et al. (2003) modelaron intercambiadores y bombas de calor, respectivamente, para usarlos en el análisis de enfriamiento pasivo con el subsuelo.

Yumrutas et al. (2005) realizaron un modelo computacional para evaluar el desempeño de un sistema de enfriamiento de agua helada, con la variante de que el condensador era un tanque de agua enterrado, cuyo sumidero de calor era el subsuelo. No fue un enfriamiento netamente pasivo, pero se logró un leve incremento en el COP del sistema de enfriamiento.

<sup>1</sup> El Dr. Adrián Vidal Santo es Profesor Investigador de la Facultad de Ingeniería Región Veracruz de la Universidad Veracruzana. [avidal@uv.mx](mailto:avidal@uv.mx) (autor corresponsal)

<sup>2</sup> El Dr. Víctor Hugo Gómez Espinoza es Profesor Investigador del Centro de Investigación en Energía de la UNAM [vhge@cie.unam.mx](mailto:vhge@cie.unam.mx)

<sup>3</sup> El M.I.A. Josué Domínguez Márquez es Profesor Investigador de la Facultad de Ingeniería Región Veracruz de la Universidad Veracruzana [jdominguez@uv.mx](mailto:jdominguez@uv.mx)

<sup>4</sup> El M.C. Adrián Sánchez Vidal es Profesor Investigador del Facultad de Ingeniería Región Veracruz de la Universidad Veracruzana [adrsanchez@uv.mx](mailto:adrsanchez@uv.mx)

Wu et al. (2007) realizaron estudios de tuberías enterradas de forma horizontal para disipar el calor de una vivienda, pero esta opción resulta muy costosa y voluminosa para lograr un verdadero beneficio, debido a la gran longitud de los tubos (casi 100 m). Sin embargo, Hamada et al. (2007), propusieron que la tubería enterrada fuera de forma helicoidal, con lo cual se reduce el espacio del terreno pero no el costo de la tecnología. Voss et al. (2007), Santamouris et al. (2007), realizaron estudios de las tecnologías existentes para suministrar, de forma pasiva, energía eléctrica, calefacción y enfriamiento a edificios.

### Descripción del Método

Para saber si existe potencial para un proyecto de enfriamiento pasivo con el subsuelo se tiene que investigar si existe un gradiente superior a los 10°C entre la temperatura del medio ambiente y el subsuelo a una profundidad no mayor a los cinco metros. La zona que se investigó está ubicada en los patios de la Facultad de Ingeniería Región Veracruz, la cual se encuentra a escasos 500 metros del mar, por lo que es un suelo arenoso y con el manto fríático a no más de dos metros de profundidad, lo cual ayuda a que haya una mejor disipación del calor.

#### *Modelo analítico*

Se han estudiado diferentes modelos analíticos para predecir el perfil de temperatura en el subsuelo; sin embargo, el modelo propuesto por Ho y Strand (2008) es el que será tomado como base en este trabajo. La temperatura del subsuelo a una profundidad ( $z$ ) se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$T_{z,t} = T_m - A_s \exp \left[ -z \left( \frac{\pi}{365\alpha_s} \right)^{1/2} \right] \cos \left\{ \frac{2\pi}{365} \left[ t - t_0 - \frac{z}{2} \left( \frac{365}{\pi\alpha_s} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (1)$$

La ecuación (1) depende de parámetros como la temperatura promedio de la superficie del suelo ( $T_m$ ), la amplitud de la variación de la temperatura de la superficie del suelo ( $A_s$ ), la profundidad ( $z$ ), la difusividad térmica del suelo ( $\alpha_s$ ) el periodo de medición ( $t$ ) y la constante de fase de la superficie del suelo ( $t_0$ ). La gran mayoría de estos parámetros dependen de otros que aún están en proceso de obtención, por lo que los resultados del modelo analítico se presentarán en trabajos posteriores.

#### *Modelo experimental*

El monitoreo del subsuelo comenzó en marzo del 2009 y se continuaron realizando mediciones en otros meses del año (septiembre y octubre).

Al principio de las mediciones se utilizaron sensores de temperatura del tipo LM-35 por ser los más económicos, pero no fueron resistentes a los esfuerzos mecánicos y se optó por utilizar los sensores de resistencia variable tipo PT100, cuyas mediciones se adquirieron en un equipo de cómputo con la ayuda de una tarjeta de adquisición NI-USB 6009 en conjunto con el software LabVIEW 9.0 para la instrumentación virtual.

El programa LabVIEW utiliza dos ventanas de trabajo, una de ellas se llama el Front Panel o Panel frontal (Figura 1), la otra de éstas se llama Block Diagram o Diagrama de Bloques (Figura 2).

En el panel frontal se trabaja más que nada con la presentación, botones del programa y manipulación de los datos introducidos al programa mientras éste se está corriendo.

El trabajo se comienza con el Block Diagram, pues es en éste donde se programa. Como un concepto básico de utilización del programa se sabe que para poder manipular a placer el programa, se necesita tener un interruptor de encendido. Por ello, todas las operaciones y cableados deben de estar dentro de una estructura while la cual fungirá como el interruptor de apagado, dado que se puede poner un botón de "stop" el cual al ser presionado cumplirá la condición para que se detenga el ciclo y todas las operaciones dejarán de realizarse.

El sistema de adquisición de datos fue diseñado en la plataforma de LabVIEW y se realizaron una serie de artificios para poder lograr la interface entre el sensor, la tarjeta de adquisición y el software, así como para minimizar los ruidos, ya que el cable de señal no era blindado. Los sensores fueron enterrados con una separación de 50 cm cada uno y el monitoreo de la señal se programó cada 60 segundos.

Para tener una medición convencional con los sensores PT100, generalmente se utiliza un instrumento que tenga una fuente de corriente incluida. Pero en nuestro caso al hacer uso de la tarjeta NI USB-6009, la cual no cuenta con esta fuente incluida, se usaron artificios de ingeniería para sustituirla.



Figura 1. Panel Frontal de LabVIEW.

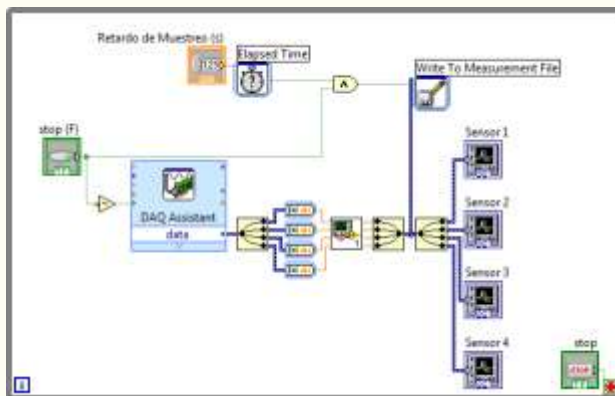


Figura 2. Diagrama a bloques de LabVIEW.

Primeramente, para la instrumentación se diseñó una tarjeta con puentes de Wheatstone para cada uno de los sensores, ya que al variar la detección de temperatura se origina un desbalance del puente que se traduce en una diferencia de potencial en su salida, por lo que la resistencia del sensor se deduce a partir de la ecuación del puente (ecuación 2).

$$R_x = \left[ \frac{(R_1 + R_3) \Delta V + R_3 V_o}{V_o (R_1 + R_3) - (R_1 + R_3) \Delta V - R_3 V_o} \right] R_2 \quad (2)$$

Asimismo, dado que el voltaje adquirido es una función de la variación de resistencia del sensor, que a su vez depende de la temperatura, se correlacionó el voltaje adquirido con la curva de calibración de los sensores apoyados en una interpolación de Lagrange, a partir de ciertos puntos conocidos de la curva (ecuación 3).

$$T = \frac{(x - 114)(x - 138.4)(x - 100)}{(113.3 - 100)(113.3 - 114.3)(113.3 - 138.4)} \quad (33) \quad (3)$$

$$+ \frac{(x - 100)(x - 113.3)(x - 138.4)}{(114.3 - 100)(114.3 - 138.4)} \quad (36)$$

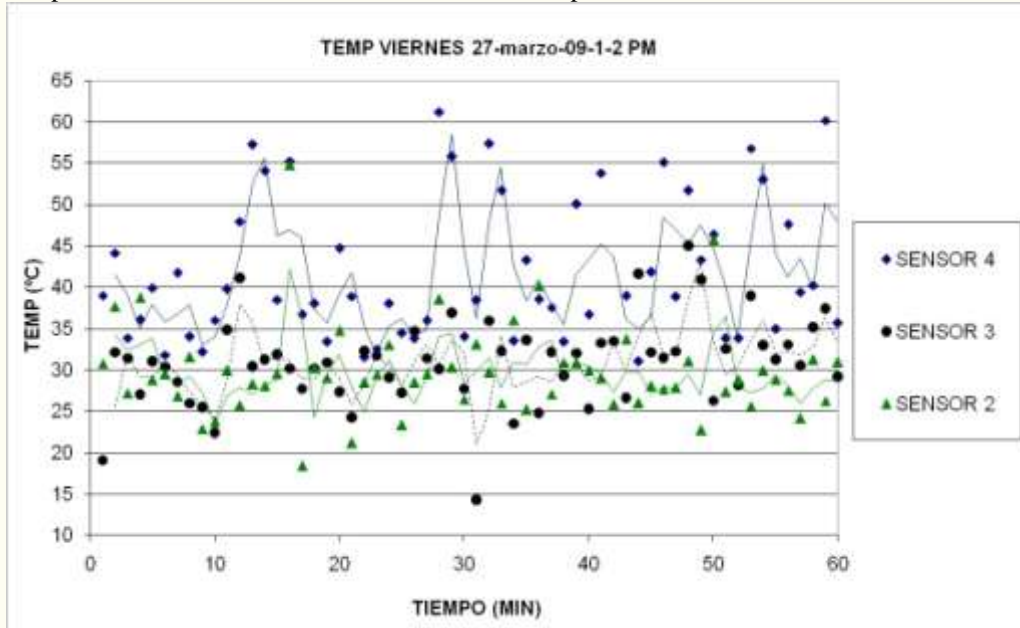
$$+ \frac{(x - 100)(x - 113.3)(x - 114.3)}{(138.4 - 100)(138.4 - 113.3)(138.4 - 114.3)} \quad (100)$$

Cabe destacar, que los sensores se fijaron a un tubo de PVC, de modo que permitiera introducirlos en el subsuelo. El primero de los sensores se encontraba exactamente a 2 m de profundidad, mientras que el segundo de ellos se encontraba a 1.5 m, el tercero a 1 m y el cuarto y último de los sensores se encontraba justo sobre la superficie del suelo.

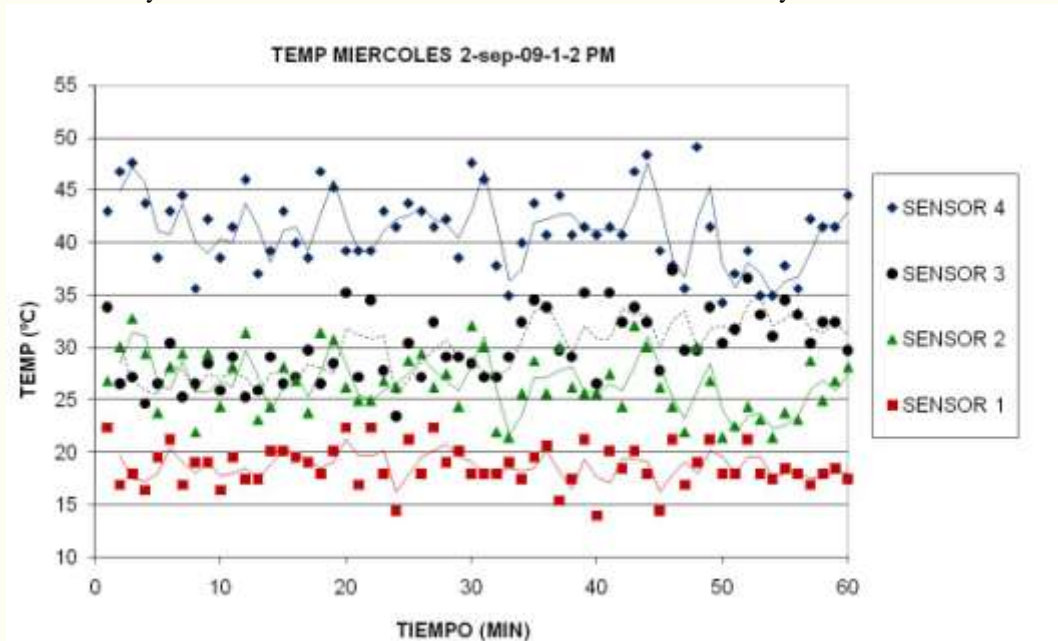
**Comentarios Finales**

*Resultados*

El las Gráficas 1 y 2 se muestran los perfiles de temperatura del subsuelo de mediciones realizadas el viernes 27 de marzo y el miércoles 02 de septiembre de 2009 en el horario de 13:00 a 14:00 pm.



Gráfica 1. Perfiles de temperatura en el subsuelo de la Facultad de Ingeniería UV. Valores de temperaturas medidos con sensores tipo LM-35. En esta gráfica se aprecia mucha dispersión de los valores medidos por el sensor 4 (el de la superficie) debido a que son muy sensibles a las condiciones ambientales como los vientos y la irradiación solar.



Gráfica 2. Perfiles de temperatura en el subsuelo de la Facultad de Ingeniería UV. Valores de temperaturas medidos con sensores tipo PT100. En esta gráfica se aprecia que hay una mejor correlación de los valores medidos durante la hora de medición por cada uno de los sensores debido a que este tipo tiene una mejor respuesta y viene protegido por un tubing o termopozo eliminando así las fallas por esfuerzos mecánicos.

Finalmente, a partir del análisis de las muestras de temperatura obtenida, en la Tabla 1 se presenta un concentrado de sus valores promedio respecto al tiempo de medición, así como de la diferencia promedio de temperatura presente entre el sensor que está en la superficie y aquél que se ubica a 2 m de profundidad.

Según los datos observados, se puede apreciar que siempre se mantiene un gradiente o diferencial de temperatura entre la superficie y el sensor que se encuentra a mayor profundidad en el subsuelo, de alrededor de 20°C, lo cual es muy conveniente para lograr el enfriamiento pasivo.

Tabla 1. Valores promedio de temperatura medida por los sensores

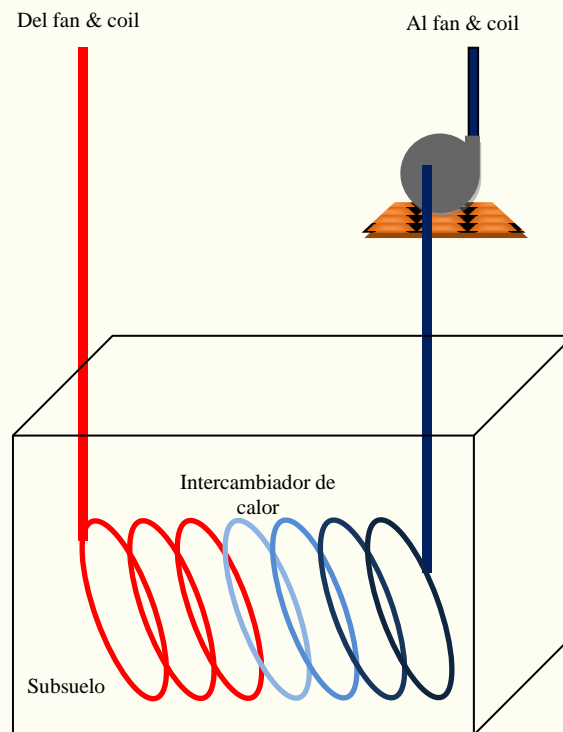
Hora	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	$\Delta$ (S1 y S4)
12 horas	18.6631104	26.5784131	30.0089622	41.2337724	22.570662
13 horas	17.3462434	26.9656238	32.0239383	41.6266934	24.28045
14 horas	17.7514885	25.7773471	31.9032967	40.2058099	22.4543214
15 horas	17.2128411	25.8311896	29.3422219	40.1255445	22.9127035
16 horas	15.9735942	23.5605867	24.4314899	37.7768168	21.8032225
17 horas	17.268548	23.2963228	23.8021395	37.6674172	20.3988692
18 horas	18.3208155	23.0196955	24.2907291	37.6087944	19.2879789

*Propuesta del prototipo experimental*

Dependiendo de las características del subsuelo, del material de la tubería, de las propiedades del aire y del fluido secundario de trabajo es como se seleccionará la configuración del intercambiador de calor, pero eso requerirá de más trabajo de investigación y desarrollo de cálculos para el diseño del intercambiador de calor, cuyos resultados se publicarán en trabajos posteriores; sin embargo, se muestra en las Figuras 3(a) y 3(b) el nivel del manto fríasico y un esquema, muy burdo probablemente, del prototipo experimental pero es en lo se continuará trabajando.



3(a)



3(b)

En la Fig. 3(a) se muestra la profundidad a la que se encuentra el manto fríasico en el suelo arenoso de la zona costera de Veracruz. En la Fig. 3(b) se muestra el esquema del prototipo experimental que se está planteando para el proyecto de enfriamiento pasivo.

### Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos en las mediciones se pudo observar que existe un gradiente de temperatura adecuado para desarrollar proyectos de enfriamiento pasivo en suelos arenosos de la costera Veracruzana; sin embargo, se continuará con el desarrollo del prototipo experimental para verificar la temperatura del aire dentro del recinto después de ceder su calor al fluido de trabajo del intercambiador. También se estudiarán los métodos de eliminación de la humedad del aire, ya que este método es sólo de enfriamiento con temperaturas superiores a las del punto de rocío; por lo tanto no se lograría el proceso de deshumidificación.

### Agradecimientos

Se agradece al Ing. Ezequiel Uscanga García y al alumno Asael Montalvo Lara, por el apoyo brindado en la construcción del prototipo experimental (en proceso).

### Referencias

- Hamada, I., Nakamura, M., Ochifuji, K., Nagano, K. and Yokoyama, S. (2001). Field performance of a Japanese low energy home relying on renewable energy. *Energy and Building*, Vol. 33, pp. 805 a 814.
- Hamada, I., Nakamura, M., Saitoh, h., Kubota, H. and Ochifuji, K., (2007). Improved underground heat exchanger by using no-dig method for space heating and cooling. *Renewable Energy*, Vol. 32, pp. 480–495
- Hasegawa, F., Yoshino, H. and Matsumoto, S. (1987). Optimum Use of Solar Energy Techniques in a Semi-Underground House: First-Year Measurement and Computer Analysis. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 2, No. 4, pp. 429–435.
- Kumar, R., Ramesh, S. and Kaushika, S.C. (2003). Performance evaluation and energy conservation potential of earth–air–tunnel system coupled with non-air-conditioned building. *Building and Environment*, Vol. 38, pp. 807 – 813.
- Lee, K.H. y Strand, R.K. (2008). The cooling and heating potential of an earth tube system in buildings. *Energy and Buildings*, Vol. 40, pp. 486–494.
- Pfaffert, J. (2003). Evaluation of earth-to-air heat exchangers with a standardized method to calculate energy efficiency. *Energy and Buildings*, Vol. 35, pp. 971–983.
- Sanner, B., Karytsas, C., Mendrinós, D. and Rybach, L. (2003). Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe. *Geothermics*, Vol. 32, pp. 579–588.
- Santamouris, M., Mihalakakou, G. and Asimakopoulos, D. N. (1997). On the coupling of thermostatically controlled buildings with ground and night ventilation passive dissipation techniques. *Solar Energy*, Vol. 60, Nos. 3/4, pp. 191-197.
- Santamouris, M., Pavlou, K., Synnefa, A., Niachou K. and Kolokotsa, D. (2007). Recent progress on passive cooling techniques Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households. *Energy and Buildings*, Vol. 39, pp. 859–866.
- Voss, K., Herkel, S., Pfaffert, J., Günter Löhnert, G. and Wagner, A. (2007). Energy efficient office buildings with passive cooling – Results and experiences from a research and demonstration programme. *Solar Energy*, Vol. 81, pp. 424–434.
- Wu, H., Wang, S. And Zhu, D. (2007). Modelling and evaluation of cooling capacity of earth–air–pipe systems. *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, pp. 1462–1471.
- Yumrutas, R., Kanog, M., Bolatturkb, A. and Sirin, M. (2005). Computational model for a ground coupled space cooling system with an underground energy storage tank. *Energy and Buildings*, Vol. 37, pp. 353–360.

### Notas Biográficas

El **Dr. Adrián Vidal Santo** es Profesor Investigador de la sección de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, realizó estudios de posgrado en la UNAM en el área de Termodinámica (maestría) y energía (Doctorado). Ha publicado artículos en las revistas *Energy*, *Energy Research* y *Applied Thermal Engineering*, es miembro del SNI y actualmente trabaja en proyectos de ahorro de energía y aprovechamiento de las energías renovables.

El **Dr. Víctor H. Gómez Espinoza** es Profesor Investigador del Centro de Investigación en Energía de la UNAM, realizó estudios de posgrado en la UNAM en el área de energía (Maestría y Doctorado). Ha publicado artículos en las revistas *Applied Thermal Engineering* y *Renewable Energy* y es coautor de un capítulo del libro *Solar Collector: Energy conservations, Design and applications*, es miembro del SNI y actualmente trabaja en proyectos de calentadores solares y refrigeración por absorción.

El **M.I.A. Josué Domínguez Márquez** es Profesor Investigador de la sección de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, realizó estudios de posgrado en el área de Ingeniería Administrativa (maestría) en el Instituto de Estudios Universitarios del Estado de Veracruz y ha sido responsable técnico del área eléctrica en diversas empresas. Actualmente colabora en el grupo de ahorro de energía y aprovechamiento de las energías renovables de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana.

El **M.C. Adrián Sánchez Vidal** es Profesor Investigador de la sección de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, realizó estudios de posgrado en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) en el área de Microelectrónica (maestría). Actualmente es profesor en la Escuela de Ingenieros de la Armada de México y colabora en el grupo de ahorro de energía y aprovechamiento de las energías renovables de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana.