

DESARROLLO DE UNA RED DE SENSORES PARA EL MONITOREO POR RADIO FRECUENCIA DE UNA VIVIENDA SOLAR ACTIVA.

F. Mendoza, D. Hoyos*, L. Cardon*,.**

*INENCO (UNSa – CONICET), Av. Bolivia 5150, A4400FVY, Salta, Argentina

**Laboratorio de Ciencias Computacionales, Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta
Av. Bolivia 5150, A4400FVY, Salta, Argentina
e-mail: cardonluis2008@gmail.com

Recibido 14/08/13, aceptado 23/09/13

RESUMEN: Este trabajo describe un sistema de adquisición de datos y de control desarrollado para el estudio experimental de una vivienda solar activa. El equipo se desarrolló y construyó a partir de módulos comerciales de radio frecuencia programables (MCE wireless Kit RF de MC Electronics) complementados con un multiplexor analógico de ocho canales basado en el circuito integrado C.I. CD4051. Así, cada módulo de radio frecuencia programado como adquirente de datos es suficiente para tomar ocho temperaturas de una habitación o de partes del equipo. Se sumaron 40 sensores de temperatura para los cuales se usó el circuito integrado LM35. Un módulo central hace interfaz con un servidor Linux embebido en un enrutador-WIFI.

Palabras clave: instrumentación, control, redes de sensores, domótica, inalámbrico, radio frecuencia, sistema solar activo

INTRODUCCIÓN

La adquisición de datos para el monitoreo de viviendas, edificios y otros experimentos en el área de la energía solar se había realizado entre nosotros, hasta hace muy poco, utilizando redes de sensores conectados físicamente a un equipo de adquisición de datos que a su vez se conecta a una PC para realizar el control de la medición, archivo de los datos y visualización de los mismos (véase por ejemplo el monitoreo realizado por Flores Larsen et al. (2008)).

Un ejemplo típico del primer caso de instrumentación fue utilizado recientemente para el monitoreo de un piso radiante solar (Mendoza y Cardon, 2011, Cardon y Mendoza, 2012) en el que se utilizó una red de termopares conectados a un módulo de adquisición de datos ADAMS. Con este tipo de tecnología es posible obtener datos con buena precisión. No obstante, el costo de los equipos, así como también el cableado de termocuplas es elevado, lo que justifica considerar redes de sensores inalámbricas (WSNs, por su denominación en inglés, *Wireless Sensors Networks*). En el caso del monitoreo de viviendas habitadas la disposición del cableado es un factor adicional en favor de estas últimas.

Con el mismo fin se han utilizado también módulos de adquisición independientes, de un solo canal, con acumulación de datos en memorias USB (Flores Larsen, 2010). En este caso no se requiere cableado pero deben disponerse de numerosos dispositivos y no es posible un monitoreo automático, instantáneo, de todo el conjunto de datos adquiridos. Los dataloggers independientes (*stand-alone*) HOBO son un ejemplo de este tipo de equipo. Esta tecnología ha evolucionado para proveer dataloggers individuales de varios canales, datalogger inalámbricos y dataloggers basados en la web, no obstante el costo de estos equipos comerciales es muy elevado.

En la última década han aparecido nuevos circuitos electrónicos que han posibilitado a su vez el desarrollo y la ubicuidad de las redes de sensores. En este trabajo se muestra el desarrollo de un sistema de adquisición de tipo red basado en estos adelantos. Localmente se ha trabajado con las tecnologías de conectividad I2C y ZigBee (Villena et al., 2009), ZigBee con el protocolo MODBUS (Moya et al, 2010 y Moya y Hoyos, 2012).

Las redes de sensores tienen aplicación en numerosos campos de la actividad en donde se requiere la toma de datos en sitios dispersos. En el campo de la agricultura se puede citar el monitoreo de la vitivinicultura de precisión (Matese et al., 2009). Se desarrollaron también para aplicaciones en el campo de la ingeniería ambiental, (Capella et al., 2011), de la acuicultura, (Crowley et al., 2005), y de las ciencias del deporte (Qia et al., 2012).

En este trabajo se describe una red de sensores diseñada para el monitoreo y control de una vivienda solar activa, basada en una red punto a punto de módulos programables conectados por radiofrecuencia, MCE wireless Kit RF de MC Electronics. Estos módulos han sido desarrollados por el fabricante a partir del integrado SIM20 de SIMCOM y el microcontrolador PIC 18F14K50 de Microchip. Este tipo de red, comparadas con las desarrolladas recientemente por Hoyos y colaboradores (2012) presentan la ventaja de su simpleza de programación e implementación.

Un nodo de control se conecta usando USB con una PC embebida en un enrutador-WIFI, que lo conectada con Internet por una conexión telefónica. El sistema permite acceso remoto a través del programa SSH (Secure Shell) desde cualquier dispositivo (netbook, teléfono celular, etc.) para ejecutar comandos programados en Python para el control o exploración de datos, así como la configuración de parámetros de control.

INSTRUMENTACIÓN DE UNA VIVIENDA SOLAR ACTIVA.

La red de sensores se diseñó para instrumentar en forma económica una vivienda solar activa que se espera monitorear en forma permanente durante largos períodos de tiempo.

La vivienda es un departamento de dos ambientes y baño que se utilizará para estudiar el comportamiento de un sistema de calefacción por piso radiante hidrónico solar. El departamento tiene dos circuitos de calefacción uno en la habitación y otro en la cocina-comedor. Estos pueden conectarse en serie o en paralelo y pueden activarse o desactivarse individualmente, mediante operación manual. El diseño del circuito de calefacción obedece a los objetivos del estudio que se quiere realizar en el departamento.

Los circuitos de calefacción se conectan con un banco de colectores solares de placa plana. La Figura 1 muestra el plano de planta y un corte transversal del departamento que ocupa un primer piso arriba de un garaje abierto. En esta última Figura se muestra la ubicación de los nodos de adquisición y de control. Los círculos negros en la Figura 1, a la derecha, indican la ubicación de los nodos de datos, mientras que el recuadro blanco muestra la ubicación del nodo de control. Los sensores de temperatura están embebidos en las paredes y en la loza de la construcción. Otros monitorean las condiciones ambientales del aire.

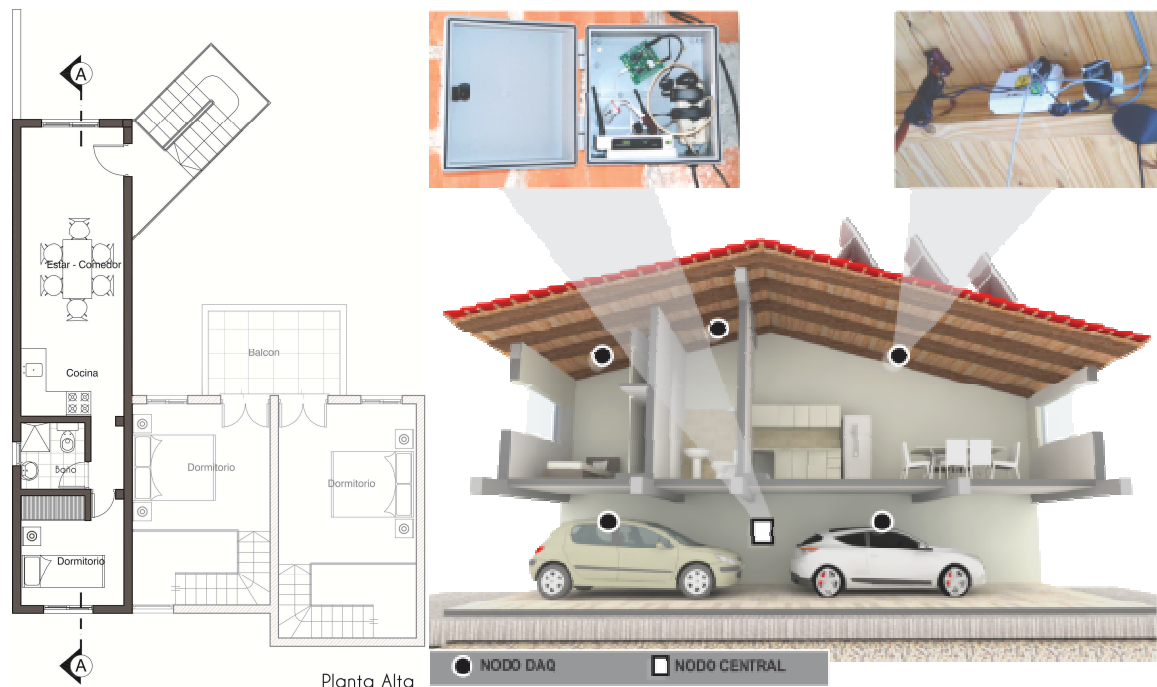


Figura 1: Esquema de planta y corte transversal de la vivienda instrumentada y los principales componentes del sistema de adquisición y control.

La instrumentación contempla la medición de temperaturas en las caras interior y exterior de las paredes, la temperatura del aire y la temperatura radiante de los ambientes principales, las temperaturas de las varias capas constructivas en las que se compone el piso radiante y las temperaturas del agua en las cañerías de calefacción. El control de encendido y apagado de la bomba de circulación se realiza a partir de la temperatura medida en uno de los colectores solares.

ARQUITECTURA DE LA RED DE SENSORES

La arquitectura del sistema de adquisición de datos y control desarrollado se puede describir como una red construida a partir de dos tipos de componentes principales que denominaremos nodos:

- Los nodos de adquisición de datos propiamente dichos.
- El nodo central de control e interfaz

Esta red, a su vez, a través del nodo central, se comunica mediante una conexión USB a una PC.

Ambos tipos de nodos se realizaron a partir del mismo circuito electrónico, el módulo MCE wireless Kit RF de MC Electronics, Figura 2. Básicamente, este módulo permite armar una red conectada por radiofrecuencia y simultáneamente

permite realizar operaciones sobre sus 10 puertos I/O. Dos de ellos pueden ser configurados como convertidores analógicos digitales y son usados para obtener la señal de los sensores incorporados a cada nodo de adquisición de datos.



Figura 2: Módulo MCE wireless Kit RF de MCElectronics.

Como el módulo MCE solo dispone de dos canales de entrada para el convertidor analógico digital, los módulos de adquisición se han adicionado con un circuito multiplexor de ocho canales.

Uno de los nodos se configura como nodo central de control e interfaz. Este nodo no efectúa adquisición de datos y solo hace de interfaz con la red, la PC de control y almacenamiento de datos.

El último componente del sistema es la PC mencionada precedentemente, que se ha realizado embebiendo un SO Linux en un enrutador inalámbrico. Esta PC permite el control remoto del sistema mediante los protocolos de comunicación usual de Linux.

La Figura 3 muestra un esquema de la arquitectura de la red.

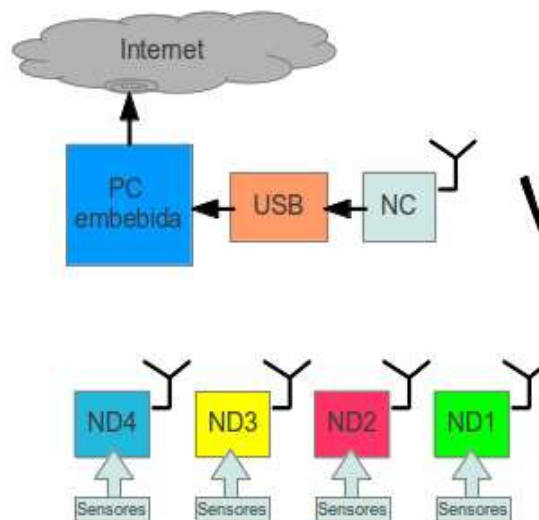


Figura 3: Arquitectura de la red de sensores. NC: módulo central, NDi módulos de adquisición y control.

El corazón de módulo de MCE es el circuito integrado SIM20, (SIMCom, 2013b), que permite formar una red de sensores. El mismo funciona a 433Mhz, 3,6V y tiene un alcance de 200m. Tiene dos modos de funcionamiento: modo dato y modo comando. En modo comando trabaja con comandos AT. Cada nodo de datos o comandos dispone de un único número de serie. Una red puede tener 255 nodos. La red se puede configurar como punto a punto o en modo transmisión (*broadcast*), en donde el control envía datos a todos los otros nodos y recibe de todos los nodos. En este trabajo se utilizó el modo punto a punto.

El kit de MCE se controla con un microcontrolador PIC 18F14K50, (Microchip Technology Inc., 2010). Este es un microcontrolador de 16 bit arquitectura Harvard, con set de instrucciones RISC, que tiene una interfaz USB, una interfaz

RS232, 9 canales analógicos de 10 bits y 14 entradas salidas digitales. El mismo se programa en C18 que es una versión del lenguaje C que cumple con el estándar ANSI y fue desarrollado por la empresa MICROCHIP. El microprograma del microcontrolador utiliza el protocolo de comunicaciones seriales RS232 para sus comunicaciones con el SIM20. .

NODO DE CONTROL

El nodo de control que se muestra en su caja conectado al enrutador-WIFI en la Figura 4, y cuyos componentes principales se describieron en el párrafo precedente, tiene la función de hacer de interfaz con la PC (embebida en el enrutador) que realiza el control del sistema y de los nodos de datos. La conexión entre ellos se hace a través del bus USB que dispone el enrutador seleccionado.

El *firmware* del microcontrolador PIC 18F14K50 (Microchip Technology Inc., 2010) del nodo de control configura una puerta serie RS232 a 9600 baudios que se conecta al integrado SIM20. También configura el bus USB como puerto virtual serie RS232 (CDC). Este programa actúa de puente entre ambas interfaces. El nodo de control se configura como nodo cero. Los nodos de datos se configuran con números correlativos desde uno a doscientos cincuenta y cinco.



Figura 4: Vista del nodo de control, hub USB, y Pc embebida en su gabinete contenedor.

NODO DE DATOS

Un nodo de datos consiste, como muestra en el esquema de la Figura 5, en un módulo RF, un multiplexor y una fuente de energía. Cada canal mide una temperatura utilizando el sensor integrado LM35, que requiere una alimentación de 5V y tiene como respuesta una tensión proporcional a la temperatura cuya relación es la mostrada en la ecuación 1.

$$T = V_{sal} / 10mV/^{\circ}C \tag{1}$$

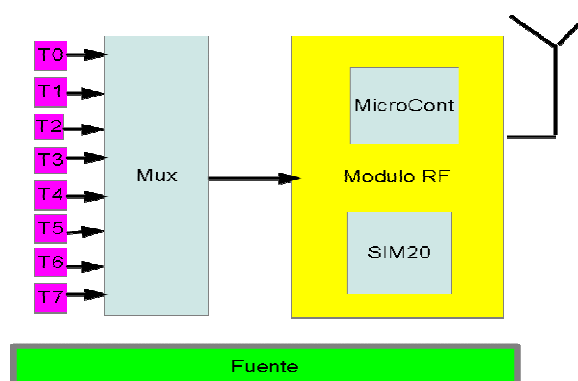


Figura 5: Esquema general de la arquitectura de un nodo de adquisición de datos.

El modulo RF dispone sólo de dos canales analógicos, por esta razón se utiliza un multiplexor que permite medir ocho canales de temperatura.

El microprograma del nodo de datos ejecuta la conversión análogo digital de canal T_i controlando el multiplexor mediante los puertos digitales de salida del módulo RF. A través de la conexión RS232 configurada y que se conecta al SIM20, transmite los datos medidos al nodo central. El proceso de medición consiste en tomar 64 muestras y promediarlas para cada canal. Con ellos se arma un paquete de datos cuya trama se muestra en la Figura 6 y se envían a la red cada cinco minutos.

Trama de datos

SRDSEND=0	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
-----------	----	----	----	----	----	----	----	----

Figura 6: Trama de datos enviada por los nodos de datos.

Dado que el sistema puede estar a la intemperie se tuvo especial cuidado en el diseño de la caja garantizando el cumplimiento de la norma International Protection IP 65. En la Figura 7 se muestra el gabinete construido para el nodo de datos. A la izquierda se observa también el circuito multiplexor que se adiciona al modulo RF y los conectores molex para los sensores.

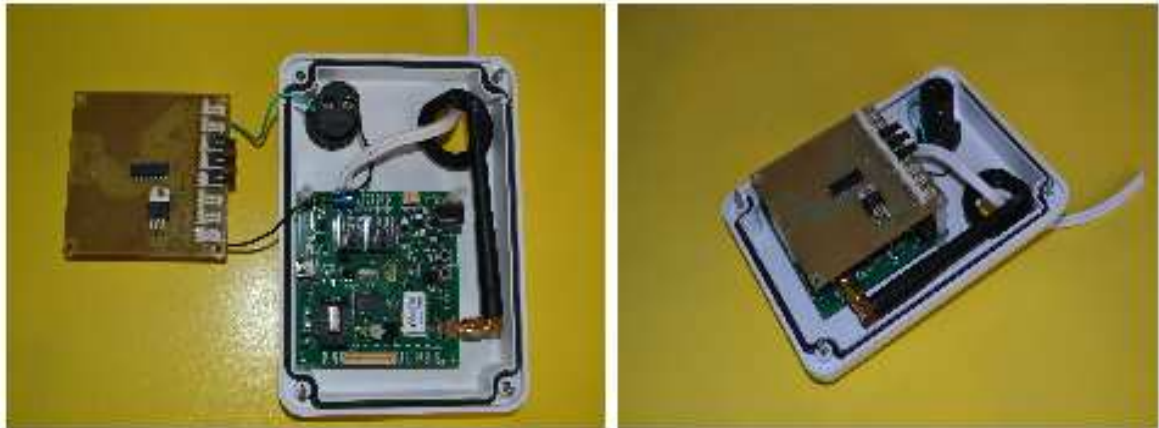


Figura 7: Vista del nodo de datos. Izquierda: El módulo MCE wireless Kit RF de MC Electronics en su caja y el multiplexor desarmado. Derecha: vista de ambos módulos en su posición de armado.

PC EMBEBIDA

El control de la red de sensores y la recolección de datos se realiza en una PC embebida en un enrutador inalámbrico. Se utilizó el enrutador TP-LINK 3420 V2.0, mostrado en la Figura 8. Este modelo se distingue de otros por poseer un puerto USB 2.0, lo que posibilita la conexión con otros dispositivos. Esto, además de su bajo costo y disponibilidad comercial, lo hace ideal para la aplicación desarrollada. Tiene 4 Mb de memoria flash y 32 Mb de memoria RAM, 400Mhz de procesador, dispone un zócalo WAN y cuatro zócalos LAN.



Figura 8: Enrutador WIFI utilizado como contenedor de una PC embebida.

El uso de esta mini PC tiene como ventaja su bajo costo y la disponibilidad de la misma en el mercado. Otros productos mejores no pueden competir con este ni en precio ni en disponibilidad.

FIRMWARE DEL PC EMBEBIDO

Para convertir el enrutador en una PC se reemplazó su *firmware* original por un sistema operativo Linux. La distribución de Linux utilizada fue OpenWrt, (OpenWrt, 2013) que consiste en un conjunto de microprogramas (*firmware*) para enrutadores inalámbricos de código GPL (General Public License), es decir libre y de código abierto. Esta distribución de Linux para dispositivos embebidos proporciona un sistema de archivos que permite almacenar información e instalar paquetes. Esto posibilita configurar y personalizar el dispositivo incorporando aplicaciones a través del uso de paquetes. La página web oficial de la distribución pone a disposición extensa información sobre su uso en diversos tipos de aplicaciones y la comunidad que la soporte es importante por lo que es fácil obtener información adicional a través de internet.

La versión elegida del microprograma fue la denominada Attitude Adjustment 12.09, versión 1.0 que es compatible con la versión de hardware 2.0 del enrutador TL MR3420. Una vez descargado, el microprograma se instala en el enrutador haciendo un update firmware desde el asistente de configuración del mismo, luego se procede a su configuración.

CONFIGURACIÓN DEL PC EMBEBIDO

La configuración se hace conectando el enrutador a una red cableada con internet. El firmware Attitude Adjustment posee una interfaz web de usuario para dispositivos embebidos llamada LUCI que permite un fácil acceso a la configuración del sistema OpenWrt desde una página web. La Figura 9 muestra la ventana de presentación de LUCI.

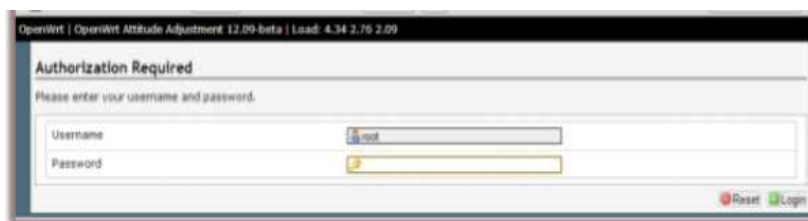


Figura 9: Ventana de presentación de la interfaz LUCI.

Los enrutadores inalámbricos poseen en general una memoria de almacenamiento muy limitada, de sólo 4 Mb para el TP Link MR3420 V 2.0 usado en este desarrollo. Gran parte de la memoria es ocupada por el sistema operativo instalado. Los módulos patrón requieren alrededor de 3Mb y Python otros 20Mb por lo que es necesario ampliar la memoria para alojar estos programas así como para ampliar la capacidad de almacenamiento de datos. Para ello se habilitó la función USB y se utilizó un pendrive de 4Gb. Con esta adición se expandió la capacidad de almacenamiento de datos.

FUNCIONES DEL PC EMBEBIDO

El PC embebido se conecta a internet a través del puerto WAN y al nodo de control a través de un hub USB, que también permite la conexión de una memoria USB como se muestra en la Figura 4.

El enrutador WI-FI se utiliza como servidor de mediciones, es decir, un dispositivo que permite gestionar y almacenar la toma de datos que provienen de nodos de datos en la memoria USB (*pendrive*). Además, realiza una copia de respaldo de los datos medidos enviándolos por internet a una cuenta de Google con servicio de Google Drive. Esto permite acceder a los datos *ex situ* a través de internet. El ingreso de la información al dispositivo embebido se realiza por el puerto USB ACM.

Las diferentes tareas de medición, tales como la toma de datos en uno u otro dispositivo dentro de la red, la configuración de control de funcionamiento de la bomba, etc., se realizan mediante programas en lenguaje Python. Estas pequeñas aplicaciones se ejecutan en la shell Python de OpenWrt.

Para poder acceder al USB ACM Python necesita tener instalado el módulo pyserial. Este módulo permite el acceso al puerto serial ACM por USB. El módulo encargado de conectarse al servicio de Google Drive para subir archivos a la nube es el gdata-python-client, este módulo permite la escritura y lectura desde la web.

Para optimizar el funcionamiento del enrutador se crearon dos pequeñas aplicaciones: *medir.py* que se encarga de pedir los datos medidos a los nodos de datos para luego almacenarlos en un archivo cada vez que se llame a esta aplicación, y *subir.py* que sube a la cuenta de Google Drive una copia de respaldo de los datos obtenidos de los medidores. Cada aplicación se ejecuta por separado y en tiempos separados y solo en el momento que se desea medir o subir el archivo, para maximizar los escasos recursos de hardware de enrutador.

A los efectos de sistematizar la toma de datos con una periodicidad determinada se utiliza el demonio cron, que viene disponible y habilitado con la distribución de Linux OpenWrt. Cron permite ejecutar comandos, procesos o instrucciones a intervalos regulares (por ejemplo, cada minuto, día, semana, mes, o fecha predefinida) lo que permite configurar toda la red como un datalogger sofisticado.

FUNCIONAMIENTO GENERAL DE LA RED DE SENSORES

El servidor de mediciones se conecta periódicamente con los nodos de datos. En la configuración actual, cada cinco minutos se conecta punto a punto, con cada uno de los nodos de datos a través del nodo de control y les ordena comenzar el proceso de medición. Los nodos de datos responden enviando la trama descrita en la Figura 6. El servidor transforma los datos leídos a temperatura y acumula la información en la memoria externa USB (pendrive) en un archivo de texto. El servidor envía a una cuenta Gdrive el archivo de medida cada seis horas.

Los datos pueden ser levantados del pendrive accediendo directamente al enrutador-PC a través de una conexión SSH desde cualquier otro dispositivo, notebook y o teléfono celular inteligente, o pueden levantarse desde la cuenta de Google Drive. Allí los datos se almacenan con formato google docs que puede ser incorporado directamente por un programa tipo hoja de cálculo. La Figura 10 muestra las temperaturas monitoreadas durante nueve días por uno de los dispositivos.

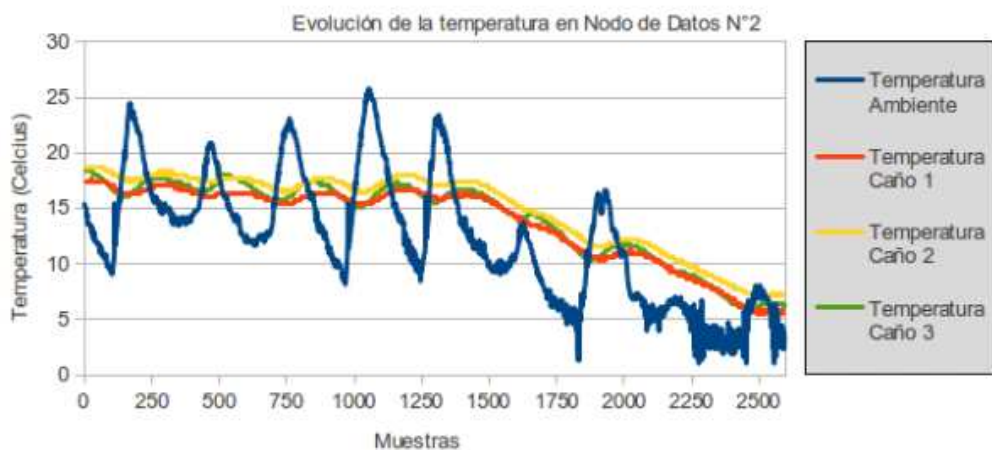


Figura 10: Temperatura exterior en el garage y temperaturas en los caños situados en el piso de la cocina-comedor medidas del 14 al 22 de julio nodo de datos N°2

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un equipo de adquisición de datos consistente en una red de nodos de adquisición comunicados con un nodo central de manera inalámbrica. El equipo se ha desarrollado teniendo en mente el monitoreo continuo y el control de una vivienda calefaccionada mediante un piso radiante hidrónico solar experimental. El propósito de su desarrollo fue contar con un equipo de adquisición de datos confiable, fácil de montar, con posibilidad de despliegue en un área extensa, fácil de conectar, con poco cableado preferentemente de bajo costo, y fundamentalmente de bajo costo total y alta reproductibilidad. Estos objetivos fueron logrados en base el módulo MCE wireless Kit RF de MC Electronics, a la adición de un multiplexor y de una PC embebida en un enrutador para control. Desde que se diseñó el equipo, el costo de cada módulo EMC se triplicó, no obstante, cada nodo de adquisición de ocho canales puede armarse por aproximadamente 800\$, con lo cual estimamos que todavía resulta altamente competitivo frente a otros sistemas de adquisición comerciales.

REFERENCIAS

- Mendoza, F., (2011). Ensayo y análisis a un piso y pared radiante solar. Tesis de Licenciatura en Energías Renovables. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta.
- Mendoza, F y L. Cardon, (2011). Construcción y ensayo de una pared radiante hidrónica solar. Avances en energía solar y medio ambiente. Vol 15, páginas 65-74
- Cardon, L y F. Mendoza, (2012). Ensayo de un piso radiante hidrónico solar. Comunicaciones de ASADES. Páginas 29-36.
- Flores Larsen, S., et al., (2008). An experience on integrating monitoring and simulation tools in the design of energy-saving buildings. Energy and Building, Vol 40, Nro. 6, páginas 987-997
- Flores Larsen, S. et al., (2010). La incidencia de los usuarios en el comportamiento térmico de verano de una vivienda en el noroeste argentino. IV Conferencia Latinoamericana de Energías Solar, Cusco, 1-5.11
- Villena, M., et al., (2009) Análisis de sistemas con inteligencia distribuida para el control de concentradores solares. Avances en Energía Solar y Medio Ambiente, Vol. 13.9-37 a 9-44.
- Moya, T., et al., (2010). Red de sensores y control inalámbrica para un sistema de generación de vapor solar térmico. Avances en Energía Solar y Medio Ambiente, Vol. 14, páginas, 8-151 a 8-156.

Moya, T. y D. Hoyos, (2012). Implementación de módulos MODBUS inalámbricos para control e instrumentación de sistemas solares. *Avances en Energía Solar y Medio Ambiente*, Vol. 16, páginas, .8-199 a 8-206.

Localmente se ha trabajado con las tecnologías de conectividad I2C y ZigBee (Villena et al., 2009), ZigBee con el protocolo MODBUS (Moya y Hoyos, 2010, 2012).

SIMCom, (2013a). Design user guide. Application note. AN_SIM20:DUG_V1.0. SIMCom.

SIMCom., (2013b) . SIM20_AT Command Manual_V1.04.

Microchip Tecnology Inc., (2010) . PIC 18F/LF1XK50 Data Sheet.

Yun, W., (2010) . SIM20 Short Range RF, SIMCom.

Capella, J.V. et al., (2013). In line river monitoring of nitrate concentration by means of a Wireless Sensor Network with energy harvesting. *Sensors and Actuators B: Chemical* 177, paginas 419–427.

Crowley, K., et al., (2005). Web-based real-time temperature monitoring of shellfish catches using a wireless sensor network. *Sensors and Actuators A: Physical* 122, páginas 222–230.

Matese, A., et al., (2009). A wireless sensor network for precision viticulture: The NAV system. *Computers and Electronics in Agriculture* 69, páginas 51–58.

Qia, C., et al., (2012) Development of Wireless Sensor Network for Data Collection and Footwork Training. *Procedia Engineering*. Vol 34, 2012, páginas 520–525

OpenWrt, 2013, Disponible en internet <https://openwrt.org/> [Ultimo acceso: 15 agosto 2013].

ABSTRACT: This work describes a data acquisition and control system developed for the experimental study of an active solar home. The device was developed and built with a commercial programmable radio frequency module (MCE wireless Kit RF from Mcelectronics) as a basis, and it was complemented with an eight channel analogic multiplexer based on the C.I. CD4051 integrated circuit. In this way, each radio frequency module, programmed for data acquisition, allows to measure eight temperatures in a room or another part of the equipment. Forty temperature sensors were added up. For them, the LM35 integrated circuit was used. A central module makes the interface with a Linux server embedded in a WIFI-enrutador.

Keywords: instrumentation, control, sensor networks, domotic, wireless, radio frequency, active solar system.