

DESARROLLO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO DE MEDICIÓN DISTRIBUIDA: EXPERIENCIA PILOTO EN UN HORNO SOLAR HÍBRIDO

A. Buigues Nollens^{1,2}, L. Pogrebinsky Mazarico²

Instituto de Mecánica Aplicada - Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan (IMA – FI UNSJ)
 Av. Libertador Gral. San Martín 1109 – Oeste - CP: 5400- San Juan
 Tel. 0264 - 4211700 Int. 320 - e-mail: abuigues@unsj.edu.ar

Recibido: 14/08/12; Aceptado: 25/09/12

RESUMEN: El objetivo del trabajo está dirigido al desarrollo de un sistema que en tiempo real, facilite la medición en varios puntos de sensado, y permita como experiencia piloto el análisis en forma experimental de pérdidas de calor de un Horno Solar Híbrido, mediante el seguimiento del comportamiento térmico en PC. La metodología considera el relevamiento de antecedentes, y creación del sistema piloto de mediciones en forma distribuida. Los resultados de las experiencias de campo, respecto a la instalación y operación del instrumental demostraron un comportamiento adecuado aún con temperaturas superiores a 105 °C. Finalmente, el sistema demuestra ser una herramienta útil para el investigador, al posibilitar la adopción de decisiones dirigidas a hacer eficiente la energía termosolar.

Palabras clave: sistema alternativo, medición distribuida, horno solar, híbrido, experiencia piloto.

INTRODUCCION

El Horno Solar Híbrido (HSH), permite mediante el funcionamiento solar e híbrido del mismo, la obtención de una posible solución a la limitación que presenta el horno solar tipo caja para días nublados o de noche. Sus partes constitutivas se muestran en la figura 1 y son: 1- superficie reflectiva exterior, 2- doble vidriado hermético, 3- placa negra de fondo, 4- superficie reflectiva interior, 5- puerta trasera de ingreso o egreso al horno, 6- utensilios, 7- resistencia calefactora, 8- caja metálica exterior sobre aislación térmica y ruedas.

En forma alternativa bajo estas condiciones, el sistema propuesto amplía las posibilidades de uso en las primeras horas de la mañana, para días nublados o cuando la radiación solar disminuye o se anula. Para evaluar el HSH, se realizaron diferentes ensayos térmicos que permitieron por un lado determinar las figuras de mérito F1, F2 y Potencia de Cocción, según las normas de la Red Iberoamericana de Cocinas Solares (RICSA) y por otro lado facilitaron su análisis de comportamiento híbrido. Los resultados experimentales mostraron que este funcionamiento es conveniente en la árida ciudad de San Juan, que cuenta con una radiación solar promedio de 980 W/m² en verano y 600 W/m² en invierno, (Buigues Nollens A. F. *et al.*, 2008).

El sistema de control utilizado, debía ser capaz de mantener la temperatura interna del HSH, en el nivel deseado por el operario, pudiendo regular las dos fuentes de energía. Debido a que el control de temperatura es aplicado a la cocción de alimentos, su precisión no debe ser necesariamente alta, por lo que se descarta la opción de un control continuo y se escoge un control si/no, que es notablemente más sencillo de implementar y además responde a las necesidades del problema.

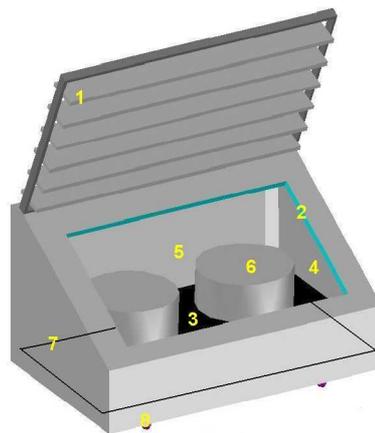


Figura 1: Vista y partes constitutivas del HSH

Los requerimientos de temperatura se fijaron con un margen de +/- 5 °C, rango que un controlador si/no puede satisfacer fácilmente. La estrategia de control dirigida al usuario, era censar la temperatura en el interior del HSH, por intermedio de una termocupla tipo J, para luego procesarla mediante un microcontrolador y de acuerdo al resultado accionar, o no, una resistencia calefactora.

¹ Investigador Adjunto CONICET.

² Docente Investigador IMA – FI UNSJ.

Existen antecedentes sobre distintas investigaciones relacionadas con las pérdidas de calor en todo el perímetro del horno solar tipo caja con cubierta plana. Se ha estudiado experimentalmente y determinado coeficientes de pérdidas de calor, con una ventana superior provistas de una a cuatro vidrios, (Channiwala et al., 1989). Por otro lado se han desarrollado trabajos relacionados con el modelado matemático, de la cocina solar tipo caja también construida con cubierta plana, (Thulasi das et al., 1994).

Los coeficientes de pérdidas por las cubiertas (U_c) de las cocinas solares tipo caja y de las cocinas solares concentradoras, tienen una influencia extremadamente importante en la eficiencia térmica de ellas, (Mullick et al., 1987; 1991).

En los años 1998 y 1999 se presentaron resultados obtenidos tanto en el laboratorio como de campo para un modelo de cocina solar, de tipo caja, (Passamai, 1998a; 1998b; 1999). Originalmente se extrajeron observaciones de termografía que demuestran la necesidad de mejorar la aislación en la base, evitando puentes térmicos.

Posteriormente ha sido desarrollado el modelado computacional sobre una cocina solar con cubierta inclinada en INENCO, Salta, (Quiroga M. et al., 2001). Más recientemente se han realizado evaluaciones de coeficientes de pérdidas debido a las cubiertas transparentes de una cocina solar de tipo caja, con un reflector de área igual al área de apertura, para cuatro tipos de cubiertas distintas: vidrio simple, vidrio doble, policarbonato alveolar y policarbonato alveolar doble (M. Checura, V. Passamai, 2010). En este caso las cubiertas transparentes, se encontraban inclinadas 13°.

También en el trabajo de M. Checura, V. Passamai, (2010) se menciona que en un estudio previo se destaca la importancia de evaluar el coeficiente de pérdidas por la cubierta, U_c , de las cocinas solares tipo caja debido a diferentes materiales, con un método distinto al de la primera figura de mérito F1 propuesto en el protocolo de la RICSA. De dicho estudio se identifica además, la necesidad de cuantificar U_c , para poder tener una estimación de las pérdidas debido a la cubierta y su relación con el coeficiente global de pérdidas, U . Además los autores de ese trabajo de evaluación, mencionan que con el objetivo de mejorar el comportamiento de la cocina solar tipo caja, existen otros antecedentes de investigaciones realizados en la Argentina sobre testeo de materiales reflectantes y testeo de materiales de la chapa metálica. A los trabajos mencionados, se suman evaluaciones generales del comportamiento de cocinas solares tipo caja de diferentes características, y su variación con el tiempo y frecuencia de uso.

Por otro lado se ha estudiado mediante una simulación experimental, la distribución de pérdidas de calor sobre un simple vidriado en un colector tipo plano, considerando una velocidad de viento variable sobre una cubierta con vidrio simple. Los resultados demostraron que el aumento de la velocidad del viento de 2 a 4,5 m/s, incrementa las pérdidas convectivas de la cubierta superior del colector, en el orden del 87 al 91 % y reduce el flujo de calor de todo el colector, (Bhatt et al., 2011).

La toma de datos, tanto en nuestro trabajo anterior como en los demás relevados, fueron realizados con un datalogger conectado a una PC que guarda los datos con una frecuencia regulable, y la evolución de las temperaturas a lo largo del tiempo se midieron con un grupo de termocuplas de cobre-constantán. En este sentido se aclara que en el presente trabajo, no se retomará el sistema adquirente de datos utilizando termocuplas, y sí se buscará evitar pérdidas de calor a través de un sistema de medición distribuido alternativo destinado a mejorar el diseño global del HSH.

Antecedentes sobre sistemas de medición distribuidos

El concepto de redes de sensores distribuidas se aplica aproximadamente desde la década de 1980, pero los avances de la tecnología MEMS (Micro Electro Mechanical Sensors), desarrollados en la década del año 2000, han dotado a las redes de sensores distribuidas (en inglés DSN –Distributed Sensor Networks–) de un potente significado de sensado, análisis y respuesta en ambientes dinámicos; incluso sobre importantes áreas geográficas (al considerar tales redes con tecnología inalámbrica, WDSN –Wireless Distributed Sensor Networks–). Los dispositivos con dichas tecnologías resultan con encapsulados robustos, económicos, eficientes en consumo energético y muy aplicables, tanto a problemáticas masivas como especializadas, incluso para monitoreo de ambientes hostiles, (Iyengar, 2004).

Pero los costos de las tecnologías de punta siempre son importantes de considerar, sobre todo en el contexto de los países en vías de desarrollo. Esta realidad lleva, en muchas ocasiones, a diseñar e implementar sistemas de bajo costo por parte de quienes requieren utilizar las bondades de tales tecnologías. Además, el desarrollo de bajo nivel (tanto de hardware como de software) de una DSN permite poder modificar, acondicionar, expandir, mantener y readaptar todas aquellas características (escalabilidad) que se consideren en futuros trabajos para mejorar el desempeño de la red. Esta idea respalda fuertemente las inversiones realizadas, en dichos contextos socioeconómicos.

Con respecto al párrafo anterior, es interesante considerar trabajos como el de (Gutiérrez et al, 2009), en el cual se propone el desarrollo de una red de sensores distribuida para integrarla a una casa solar bioclimática; mediante dicha red se administran variables, sensores y actuadores que coexisten en la casa. Dicha red está basada en un bus RS-485, cableado de 4 hilos, arquitectura física descentralizada y arquitectura lógica centralizada, todos los nodos son idénticos y es posible conectarles diferentes tipos de sensores y actuadores. La computadora central almacena todos los datos y controla parámetros accesibles al usuario desde la web. En su obra, Gutiérrez et al mencionan que decidieron no utilizar un sistema comercial de casas inteligentes específico, para poder tener más control sobre las adaptaciones y mejoras que deban realizar para integrar, tanto los dispositivos previos como los que adquieran en un futuro, extendiendo así la vigencia del desarrollo en cuestión.

DESCRIPCION

La presente propuesta, se encuentra dirigida al desarrollo de un sistema de mediciones en tiempo real, que permita la medición de varios puntos de sensado. Se pretende contribuir a una mayor eficiencia energética, mediante el análisis de las pérdidas de calor, a través del relevamiento del comportamiento térmico experimental del HSH en PC. De esta manera, con la creación de dicho sistema de medición, se busca aportar tanto al mejoramiento del diseño, como a la disminución de la intervención del usuario.

Mejorar el diseño del HSH implica, que requiera menos correcciones de reorientación solar, además de contribuir a ajustar el controlador automático de acuerdo al nivel de radiación solar incidente. Esto permite evitar pérdidas de calor, favorecer a la transferencia de calor a los alimentos a cocinar o calentar a través de los recipientes utilizados, haciendo eficiente la energía solar o disminuyendo costos y consumos de energía eléctrica.

El diseño de la cubierta de este HSH, es con pendiente y responde a la latitud del lugar para la cual fue creado. La forma utilizada, permite separar la superficie de entrada de la radiación solar de la puerta de ingreso y egreso de alimentos. Así esta puerta, presenta un perímetro en la que es necesario controlar la posibilidad de infiltraciones de aire proveniente del frecuente viento sur y disminuir las pérdidas de calor del interior del horno.

Por lo tanto la primera etapa de este trabajo experimental, está dirigido a comprobar el comportamiento del sistema de mediciones aplicándolo al estudio de las pérdidas de calor de la puerta posterior de un horno solar híbrido inclinado con vidrio doble. Y que como medida para mejorar la eficiencia, ha considerado el estudio y la instalación de burletes en el perímetro de la puerta posterior mencionada, (figura 2).



Figura 2: Vista frontal y posterior con puerta burleteada incluyendo rama con sensores.

MATERIALES Y METODOS

Sistema de medición distribuido. Diseño.

Disponer de un sistema capaz de medir variables climáticas (por ejemplo temperatura), simultáneamente (o cuasi-simultáneamente, para ello debe muestrearse en intervalos mucho menores que la constante de tiempo del fenómeno medido), en distintos puntos del espacio 3D, fue la motivación del presente trabajo. Dichas mediciones se requieren para analizar el comportamiento térmico dinámico real –no de laboratorio– de un HSH, esperándose que dicha información sea útil para que, en trabajos futuros, se mejoren el diseño y el control automático que asiste a dicho horno, pretendiendo así superar su desempeño actual.

Medir en diferentes puntos a la vez implica contar con una red de sensores distribuida. ¿Por qué distribuida?... La distribución espacial de los sensores permite a los mismos estar mucho más cerca del fenómeno físico “desconocido”, respecto de lo que estaría un único sensor.

Como especificaciones de diseño, para el sistema de mediciones desarrollado en este trabajo se planteó:

- Evitar deteriorar el HSH objeto de la medición.
- Utilizar sensores económicos, robustos, de fácil implementación, de bajo consumo y escaso mantenimiento.
- Cableado liviano, flexible, de sección reducida, capaz de soportar las altas temperaturas interiores del HSH.
- Conseguir un módulo (nodo de la red) “escalable”, es decir, que acepte de manera directa el agregado de más sensores.
- Emplear componentes electrónicos de propósito general, en la mayor medida posible, para independizarse (al menos durante algunos años) de ausencia de repuestos en el mercado nacional.
- Incorporar tecnología inalámbrica para permitir ubicar la PC (donde se registran y visualizan las mediciones) independientemente de las cercanías del HSH.
- Para todo lo anterior, priorizar la reducción de costos.

Si bien hasta el momento sólo se mide temperatura, el diseño del sistema de medición aquí planteado prevé la futura conectividad de sensores dedicados a determinar el comportamiento cuantitativo de otras variables físicas (humedad, radiación solar, velocidad del aire, luminosidad).

En la figura 3, se muestra el esquema del diseño previsto para medir variables climáticas (temperatura, humedad y velocidad del aire), con sensores distribuidos espacialmente. De esta figura se evidencia que existen dos subsistemas: el asociado con la

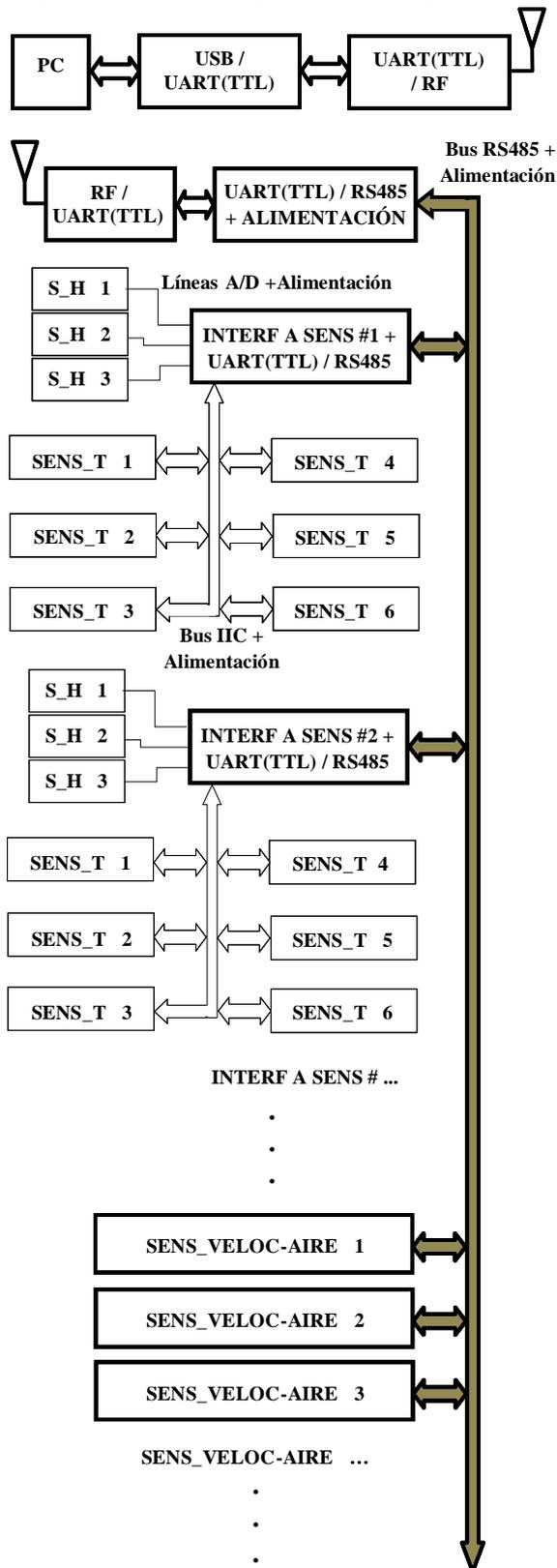


Figura 3: Esquema del sistema diseñado para la medición de variables ambientales (temperatura, humedad y velocidad del aire).

PC, y el asociado con los sensores; dichos subsistemas se vinculan por radioenlace.

En el primer subsistema, la PC recibe y envía datos mediante un módulo de RF conectado (mediante un puente USB/UART (TTL)) a uno de los puertos USB de la mencionada PC. De esta manera, y ocupando un solo puerto USB, se consiguió independizar la ubicación de la PC de las cercanías del HSH, posibilitando al investigador ubicarse con su computadora (que hace las veces de equipo de registro y visualización de datos) en un lugar más conveniente. El alcance del radioenlace debe cubrir el área que abarca el terreno de una vivienda.

La alimentación de los elementos asociados a la PC se realiza a través del mismo puerto USB, sin conexiones exclusivas para tal fin.

En el subsistema que contiene a todos los sensores se estructura en “tronco” y “ramas”. El *tronco*, comienza con el módulo de RF (que vincula al presente subsistema con el de la PC), el cual recibe y envía datos, a través de un transceptor RS485, al bus RS485, también denominado “bus troncal”. Luego, en distintos puntos de dicho bus, nacen las ramas. Se proyectaron ramas “simples” y “complejas”. Las *ramas simples* están constituidas por sensores con interfaz RS485 incorporada, los cuales se consiguen en el mercado (por ejemplo, sensores de velocidad del aire, ó estaciones meteorológicas). Las *ramas complejas* contienen a varios sensores, analógicos y digitales, cuyas mediciones son leídas y enviadas al bus troncal mediante una Interfaz a Sensores (la cual, internamente, posee un transceptor RS485).

Dicha interfaz posee un circuito inteligente programable (microcontrolador) y tiene disponible un bus IIC para sensores digitales de temperatura (en principio, se prevé emplear sensores LM73, por eso la limitación de 6 sensores como máximo conectados al bus IIC). Además, las Interfaces a Sensores deben implementarse con disponibilidad de conexiones de sensores analógicos (líneas A/D), para conectar por ejemplo sensores de humedad (también existen sensores analógicos de radiación solar).

La fuente de alimentación de todo el subsistema de tronco y ramas (implementada con pilas recargables), se ubica junto con el transceptor RS485 adyacente al módulo de RF; así, en paralelo con el bus troncal, con el bus IIC y con las líneas A/D, se despliegan 2 hilos dedicados al transporte de energía para la alimentación de todos los componentes electrónicos involucrados.

Vale comentar que, gracias a las cualidades de la norma RS485, será posible conectar hasta 32 ramas al bus troncal (pudiendo expandir dicho límite hasta 128 ramas, si se consiguieran transceptores RS485 con unidades de carga de 1/4).

Hasta aquí, se ha descrito el diseño del sistema de medición que ha sido creado, para aplicarlo al estudio de un HSH. A continuación, se describe el sistema piloto desarrollado hasta el momento, el cual constituye una rama compleja (con sensores de temperatura digitales) vinculada por radioenlace con el subsistema de la PC.

Sistema de medición distribuido. Desarrollo piloto.

El sistema de medición elaborado para el presente trabajo, se muestra en la figura 4. Se emplean 3 sensores de temperatura digitales LM73 de National Semiconductor Corporation, los cuales se comunican con la “Interfaz a Sensores” vía IIC. Dicha interfaz (diseñada por los autores de esta obra) se basa en una implementación con el microcontrolador MC9S08QG8 de Freescale, el cual controla la lectura de los sensores (mediante su módulo interno IIC) y envía los datos correspondientes (mediante su módulo interno SCI) a un transceptor de RF (APC220, de Shenzhen Appcon Technologies Co. Ltd), por medio de comunicación serial con niveles TTL.

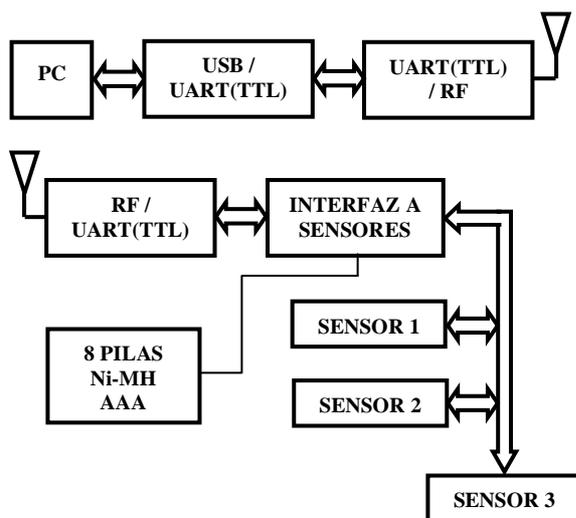


Figura 4: Esquema integral del dispositivo piloto creado para medir temperaturas.

Siguiendo el flujo de datos hacia la PC, otro transceptor similar al descrito anteriormente (APC220) recibe la información emitida por la Interfaz a Sensores y la traduce a señales de comunicación serie (UART) y niveles TTL. A continuación, un

adaptador (basado en el chip CP2102 de Silicon Labs) convierte lo entregado por el UART(TTL) anterior, a señales compatibles con los puertos USB de la PC. Y la PC, mediante la ejecución de rutinas de MATLAB, lee, procesa y grafica los datos recibidos, conforme avanza el tiempo (es decir, *se genera la gráfica en tiempo real*). La PC puede también enviar órdenes y datos hacia la Interfaz a Sensores.

El conjunto conformado por Interfaz a Sensores, más todos los sensores y el transceptor de RF adyacente, es alimentado por ocho pilas recargables AAA; mientras que los elementos asociados a la PC (transceptor de RF y adaptador UART/USB) se alimentan con energía del puerto USB de la PC, (ver figura 5).

El principal componente de la Interfaz a Sensores (MC9S08QG8) fue escogido por las siguientes condiciones: bajo costo; disponibilidad en el mercado nacional; módulos internos SCI, IIC y conversores A/D, cada uno de ellos disponibles en terminales independientes del encapsulado (Freescale Semiconductor, Inc., 2009).

Así, el bus IIC resulta exclusivo para la conexión de sensores digitales, las líneas de conversión A/D se prevé para conectar (en un futuro) sensores analógicos, y el bus serie operado por el módulo SCI está dedicado a transmitir datos hacia la PC.

Como sensor de temperatura, se escogió el LM73 debido a: su rango de trabajo (-40°C a 150°C), su bajo tiempo de conversión (14ms con una resolución de 0,25°C); el hecho de poder conseguirlo mediante una empresa importadora nacional; bajo costo; interfaz IIC de comunicación.

Al respecto, cabe ser destacado, que se ha implementado la conexión IIC de los tres sensores LM73 a un cableado (empleando cable plano del tipo utilizado en computadoras para los discos IDE) de 1,5m de longitud, funcionando correctamente todas las comunicaciones a 200kHz.

Se conecta un máximo de tres sensores a dicho canal debido a que el fabricante del LM73 especifica un máximo de tres direcciones posibles para sensores con el mismo encapsulado (National Semiconductor Corporation, 2009).

Vale decir que, si se adquirieran en un futuro el otro tipo de encapsulado que ofrece el fabricante para el mismo sensor, se podrían conectar entonces hasta un máximo de 6 sensores al mismo bus IIC.



Figura 5: Vista de la PC y demás elementos asociados.

La alimentación de todos los sensores IIC se realiza, transportando energía desde la Interfaz a Sensores, mediante dos hilos más (implementados con el mismo cable plano) que se extienden junto con los dos hilos del bus IIC.

En definitiva, desde la Interfaz a Sensores, se presenta un cable plano de 4 hilos, a lo largo de 1,5m; y en paralelo a dicho cableado se conectan los sensores IIC, consiguiéndose la conexión de 3 sensores LM73 con solo un cable plano de 4 hilos (ver figura 6).

El transceptor de RF APC220 se eligió por: estar disponible en el mercado nacional; su bajo costo; su compatibilidad con señales de puertos UART; su adecuada potencia (20mW, aceptable para el alcance geográfico del terreno de una vivienda); y su flexibilidad para operar en más de 100 canales de RF; además, sus dimensiones son muy convenientes, para conformar un dispositivo inalámbrico, con una diversidad de posibles aplicaciones, tanto para trabajos de investigación en hornos –y otros sistemas termosolares–, como así también en proyectos concernientes a Arquitectura Bioclimática (Shenzhen Appcon Technologies Co. Ltd, 2008).

Tanto los sensores ubicados en el interior del HSH como cable plano de 4 hilos, fueron protegidos de las altas temperaturas que se producen dentro del horno durante su operación normal. Para ello se recubrió el perímetro del sensor y el cableado con una lámina de aislante térmico –espuma de polietileno trilaminada, de Laboratorios Valmax (del tipo utilizado en la

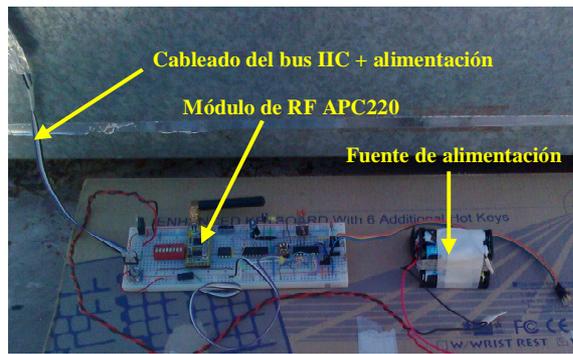


Figura 6: Vista de la conexión del cableado (bus IIC + alimentación) proveniente de los sensores LM73 –introducidos en el HSH–, con la Interfaz a Sensores implementada en experimentor. También se muestra el módulo RF y la fuente de alimentación, asociados a la interfaz.

conservación de medicamentos)– , y además fue protegido exteriormente por cinta adhesiva de aluminio –fabricada por Euro Technologies (comúnmente utilizada en instalaciones de refrigeración)–. Así, la protección en cuestión resultó maleable y resistente a las deformaciones derivadas de la manipulación propia de la instalación.

Antes de pasar a exponer y discutir los resultados, es importante aclarar que el periodo de muestreo implementado para la lectura de los sensores se configuró en aproximadamente 0,2s. La frecuencia de operación del HSH, se determino en 1,5 min (Buigues Nollens A. F. et al., 2008); por lo tanto, el periodo de muestreo asignado considerando hasta 75 sensores se determinó en 0,2s.

RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS DE CAMPO Y DISCUSIÓN

Para el relevamiento del comportamiento térmico, se colocaron en forma de rama, tres sensores, uno sobre la placa negra y contigua a la puerta, otro fue instalado sobre el marco de la tapa y un tercero fue dispuesto en el exterior.

Durante las campañas de prueba del sistema de mediciones creado en este trabajo, se obtuvieron los resultados siguientes:

Respecto a la instalación y operación del instrumental

La instalación del cableado y los sensores, dentro del horno, incluyendo su protección térmica ante elevadas temperaturas, no requirió perforar la envolvente del HSH; dicha perforación podría ser necesaria cuando se precise estudiar temperaturas en el interior de las paredes, puerta, vidrio y/o base del horno. El hecho de trabajar con cable plano, permitió (a pesar de estar cubierto por espuma de polietileno y cinta de aluminio) ubicar el único cableado que ingresa al horno en el mismo espacio que separa la puerta del respectivo marco del HSH. El espesor de la sección conformada por el cable plano más la protección total no superaron los 4mm.

Una distribución esquemática de los puntos de sensado se muestra en la figura 7. En esta se observa, como fue distribuida durante la experiencia piloto, la rama principal de sensores (1), para así poder estudiar en forma experimental el comportamiento térmico del aire en relación a la puerta trasera. Y también se observa cual será la disposición futura de sensores en ramas, para poder analizar: el lateral de atrás (2), la placa de fondo (3), el lateral izquierdo (4), el doble vidrioado hermético superior (5), el lateral de frente (6), el lateral derecho (7).

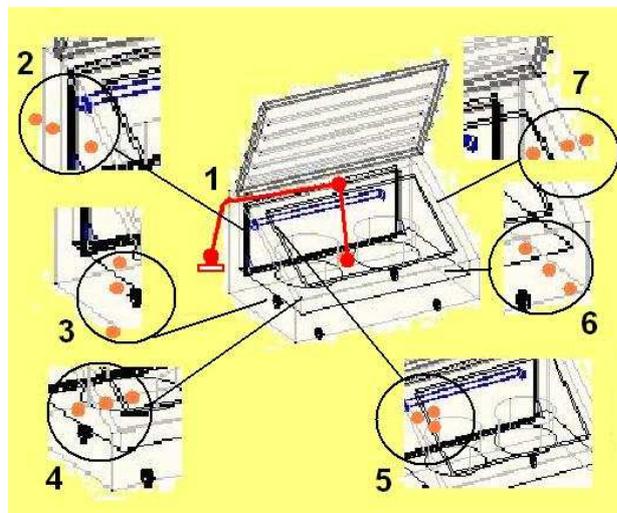


Figura 7: Distribución esquemática de puntos de sensado.

En la figura 8, se observa en forma esquemática como será implementado el sistema con bus troncal y ramas. Tal implementación se realizará mediante el posicionamiento de las interfaces a sensores dentro del horno, para luego producir

la salida del bus troncal hacia el exterior. Estos troncales han sido identificados como: 1- troncal con red de ramas internas, 2- troncal con red de ramas medias y 3- troncal con red de ramas externas.

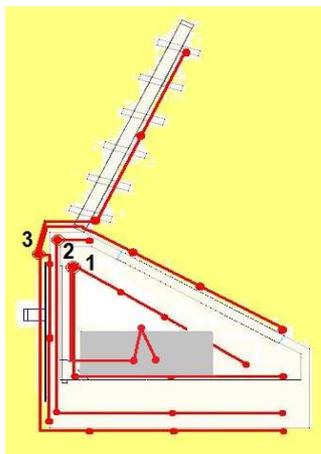


Figura 8: Esquema del sistema distribuido de sensores en red.

En consecuencia, las próximas etapas del desarrollo del sistema de medición aquí planteado tendrán, entre sus objetivos, optimizar el espacio volumétrico que ocupen dichas interfaces y prever también su aislamiento a elevadas temperaturas. El radioenlace inalámbrico evitó la necesidad de llevar la PC hasta las cercanías del horno. Se comprobó que a 20 metros de la ubicación del HSH, en la PC se reciben los datos sin inconvenientes.

La visualización en tiempo real permitió ver la evolución de las mediciones mientras ocurrían; esto permitió realizar el seguimiento solar en forma manual y concretar nuevas pruebas, aprovechando mejor las horas de experimentación (comparadas con aquellas cuando no se dispone de dicha visualización).

Respecto a las mediciones

Los resultados experimentales obtenidos de la situación térmica existente, utilizando el dispositivo piloto de sensado con el HSH sin burlete en la puerta posterior (figura 9), muestra con una temperatura de aire promedio de 85°C sobre la placa negra (línea azul), como la temperatura de aire en el perímetro de la misma (línea roja), se acerca a la temperatura de aire ambiente (línea verde).

Luego, se dispuso un burlete de poliuretano inyectado en todo el perímetro interno de la hoja de la puerta. El mencionado burlete fue envuelto y fijado con cinta autoadhesiva de aluminio, dejando el sensor localizado en el mismo lugar es decir sobre la hoja de la puerta, pero ahora con el burlete aislándolo del aire exterior, y de manera que el sensor pueda estar sin obstáculos, en contacto con el aire del HSH, (figura 10).

Los resultados del comportamiento térmico del HSH en esta nueva situación (figura 9), muestran con casi igual temperatura de aire promedio sobre la placa negra (línea azul), que la temperatura de aire en la mencionada puerta (línea roja) se acerca a la temperatura de aire ambiente (línea verde).

En la figura 11, además se observa (línea azul) como el dispositivo piloto tuvo un comportamiento adecuado, aún con temperaturas de aire sobre la placa negra, superiores a 105°C.

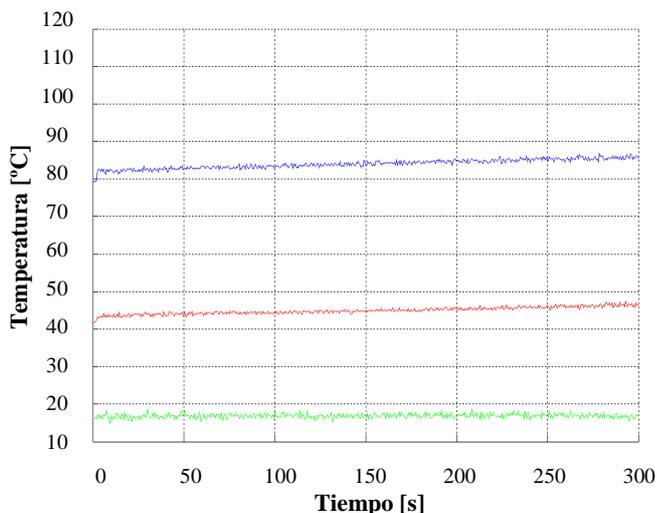


Figura 9: Temperaturas de tapa posterior sin burlete.

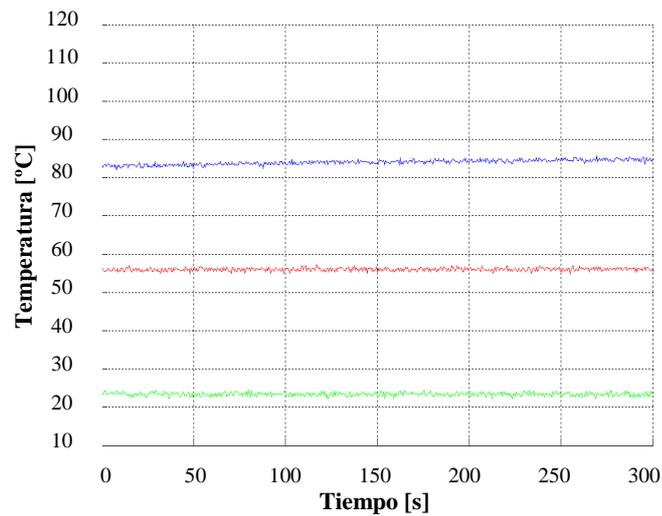


Figura 10: Temperaturas de tapa posterior con burlete.

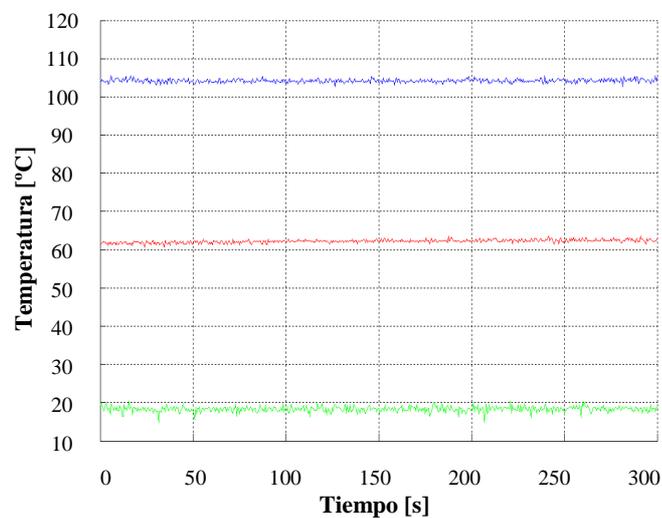


Figura 11: Temperaturas máximas con sistema piloto.

CONCLUSIONES

Respecto a la instalación y operación del instrumental

- **El diseño de la instalación del cableado y los sensores considero una distribución por capas con mínimas rupturas del HSH.** Esta etapa piloto **no requirió perforar la envolvente interna del HSH.**

La implementación del dispositivo definitivo de sensado, fue planificada en forma distribuida en red con estructura en forma de bus troncal con ramas, considerando posicionar las Interfaces a Sensores dentro del horno. Y se ha considerado también la salida al exterior de solo un cableado principal vinculado a numerosos sensores para la capa interna. Con similar estructura ha sido contemplada la distribución de sensores intermedios y exteriores al HSH.

- **El dispositivo piloto tuvo un comportamiento adecuado aún con temperaturas superiores a 105 °C.** El espesor mínimo de la sección conformada por el cable plano más la protección para elevadas temperaturas, en total no supera los 4mm.

Las próximas etapas del desarrollo del sistema de medición planteado, tendrán entre sus objetivos, optimizar el espacio volumétrico que ocupen dichas interfaces y prever también su aislación a elevadas temperaturas.

- **El radioenlace inalámbrico evitó la necesidad de llevar la PC hasta las cercanías del horno.** Se comprobó que a 20 metros de la ubicación del HSH, en la PC se reciben los datos sin inconvenientes.

- **La visualización en tiempo real permitió realizar el seguimiento solar en forma manual y concretar nuevas pruebas, aprovechando mejor las horas de experimentación** (comparadas con aquellas cuando no se dispone de dicha visualización).

Respecto a su utilidad y aplicación

- Posibilita la adopción de decisiones dirigidas al mejoramiento experimental del comportamiento energético del HS.

El dispositivo de fácil aplicación resulta una **alternativa útil para realizar mediciones**, contribuye a verificar la existencia de pérdidas de calor, diagnosticar el estado energético existente, evaluar puntos críticos de pérdidas de calor, corroborar el estado energético mejorado y valorar el grado de las mejoras introducidas.

REFERENCIAS

- Buigues Nollens A. F., Rojos E.O. y Fariello M. (2008). Comportamiento térmico experimental de un horno solar híbrido. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Pags. 08.85 a 08.91. INENCO, Salta, Argentina.
- Bhatt M.K., Gaderia S.N. and Channiwalla S.A. (2011). Distribution of Heat Losses in a Single Glazed Flat Plate Collector at Variable Wind velocity – An Experimental Simulation, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 78, pp. 453-457.
- Channiwalla S.A. and Doshi N.I. (1989). Heat loss coefficients for box-type solar cookers. *Solar Energy*, Pergamon Press. Vol. 42, N° 6, pp. 495-502. New York, U.S.A.
- Checura M. y Passamai V. (2010). Coeficiente de pérdidas por la cubierta de distintas tapas de cocinas solares tipo caja. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 14. Pags. 3.29 – 3.36. Cafayate, Salta. ISSN 0329-5184.
- Freescale Semiconductor, Inc. (2009). *MC9S08QG8 MC9S08QG4 data sheet: HCS08 microcontrollers* [en línea]. Rev. 5, p. 24 [citado 16 de marzo de 2011] Disponible en internet: http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08QG8.pdf.
- Gutierrez A., Jimenez-Leube J. and Magdalena, (2009). L. A Distributed Sensor Network for the Control of a Bioclimatic House in Spain, *Sensors*, 9, 8197-8214; doi:10.3390/s91008197.
- Iyengar S. S. et al, (2004). Next Generation Distributed Sensor Networks Proceedings of Office of Naval Research, September 5-6, USA.
- Quiroga M., Saravia L.R., Cadena C. (2001). Aplicación del Programa Sceptre para la Situación de una Cocina Solar Tipo Caja. *AVERMA* Vol. 5 N° 28. Pags.121-126. INENCO: Universidad Nacional de Salta – CONICET. Buenos Aires 177, 4400. Salta, Argentina.
- National Semiconductor Corporation. (2009). *LM73: 2.7V, SOT-23, 11-to-14 Bit Digital Temperature Sensor with 2-Wire Interface* [en línea]. p. 9 [citado 27 de julio de 2011] Disponible en internet: <http://www.national.com/ds/LM/LM73.pdf>
- Passamai, V. (1998a). Experiencias de laboratorio y de campo con un horno solar. *AVERMA*, Vol. 2 N°1. Pags. 02.29-02.32. INENCO, Salta.
- Passamai, V. (1998b). Simulación del comportamiento térmico de una cocina solar. *AVERMA*, Vol. 2, N°1. Pags. 02.33-02.36. INENCO. Salta, Argentina.
- Passamai, V. (1999). Simulación del comportamiento térmico de una cocina solar (Parte II). *AVERMA* Vol. 3, N°2. Pags. 08.85 -08.88). INENCO. Salta, Argentina.
- Shenzhen Appcon Technologies Co. Ltd. (2008). *APC Series Transparent Transceiver Module APC220-43*. [en línea]. p. 2 [citado 25 de mayo de 2012] Disponible en internet: <http://www.appcon.com.cn/video/upload/2009061934694108.pdf>.
- Mullick S, Kandpal T, Saxena K, (1987). Thermal Test Procedure for Box - Type Solar Cookers, *Solar Energy*, Pergamon Press, Vol. 39, N° 4, pp. 353-360. New York, USA.
- Mullick S, Kandpal T, Kumar S, (1991). Thermal Test Procedure for a Paraboloid Concentrador Solar Cooker, *Solar Energy*, Pergamon Press, Vol. 46, N° 3, pp. 139-144. New York, USA.
- Thulasi Das T. C., Karmakar S. and Rao D. P. (1994), Solar Box Cooker: Part I - Modeling, *Solar Energy*, Pergamon Press Vol. 52, N° 3, pp. 265-272. New York, USA.

ABSTRACT

The objective of this work is aimed at developing a system in real time, facilitates the measurement at several points of sensing, and allow a pilot in an experimental analysis of heat losses of a Hybrid Solar Oven by tracking thermal behavior of PC. The methodology considers the survey background, and establishment of pilot measurements in a distributed manner. The results of field experiences, regarding the installation and operation of the instrument showed appropriate behavior even at temperatures above 105 ° C. Finally, the system proves to be a useful tool for researchers, by enabling the adoption of decisions to make efficient solar thermal power.

Keywords: development, alternative system, distributed measurement, hybrid solar oven, pilot experience.