

Redes Inalámbricas para el Monitoreo y Control en tiempo real de Sistemas de Calentamiento de agua con Colectores Solares

J. A. Pullés¹, A. Pino², J. Bonzón³, O. Escalona⁴

¹ Universidad de Oriente, Departamento de Ingeniería Automática jpulles@fie.uo.edu.cu

² Universidad de Oriente, Grupo de Energías Renovables Aplicadas (GERA) alfredo@gera.uo.edu.cu

³ Universidad de Oriente, Grupo de Energías Renovables Aplicadas (GERA) bonzon@gera.uo.edu.cu

⁴ Universidad de Oriente, Grupo de Energías Renovables Aplicadas (GERA) orlando@gera.uo.edu.cu

RESUMEN / ABSTRACT

Tecnología inalámbrica ZigBee para monitorear en tiempo real un sistema de calentamiento de agua instalado en el hotel Las América en Santiago de Cuba con energía solar. Se analiza el flujo tecnológico de la instalación y las principales características del estándar IEEE 802.15.4 y la pila desarrollada por Microchip. El diseño del sistema incluye dos módulos y se controla la temperatura del agua para las habitaciones manipulando el caudal que recircula entre los calentadores solares y el tanque de almacenamiento. El diseño e implementación del controlador se realiza utilizando microcontroladores PICs y un sistema supervisorio programado en LabWindowsTM/CVITM 9.0

Palabras claves: Energía renovable, microcontroladores PIC, monitoreo de sistemas, protocolo zigbee, redes Inalámbricas.

An automatization system based in PIC microcontrollers and ZigBee wireless protocol applied to the water solar system for heating of the Las Americas Hotel of Santiago de Cuba. This work analyzes the technological flow of the installation, and it studies the IEEE 802.15.4 standard principal characteristics and the "stack" developed 1.0.3.8 by Microchip Corporation. The design includes two modules; the control of water temperature with the flow of solar heater and the tank, the system connect to a computer designed to establish wireless communication with the control module; besides a software developed in LabWindowsTM/CVITM 9.0..

Key words: microcontroller PIC, monitoring systems, removable energy, wireless network, zigbee protocol.

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos, las energías renovables han constituido una parte importante en el desarrollo de la humanidad, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. Ejemplos de ello fueron la navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la energía del sol¹.

Con la invención de la máquina de vapor, se fueron abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo, y se comenzaron a utilizar cada vez más los motores térmicos y eléctricos. En

esa temprana época existía un consumo relativamente escaso; por lo que no se previó un agotamiento de las fuentes energéticas, ni otros problemas ambientales que más tarde se presentaron

Hacia 1970 las energías renovables empezaron a considerarse una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura garantizada como por su menor impacto ambiental para el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas energías alternativas. Actualmente muchas de estas energías son una realidad, no una alternativa, por lo que el nombre de alternativas ha quedado en desuso para ser utilizado el término renovables.

¹ Pino Escalona A., Sistema de Control y supervisión para una instalación solar de calentamiento de agua basado en protocolo inalámbrico Zigbee. 2010.

Una de las soluciones más eficientes son los colectores solares térmicos², cuya función es captar la energía del sol mediante paneles solares y transformarla en calor; el cual es generalmente empleado en sistemas para el calentamiento de agua sanitaria, pues representa una parte importante del consumo de la energía en instalaciones colectivas como edificios de viviendas, hoteles, edificios comerciales, edificios institucionales, etc. La aplicación de los sistemas de energía solar produce importantes reducciones en los gastos energéticos y grandes ahorros económicos, además contribuye a un desarrollo equilibrado para todos los pueblos.

Así mismo, los sistemas de control han evolucionado completa y rápidamente en los últimos 50 años. Comenzando desde los dispositivos analógicos de 4-20 mA, hasta las topologías en bus de la actualidad que reducen de forma significativa el cableado y la necesidad de ancho de banda, hasta llegar a las redes inalámbricas, que proporcionan nuevas oportunidades en cuanto a movilidad, autonomía y flexibilidad de configuración de la arquitectura de red. Las redes inalámbricas de sensores permiten reducir los costes de instalación y la obtención de medidas en puntos donde las redes cableadas no llegarían.

El sistema de calentamiento de agua del Hotel Las América garantiza la disponibilidad de agua caliente durante las veinticuatro horas del día a todas las habitaciones de esta instalación. Se encuentra ubicado en la parte superior (azotea) del edificio principal y en la actualidad se requiere un sistema de supervisión a distancia que debe estar emplazado en el edificio socio administrativo, por lo que se dificulta la instalación de conductores para la comunicación del sistema de supervisión con el sistema de control. Por lo que el objetivo de este trabajo es *Diseñar e Implementar un sistema de control y supervisión para el proceso de calentamiento de agua del Hotel Las América utilizando tecnología inalámbrica de comunicación.*

MATERIALES Y MÉTODOS

Redes Inalámbricas de Comunicación.

Las redes inalámbricas de comunicación actualmente han ganado un espacio por sus prestaciones, siendo las fundamentales:

Infrarrojos: La radiación infrarroja o radiación térmica es un tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas, consecuentemente, tiene menor frecuencia que la luz visible.

Aunque sus usos son variados, permiten la comunicación entre dos nodos, usando una serie de "leds" para ello. Se trata de emisores/receptores de las ondas infrarrojas entre ambos dispositivos, cada dispositivo necesita "ver" al otro para realizar la comunicación por ello es escasa su utilización a gran escala. Esa es su principal desventaja, a

diferencia de otros medios de transmisión inalámbricos. Se utiliza principalmente para realizar intercambio de datos entre dispositivos móviles, como PDAs o teléfonos, ya que el rango de velocidad y el tamaño de los datos a enviar/recibir es pequeño³.

Wi-Fi: Del inglés Wireless Fidelity es un conjunto de estándares para redes inalámbricas; creado para ser utilizado en redes locales inalámbricas, es frecuente que en la actualidad también se utilice para acceder a Internet. Wi-Fi es una marca de la *Wi-Fi Alliance* (anteriormente la *Wireless Ethernet Compatibility Alliance*).

El protocolo IEEE 802.11 o WI-FI es un estándar de protocolo de comunicaciones del IEEE que define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN.

Desde su creación en 1997 se han definido especificaciones del estándar que van desde 802.11a hasta el 802.11n, pero el estándar 802.11b es el más utilizado actualmente. Ofrece un rendimiento total máximo de 11 Mbps (6 Mbps en la práctica) y tiene un alcance de hasta 300 metros en un espacio abierto. Utiliza el rango de frecuencia de 2,4 GHz con tres canales de radio disponibles.

Uno de los problemas más graves a los cuales se enfrenta actualmente la tecnología Wi-Fi es la seguridad. Un muy elevado porcentaje de redes son instaladas por administradores de sistemas y redes por su simplicidad de implementación sin tener en consideración la seguridad y, por tanto, convirtiendo sus redes en redes abiertas, sin proteger la información que por ellas circulan, existen sin embargo medios para garantizar la seguridad de estas redes. Otra limitación es su alto consumo energético, que limita la movilidad, autonomía y flexibilidad de los dispositivos conectados a la red.

Bluetooth: Es una tecnología de red de área personal inalámbrica (abreviada **WPAN**), una tecnología de red inalámbrica de corto alcance, que se utiliza para conectar dispositivos entre sí sin una conexión por cable. A diferencia de la tecnología *IrDa* (que utiliza una conexión infrarrojo), los dispositivos Bluetooth no necesitan una línea de visualización directa para comunicarse. Esto hace que su uso sea más flexible y permite la comunicación entre habitaciones en espacios pequeños.

El objetivo de Bluetooth es transmitir voz o datos entre equipos con circuitos de radio de bajo costo, a través de un rango aproximado de entre diez y cien metros. Pero cuando la distancia requerida aumenta es próxima a los cien metros, el consumo energético considerablemente.

La tecnología Bluetooth se diseñó principalmente para conectar dispositivos (como impresoras, teléfonos móviles, artículos para el hogar, auriculares inalámbricos, ratón, teclados, etc.), equipos o PDA (Asistente personal digital) entre sí, sin utilizar una conexión por cable. Bluetooth también se utiliza cada vez más en teléfonos móviles, lo cual les permite comunicarse con otros equipos, y se ha

² Cañada, J. *Cálculo y diseño de instalaciones solares térmicas*. 2006.

³ Mendez, A. "Red de sensores inalámbricos para monitorización de terrenos mediante tecnología IEEE 802.15.4". 2005

extendido especialmente a los accesorios manos libres, como los auriculares Bluetooth.

Bluetooth puede transmitir a velocidades de aproximadamente 10 Mbps, que corresponde a 1600 saltos por segundo en modo full dúplex, con un alcance de aproximadamente diez metros cuando se utiliza un transmisor clase II y de un poco menos de cien metros cuando se utiliza un transmisor clase I.

Bluetooth utiliza ondas de radio (en la banda de frecuencia de 2.4 GHz) para comunicarse. Como consecuencia, los dispositivos Bluetooth no necesitan estar visualmente comunicados para intercambiar datos.

ZigBee: El protocolo ZigBee fue concebido específicamente para su implementación en redes inalámbricas de sensores y esta basado en el estándar IEEE 802.15.4. Opera en tres frecuencias: 2.4 GHz, 915 MHz y 868 MHz y soporta una velocidad máxima de transmisión de 250 Kb/s. Entre las características de ZigBee se destacan su bajo consumo, la variedad y complejidad de topologías de red que pueden ser implementadas y su fácil integración (se pueden fabricar nodos con muy poca electrónica).

ZigBee surgió como fruto de una alianza, de más de 200 empresas, la mayoría de ellas fabricantes de semiconductores, con el objetivo de conseguir el desarrollo e implantación de una tecnología inalámbrica de bajo costo. Importantes empresas como Invensys, Mitsubishi, Honeywell, Philips y Motorola se unieron para crear un sistema estándar de comunicaciones, vía radio y bidireccional, que permita cubrir el vacío que se produce por debajo del Bluetooth.

Otros estándares de comunicación inalámbrica permiten grandes tasas de transferencia para aplicaciones tales como la transmisión de audio, vídeo, datos, etc. Sin embargo, estos estándares no son adecuados para situaciones en las que el consumo energético o la complejidad del dispositivo son vitales. Para ello se ha diseñado ZigBee. Tanto los sensores como los actuadores u otros dispositivos pequeños de medición y control no requieren un gran ancho de banda, pero sí un mínimo consumo energético y una baja latencia. ZigBee es idóneo para la comunicación de estos dispositivos.

Análisis comparativo entre las diferentes tecnologías.

El principal inconveniente de los infrarrojos es la necesidad de que los dos elementos que intentan comunicarse, mantenga línea de visión, además de las colisiones que el uso de aparatos diferentes de infrarrojos puede ocasionar entre sí. El principal problema de Wi-Fi es la seguridad, seleccionada por del desarrollador. En Bluetooth, existen los inconvenientes de su complejidad y que el tamaño del firmware (código de implementación) excede los límites de microcontroladores comerciales como los PIC y los 8051, según se muestra en la tabla 1.

Caracterización de la Tecnología Zigbee.

Se define ZigBee como un grupo de protocolos que permite la comunicación de forma sencilla entre múltiples

dispositivos. Especifica diversas capas, adecuándose al modelo OSI

Las capas básicas, física (PHY) y de control de acceso al medio (MAC) están definidas por el estándar IEEE 802.15.4. Este estándar fue diseñado pensando en la sencillez de la implementación y el bajo consumo, sin perder potencia ni posibilidades⁴.

En la figura 1 se muestra la arquitectura del estándar ZigBee, el que amplía al estándar IEEE 802.15.4 aportando una capa de red (NWK) que gestiona las tareas de "enrutado" y de mantenimiento de los nodos de la red; y un entorno de aplicación que proporciona una subcapa de aplicación (APS) que establece una interfaz para la capa de red, y los objetos de los dispositivos tanto de ZigBee como del diseñador. De esta manera, los estándares IEEE 802.15.4 y ZigBee se complementan proporcionando una pila completa de protocolos que permiten la comunicación entre varios dispositivos de una forma eficiente y sencilla⁵.

Tipos de dispositivos y topología de red.

El estándar de la IEEE especifica dos tipos de dispositivos: de función reducida (RFD, Reduced Function Device) y de función completa (FFD, Full Function Device), diseñados para propósitos distintos.

El RFD esta pensado para aplicaciones muy sencillas, como interruptores de iluminación y sensores infrarrojos, que no necesitan enviar o recibir grandes cantidades de información. Solo puede comunicarse con dispositivos FFD. Todo esto permite que pueda ser implementado usando los mínimos recursos posibles, así como un ahorro energético visible. En cambio, los FFD pueden actuar como coordinadores o como dispositivos finales. Pueden comunicarse con otros FFD y RFD. Para ello necesitan más recursos, han de implementar la pila completa y precisan un consumo más exigente.

ZigBee aprovecha esta diferenciación. Además del coordinador de la red, es posible la existencia de routers, evidentemente han de ser FFD, que aumentan las posibles topologías de red, pudiendo crear no solo redes en estrella y p2p sino también mallas y árboles⁶.

Para poder tener una red, son necesarios como mínimo dos elementos. Un coordinador (FFD) que creará la red, le asignará el NWKID (Network Identifier), y poseerá los mecanismos necesarios para la incorporación y eliminación de nodos en la red. Además es necesario, como mínimo, un nodo, que puede ser FFD o RFD, con el que comunicarse.

Dispositivo de función completa (FFD): El dispositivo de función completa FFD, es capaz de recibir mensajes del estándar 802.15.4. Tiene todas las funcionalidades y puede ser utilizado tanto como coordinador de la red, como router o como dispositivo final con el que interactúe el usuario.

⁴ Coleri, S. "ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary. 2004.

⁵ Garcia-Alzórriz, J.A., "Implementación de un sistema de comunicación Inalámbrica basado en el protocolo ZigBee para su uso en aplicaciones de Domótica". 2006

⁶ Microchip Corporation. "Application Note 965c. Microchip Stack for the ZigBee™ Protocol". 2007

Dispositivo de función reducida (RFD): El dispositivo de función reducida tiene capacidad y funcionalidad limitadas (especificada en el estándar) con el objetivo de conseguir un bajo coste y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores/actuadores de la red.

En la figura 2 se muestran las topologías de red más utilizadas:

Estrella: La topología tipo estrella, consiste en un nodo coordinador y uno o más dispositivos finales, los cuales se comunican únicamente con él. Si un dispositivo final necesita transferir datos a otro dispositivo final, primero los envía al coordinador que se encargará posteriormente de reenviarlos al destinatario.

Árbol: Otro tipo de topología es la de tipo árbol. En esta configuración los mensajes enviados por un dispositivo final serán procesados por el coordinador o por un router intermedio dependiendo del destinatario. Los routers desempeñan dos funciones. La primera es incrementar el número de nodos que se pueden asociar a la red. La segunda extender el rango físico de la red.

Malla: Una red en forma de malla, es similar a una de tipo árbol, con la excepción que los FFD pueden enviar mensajes directamente a otros FFD en vez de seguir la estructura del árbol. Las ventajas de esta topología son que la latencia del mensaje se ve reducida y la fiabilidad incrementada. La topología tipo árbol y la tipo malla son también conocidas como redes multi-hop debido a su habilidad para enrutar paquetes a través de múltiples dispositivos

DISCUSIÓN.

Instalación para el calentamiento de agua en el Hotel Las América.

El Hotel Las América cuenta con una instalación solar térmica con colectores solares⁷ que concentran la energía solar incidente en ellos, para luego transmitirla al agua potable proveniente de la red hidráulica.

En la figura 3 se muestra la instalación, que es un circuito hidráulico abierto donde el agua del consumo circula directamente por los colectores solares y está compuesta por:

- (1) Entrada de Agua Fría
- (2) Bomba Circulación de Agua por los Colectores
- (3) Banco de Colectores Solares
- (4) Depósito Termo-Acumulador
- (5) Bomba de recirculación de agua por las Habitaciones
- (6) Habitaciones
- (7) Caldera de Respaldo.

Una vez abierta la válvula de entrada de agua al sistema el tanque cilíndrico (Termo-Acumulador) de la aplicación siempre deberá permanecer lleno, pues el depósito exterior se encuentra a mayor altura que el sistema de calentamiento.

⁷ Beckman, W. *Proyecto de sistemas térmico-solares*. Madrid . 2000

El ciclo de funcionamiento comienza cuando se detecta que la temperatura a la salida del banco de colectores solares es mayor en (N) Grados Celsius que la temperatura de entrada al banco de colectores (El valor de N se determina experimentalmente). Una vez dada esta situación se debe encender la bomba de circulación de agua que pone en movimiento el fluido a través de los colectores, los cuales intercambian el calor recibido por la radiación solar con el agua fría.

Una vez caliente, el agua es depositada en el tanque Termo-accumulador a una altura equivalente a un tercio (1/3) de su volumen total. Luego, el ciclo se repite continuamente hasta que la condición anterior deje de cumplirse o hasta que la temperatura en el interior del tanque acumulador sea igual o mayor que la prefijada. En éste caso se debe apagar la bomba de circulación.

Debido al fenómeno de la estratificación, la temperatura en la parte inferior y media del tanque termo-accumulador, siempre es más baja que la temperatura en la parte superior. Logrando así un mayor ahorro de energía y una disponibilidad casi instantánea del sistema.

La instalación dispone de un subsistema encargado de hacer circular el agua caliente a través de las habitaciones, el cual se activa cuando la temperatura del agua en las habitaciones se encuentra muy por debajo de la temperatura en el tanque termo-accumulador; de esta manera se garantiza que el agua caliente se obtenga inmediatamente después de abrir las pilas.

El funcionamiento de este subsistema comienza cuando el sensor de temperatura ubicado en la parte baja del circuito de consumo (sótano del hotel) indica una temperatura menor que la requerida, entonces el controlador debe chequear que la temperatura del agua almacenada sea mayor que la de las habitaciones, de ser así se enciende la bomba de recirculación hasta que esta condición deje de ser verdadera. En el caso de la caldera de respaldo, la entrada y salida son conectadas a la misma altura que la salida del banco de colectores solares. Esta cuenta con su propio sistema de control, el cuál funciona de manera independiente a todo el sistema y garantiza que se eleve la temperatura del agua en la parte superior del depósito hasta el valor requerido de ser necesario en días de baja insolación.

RESULTADOS.

Diseño e implementación de un sistema de control y supervisión.

En la figura 4 se muestra la propuesta del sistema de control conformado por:

TT1. Transmisor de temperatura a la entrada del banco de colectores.

TT2. Transmisor de temperatura a la salida del banco de colectores.

TT3. Transmisor de temperatura en el depósito Termo-Acumulador.

TT4. Transmisor de temperatura en el sótano del Hotel

B1(3). Bombas para recircular el agua en la instalación.
C. Una tarjeta controladora (basada en $\mu\text{C PIC18F4620}$).
 Todo el sistema está concebido en tres módulos:

- Módulo del Controlador
- Módulo de Supervisión Remota
- Sistema Supervisorio en la PC (para la visualización y parametrización del proceso).

En la figura 5 se muestra el Módulo del Controlador, que es el encargado de controlar todo el sistema de calentamiento del agua del hotel Las América y esta ubicado en la azotea cerca del proceso y está conformado por:

Microcontrolador PIC18F4620: Es el elemento fundamental del sistema, encargándose de ejecutar los algoritmos de medición control y comunicación, ofrece un alto rendimiento computacional a un precio económico, con una ostentosa mejora con respecto a las anteriores, en cuanto a las prestaciones.

Bloque de Sensores: Esta instalación requiere para su control como mínimo cuatro sensores de temperatura para su correcto funcionamiento, por lo que el diseño general de la aplicación se desarrollará para permitir la incorporación de cuatro entradas analógicas (0-3V), las cuales son generadas por el convertidor de temperatura en tensión⁸ por cada sensor a utilizar.

En la figura 6 se muestra del conversor temperatura en tensión, donde la primera etapa, formada principalmente por el AOp y es una *fuerza de corriente*, cuyo valor se puede calcular por la siguiente ecuación:

$$I_0 = \frac{(V_+) - (V_{\text{diodo}})}{R_2} \quad 1)$$

donde: I_0 corriente a la salida (colector de Q1)
 V_+ voltaje de alimentación de la fuente.
 V_{diodo} voltaje de estabilización del diodo zenner.
 R_2 resistencia R_2

La segunda etapa es donde se efectúa la conversión de resistencia en voltaje. La tensión de salida se inyecta en la tercera etapa conformada por un amplificador diferencial que se emplea para lograr el ajuste de cero.

La cuarta etapa se emplea para introducir una ganancia, que a la vez influye en la sensibilidad del dispositivo, la cual puede calcularse de manera muy sencilla mediante la ecuación de un amplificador en configuración inversora.

Debido a que los valores de temperatura que se desean medir nunca van a ser menores que la ambiente, se decidió fijar la temperatura de 20°C como el cero del instrumento, y el microcontrolador empleado, se alimenta con 3.3 V el valor máximo de tensión que debe entregar el transmisor es de 3V para 100°C, se utilizó la ecuación de Callendar-Van Dusen para determinar la resistencia eléctrica de las Pt1000 a 20°C se obtuvo un valor de 1077.929 Ω , y a partir de esta

⁸ Salazar, A., Castro, E., Fong, J., Rosendo, A., Convertidor de Temperatura en Tensión. *Patente n° 650-89*, 1989.

información se calcularon los valores de los componentes de la tercera etapa (amplificador diferencial). De manera similar se obtuvo 1385.025 Ω como resistencia del sensor para 100°C y con esta información se ajustó la cuarta etapa logrando 3V cuando el sensor registra esta temperatura.

Bloque de Actuadores: Con este bloque se garantizará la manipulación “Encendido – Apagado” de las dos bombas encargadas de controlar el sistema, donde el Terminal Entrada se instala directamente a un pin del micro controlador, y el interruptor transistorizado Q1 que conmuta la bobina del relé.

Dispositivos de Entrada Salida: Como dispositivos de entrada y/o salida se utiliza un teclado con cuatro botones y un *Display*, mediante el primero se podrán ajustar de manera local los puntos de operación del sistema, los que se podrán visualizar en el LCD, además de brindar a los operarios la información del estado de las variables del sistema sin necesidad de acceder al sistema de supervisión, lo que permite a cualquier persona monitorear el estado del sistema. Aunque es necesario incluir algún tipo de autenticación para cambiar los puntos de operación del sistema.

Transceptor Zigbee: Este bloque estará compuesto solamente por la tarjeta MRF24J40 para la comunicación con el microcontrolador utilizando el protocolo SPI⁹. Además se utilizan otros 7 pines para completar la funcionalidad del módulo.

Bloque de Comunicación Serie 485: Se utiliza el puerto UART del PIC, al cual se le adicionará un circuito convertidor de norma para permitir la comunicación del controlador mediante la norma física RS485 con dispositivos opcionales. La comunicación serie se implementa utilizando el circuito integrado MAX3485, el cual funciona como un adaptador de niveles de tensión

Dispositivos Opcionales: Los dispositivos opcionales que debe soportar el programa del nodo controlador son Una PC y Los Módulos remotos de adquisición de datos (ICP o ADAM), los cuales brindan la posibilidad de expandir las prestaciones del sistema de medición con el propósito de desarrollar estudios de eficiencia y comportamiento del sistema de calentamiento de agua.

Fuente de Alimentación: Para la alimentación de este módulo se implementó una fuente de alimentación que entregue +12V,+3.3V y -12V, las tensiones +/-12V son utilizadas en los convertidores de temperatura en tensión y en el bloque de actuadores; la tensión de 3.3V se emplea en el resto del circuito. Como se puede apreciar se utilizan tres reguladores integrados de voltaje, un LM7812 para estabilizar la salida positiva de 12V, un LM7912 para estabilizar la salida negativa de -12V y un LM317, que es un regulador ajustable mediante las resistencias R1 y R2, para obtener una salida positiva de 3.3V.

En la figura 7 se muestra el Módulo de Supervisión Remota, que se utiliza como interfase entre el Módulo Controlador instalado en el campo y el Sistema Supervisorio en la PC, tiene la particularidad que no utiliza fuente de alimentación

⁹ Microchip Corporation, PICDEMTMZ Demonstration Kit User's Guide 2004

independiente pues se alimenta a partir del puerto USB de la computadora y esta conformado por elementos análogos al módulo anteriormente descrito.

Modulo Supervisorio en PC.

El módulo supervisorio en la PC está conformado por dos ventanas principales que manipulan opciones de parametrización y/o configuración del controlador y almacenamiento de la información. En la figura 8 se muestran ambas ventanas. Como el dispositivo diseñado para la supervisión incluye comunicación USB, se ha configurado un puerto Serie Virtual para utilizarlo como pasarela entre el puerto físico USB y el software de supervisión.

Una vez conectado el módulo ADAM 4561, el sistema operativo de manera automática detectará un nuevo dispositivo, el cual es incluido en la lista de controladores de bus serie universal (USB), además se instalará un nuevo puerto de comunicaciones (COMX). Lo que brinda la posibilidad de acceder al dispositivo de dos maneras diferentes; la primera, utilizar directamente el controlador USB y la segunda mediante el nuevo puerto virtual instalado. En la programación del software se emplea el ambiente de desarrollo LabWindowsTM/CVITM 9.0, el cual incluye las rutinas para el tratamiento a puertos COM y el Toolkit SQL 2.1 para desarrollar las rutinas de conexión a bases de datos.

Una vez configurados los parámetros externos necesarios para el funcionamiento de manera automática configura el puerto COM1 para transmitir a 19200 baudios y establece la conexión con el módulo FFD o coordinador. Este a su vez gestiona la comunicación inalámbrica mediante el protocolo ZigBee con el otro módulo de control.

Una vez finalizada la conexión se informa al usuario de la ocurrencia de este evento, y se activan las opciones de almacenamiento y ajuste remoto del controlador. A la vez se comienza a monitorear el sistema cada 5 segundos, y los datos obtenidos son mostrados en la pantalla principal. Finalmente se solicita al usuario la frecuencia con que desea muestrear las mediciones

Otra opción disponible es la parametrización del controlador propuesto

Otros módulos disponibles en el programa son: modificación del tiempo de supervisión, activar controlador remoto, selección entre modo automático o manual y detección de errores

CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema de automatización basado en microcontroladores PIC de bajo coste, preciso y con grandes prestaciones, aplicable a cualquier sistema de calentamiento de agua con colectores solares, con comunicación inalámbrica, y bajo consumo energético.

Se implementó un software para la supervisión y adquisición de mediciones utilizando las prestaciones del software LabWindowsTM/CVITM 9.0.

La estructura de este sistema se puede aplicar a redes a control y supervisión de procesos industriales de poca complejidad.

RECONOCIMIENTOS

Los autores del trabajo agradecen al profesor MSc. Enrique Castro Montero del Dpto de Control Automático de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oriente, por el diseño, cálculo e implementación del convertidor de temperatura en tensión, a los DrC. Jose Ignacio Roblas del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC) y Luis Ruiz-García del Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación de la Universidad Politécnica de Madrid por su contribución en la implementación del hardware y al Hotel Las América por facilitar su instalación para la ejecución de todos los experimentos.

REFERENCIAS

1. PINO ESCALONA A., "Sistema de Control y supervisión para una instalación solar de calentamiento de agua basado en protocolo inalámbrico Zigbee". *Tesis de Ingeniería en Automática*, Universidad de Oriente, Cuba, 2010.
2. CAÑADA, J. "Cálculo y diseño de instalaciones solares térmicas". 2006.
3. MENDEZ, A. "Red de sensores inalámbricos para monitorización de terrenos mediante tecnología IEEE 802.15.4". 2005.
4. COLERI, S. "ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary. 2004.
5. GARCIA-ALZÓRRIZ, J.A., "Implementación de un sistema de comunicación Inalámbrica basado en el protocolo ZigBee para su uso en aplicaciones de Domótica". 2006
6. MICROCHIP CORPORATION. "Application Note 965c. Microchip Stack for the ZigBeeTM Protocol". 2007.
7. BECKMAN, W. "Proyecto de sistemas térmico-solares". Madrid. 2000.
8. SALAZAR, A., CASTRO, E., FONG, J., ROSENDO, A., "Convertidor de Temperatura en Tensión". *Patente n° 650-89*, 1989.
9. MICROCHIP CORPORATION, PICDEMTMMZ Demonstration Kit User's Guide 2004

AUTORES

José Antonio Pullés Boudet, ingeniero en Automática, Telemecánica y Comunicaciones en el Transporte Ferroviario, Master en Automática, Profesor Asistente, Facultad de Ingeniería Eléctrica Universidad de Oriente Ave Las América s/n. Stg de Cuba, +52(22)646198 jpulles@fie.uo.edu.cu actualmente labora en el diseño de aplicaciones basadas en microcontroladores PICs y PLC (automatización de fuentes renovables de energía, diseños de sistemas de control de trafico para el transporte)

Alfredo Pino Escalona, ingeniero en Automática, Investigador Grupo de Energías Renovables Aplicadas, Facultad de Ingeniería Mecánica Universidad de Oriente Ave Las América s/n. Stg de Cuba, +52(22)644428

alfredo@gera.uo.edu.cu actualmente labora en el diseño de sistemas automatizados con fuentes renovables de energía

basadas en microcontroladores PICs.

Tabla I: Comparación entre las tecnologías inalámbricas

Estándar	Ancho de Banda	Consumo	Ventajas
Wi-Fi	Hasta 54 Mb/s	400 mA en transmisión, 20 mA en reposo	Gran Ancho de Banda
Bluetooth	1Mb/s	40 mA en transmisión, 0.2 mA en reposo	Interoperatividad, sustituto del cable
ZigBee	250 Kb/s	30 mA en transmisión, 3 mA en reposo	Batería de larga duración, bajo coste



Fig. 1: Arquitectura en capas del ZigBee/IEEE 802.15.4

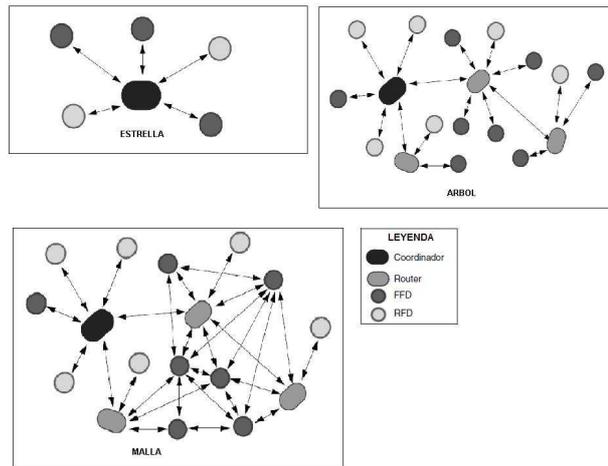


Fig. 2: Topologías de red más utilizadas.

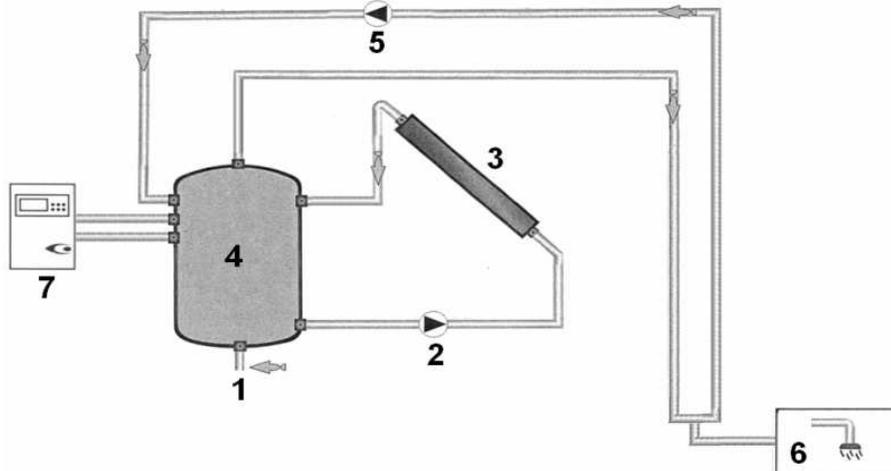


Fig. 3: Esquema del sistema de calentamiento de agua del Hotel Las América.

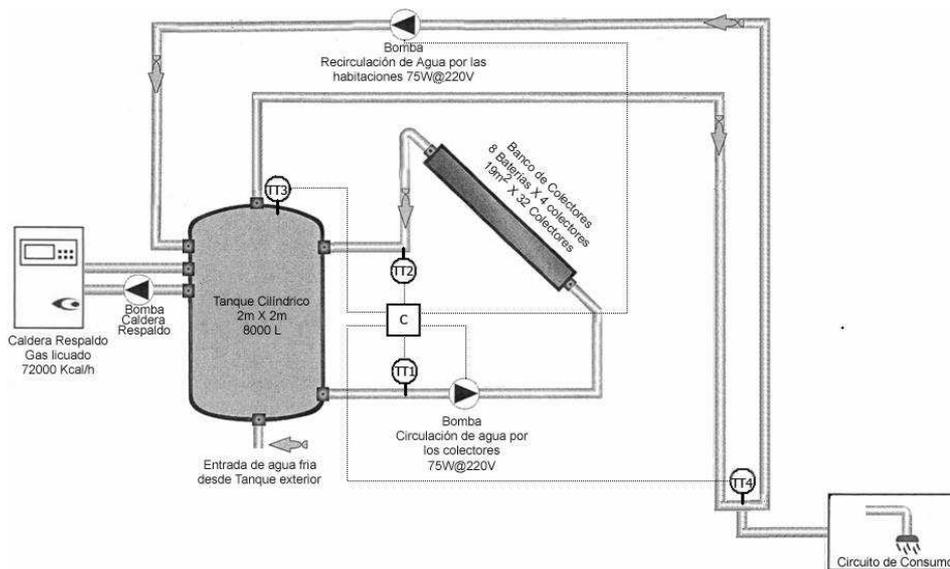


Fig. 4: Propuesta del sistema de calentamiento de de agua del Hotel Las América.

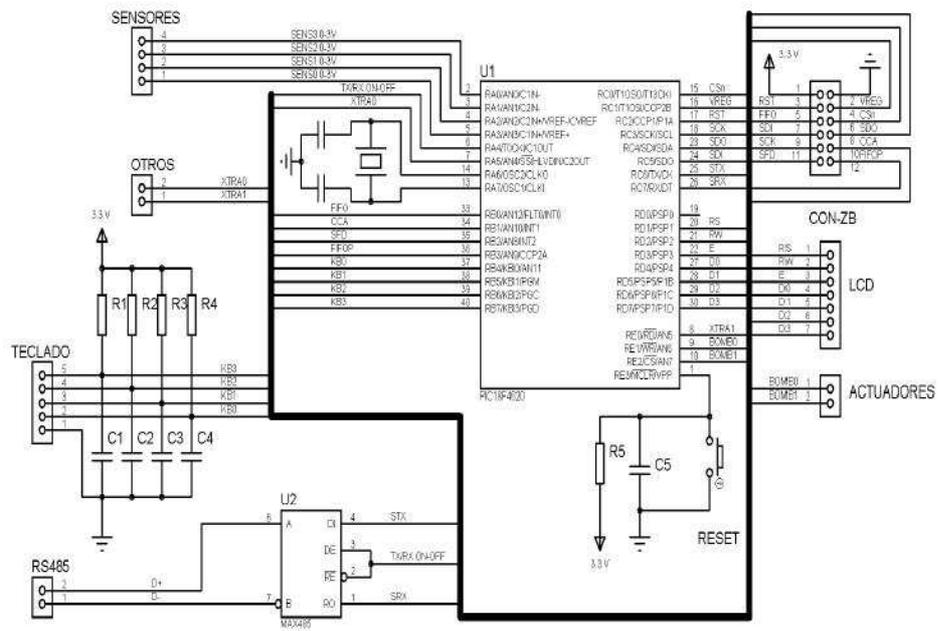


Fig. 5: Esquema del módulo de control del sistema propuesto.

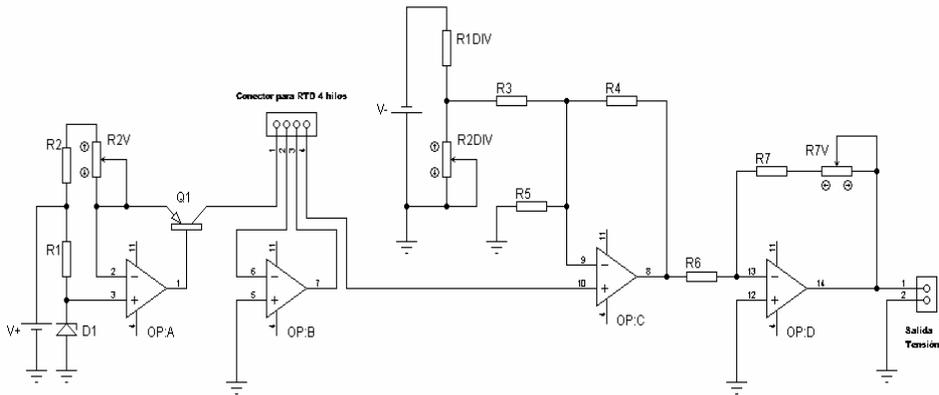


Fig. 6: Esquema del módulo conversor de temperatura en tensión.

