

Red de Sensores Inalámbrica para Medición de Temperatura y Precipitaciones con Actuación Remota

Leonardo Bieczynski, Lucas Calles

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras
Universidad Nacional del Sur
Bahía Blanca, Argentina
{leobic@gmail.com, lucascalles@gmail.com}

Director: Ing. Leonardo Ordínez
Cátedra: Computadoras Digitales e Interfaces
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras
Universidad Nacional del Sur

Resumen. Este artículo presenta el trabajo realizado a lo largo del cursado de la materia “Computadoras Digitales e Interfaces”. Se introduce la problemática del sensado inalámbrico de variables ambientales mediante una WSN. Se evalúan diferentes soluciones y se desarrolla una de las topologías que cumple con las especificaciones requeridas. El desarrollo se basa en un sistema embebido utilizando tecnología basada en microcontroladores. Además, se describe el trabajo realizado tanto en *hardware* como *software*.

Palabras claves: WSN, sensores inalámbricos, control de temperatura, pluviómetro, sistema embebido, microcontroladores.

1 Introducción

Los sistemas embebidos basados en microcontroladores se han difundido en gran manera debido a su versatilidad y confiabilidad, de forma tal que podemos encontrarlos en diversas áreas que impliquen control, asistencia y monitoreo de procesos. Muchas aplicaciones requieren del monitoreo de variables físicas o químicas, como pueden ser temperatura, humedad, presión, vibración, sonido, movimiento, concentraciones de contaminantes, pH, entre otras. Mediante mediciones realizadas con los respectivos sensores, es posible efectuar un control automático sobre el sistema implicado o simplemente llevar un registro de dichas magnitudes. La gama de actividades que requieren de estos sistemas de sensado, se extiende desde el ámbito industrial hasta el científico, resultando muy útil, por ejemplo, en sistemas de

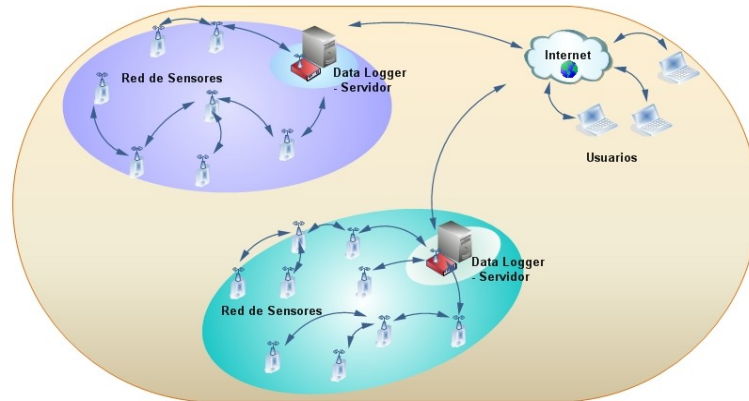


Figura 1: Esquema de organización de la WSN propuesta.

detección de incendios forestales [1], control de procesos químicos en plantas industriales [2], domótica [3], entre otros.

El gran avance tecnológico de las comunicaciones, ha permitido el desarrollo de redes de sensores inalámbricas (en inglés, WSN) de fácil instalación, ampliación y funcionamiento. Una WSN normalmente posee numerosos dispositivos autónomos distribuidos espacialmente (nodos), que constan de un microcontrolador, una fuente de poder, transductores de diversas clases y un sistema de transmisión inalámbrica, el cual implementa el protocolo de comunicación. Este tipo de sistema se encuentra dentro del estado de la técnica en tecnología de redes actuales, caracterizada por su simplicidad, robustez, independencia entre nodos y comunicación segura. Se destaca la capacidad de auto-ruteo que permite que, en caso de averiarse un nodo la red, se encuentren automáticamente nuevas vías para transmitir los datos a destino. Sin lugar a duda, la mayor ventaja ofrecida por las WSN es su sencillez y bajo costo de instalación: el hecho de prescindir del cableado para los sensores y el tipo de configuración “*plug and produce*” hacen que el mantenimiento, la configuración y la expansión de un sistema de esta clase se vean notablemente simplificados.

La motivación del presente trabajo surge frente a la necesidad de la creación de sistemas basados en WSN para el monitoreo y control de variables ambientales en la producción frutihortícola. Concretamente, el sistema requerido consiste de una red de sensores inalámbricos alimentados mediante batería, y distribuidos dentro de las parcelas de producción, a distancias que pueden llegar a los 1.5 kilómetros, comunicados con un nodo adquisidor de datos (en inglés, *datalogger*) con conexión a internet. De esta forma, se puede disponer de las variables medidas en un servidor *web*, permitiendo el acceso a las mismas desde cualquier lugar. Un esquema del sistema descrito puede verse en la Figura 1. En ella, se observa la red de sensores con

Red de Sensores Inalámbrica para Medición de Temperatura y Precipitaciones con Actuación Remota

la conexión hacia el *datalogger*, éste último con conexión directa a *internet*, y los respectivos usuarios que requieran los datos medidos.

Para el diseño y desarrollo de una WSN, se debe escoger el tipo de comunicación inalámbrica a implementar, teniendo en cuenta que debe cumplir ciertos requisitos como lo son una comunicación segura, económica y de bajo consumo. Existen en el mercado diferentes opciones para llevar a cabo dicha comunicación, siempre pensando en comunicaciones en radio frecuencia (RF) digitales por medio de alguna codificación particular. Se puede utilizar para este cometido módulos de transrecepción codificados a través de una modulación por desplazamiento de amplitud (en inglés, ASK) [4]. Otra opción a los requerimientos antes mencionados, es el uso de módulos ZigBee ampliamente utilizado en la actualidad, el cual es un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas [5].

Sistema desarrollado

En el presente trabajo, se desarrolla un sistema que implementa la funcionalidad descrita anteriormente en su forma más básica: un sistema con un solo módulo sensor, el módulo *datalogger*, y una interfaz gráfica de usuario (en inglés, GUI) utilizada para visualizar los datos recogidos.

Cada módulo está diseñado utilizando microcontroladores AT89C51ED2 [6] de la empresa Atmel. Las magnitudes sensadas en el módulo sensor son temperatura y precipitaciones, y la transmisión inalámbrica entre ambos módulos se implementa mediante transceptores RF por modulación ASK. Además, mediante una interfaz USB, el *datalogger* se conecta a una PC, la cual presenta los datos recolectados a través de la GUI y permite accionar actuadores ubicados en la cercanía del sensor, como pueden ser bombas de agua, calefactores, etc.

2 Desarrollo

2.1 Hardware

El *hardware* implementado está formado por dos dispositivos. Un módulo sensor-actuador al cual haremos referencia como MSA por sus iniciales, y un módulo *datalogger* comunicados mediante una interfaz inalámbrica. La selección de los componentes que constituyen cada módulo esta basada en la experiencia previa y disponibilidad de los mismos. Ambos módulos están desarrollados utilizando tecnología basada en microcontroladores de la familia 8051, específicamente el AT89C51ED2 de Atmel. Este microcontrolador implementa una arquitectura tipo *Harvard* (espacios de direcciones separados para código y datos), que provee buen

Leonardo Bieczynski, Lucas Calles

rendimiento. A continuación se destacan las características más atractivas de este microcontrolador que incumben en el trabajo:

- **Interfaz Asincrónica Universal de Transmisión y Recepción** (en inglés, UART) *full dúplex* [7]: Utilizada para la comunicación entre módulos, y PC;
- **Interfaz Serial Periférica** (SPI [8]): Al ser un estándar para transmisión de datos muy difundido permite la selección de dispositivos a ser anexados al microcontrolador de acuerdo a la necesidad, siendo en este caso un conversor analógico-digital;
- **3 timers y un contador programable (PCA) implementados por hardware:** Permite una mayor independización del *software* brindando mayor robustez al sistema.
- **4 puertos de 8 bits:** Ofrecen una mayor versatilidad a la hora de diseñar el *hardware* facilitando a su vez el *software*.
- **2 líneas de Interrupciones externas:** Permite futuras mejoras como incorporación de modos de bajo consumo.

El MSA posee el siguiente *hardware*:

- Un microcontrolador AT89C51ED2,
- Un conversor analógico digital de 12 bits,
- Un transductor de temperatura a tensión (LM335 [9]),
- Un *Display* LCD de 16 caracteres,
- Un *transceptor* (en inglés, *transceiver*) RF (TLP434 y RLP434),
- Un pluviómetro a balancín,
- Filtros analógicos para las señales sensadas,
- Relés para accionamiento de los actuadores disponible para actuar sobre bombas, calentadores u otros dispositivos.



Figura 2: Fotografía del prototipo MSA desarrollado.

Red de Sensores Inalámbrica para Medición de Temperatura y Precipitaciones con Actuación Remota

El *datalogger* posee el siguiente *hardware*:

- Un microcontrolador AT89C51ED2,
- Un selector de canal de 4 bits (74HC157 [10]), que realiza un multiplexado de las líneas de transmisión y recepción de la UART permitiendo una comunicación con la PC o con el MSA;
- Un transceptor FM, dado que la comunicación entre el *datalogger* y el MSA es inalámbrica;
- Un módulo conversor de interfaz USB a serial. Por comodidad se utiliza una interfaz USB para la comunicación con la PC. Por medio de dicho conversor se adapta esta interfaz a la provista por el microcontrolador (UART).

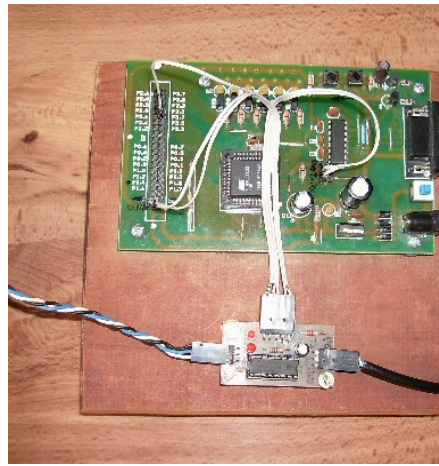


Figura 3: Fotografía del prototipo Datalogger desarrollado.

2.1.2 Descripción del hardware:

Las señales atmosféricas medidas por el MSA son la temperatura y las precipitaciones acumuladas en un determinado número de horas. Para la medición de la temperatura se utiliza el transductor antes mencionado (LM335), el cual brinda una tensión proporcional a la temperatura con una precisión garantizada de $\pm 1^\circ\text{C}$ en un rango de -55°C a 150°C . Éste dispositivo puede ser calibrado a partir de una temperatura patrón, ajustando mediante un *preset* (resistencia variable) el *offset*, o ajuste del cero. La señal analógica obtenida, posteriormente es digitalizada por el conversor analógico-digital dejando disponible el dato convertido para el microcontrolador.

El pluviómetro es un transductor que genera un pulso de tensión cada 0.67 milímetros de lluvia caídos. Esta señal es luego acondicionada por medio de un filtro analógico y

Leonardo Bieczynski, Lucas Calles

es provista al contador (PCA) del microcontrolador.

El MSA cuenta además con un *display* donde se pueden observar las magnitudes sensadas y un transceptor RF para la comunicación con el *datalogger*. La transmisión es bidireccional: del MSA al *datalogger* se envían los datos recolectados por el sensor, y en sentido opuesto, se envía una palabra de configuración de un byte para el accionamiento de los actuadores.

El *datalogger*, tiene como tarea la de recolectar los datos del MSA y transmitir los mismos a una PC a la que se encuentra conectado. A su vez, como se mencionó previamente, permite la transmisión de señales para accionamiento de actuadores ubicados junto al módulo de sensado. La comunicación con la PC se logra mediante la incorporación de un conversor de USB a serial utilizando la interfaz UART del microcontrolador. Dado que la transmisión al MSA también se lleva a cabo mediante las mismas líneas TX y RX de la interfaz UART incorporada en el microcontrolador, se cuenta con el selector de canal para seleccionar el dispositivo al cual se le escriben o del cual se reciben los datos, es decir, la PC o el *transceiver*.

2.2 Software

2.2.1 Herramientas de desarrollo

Las herramientas de *software* utilizadas para el desarrollo del sistema son tres, a saber:

- **Un entorno de programación integrado (μ Vision 3 de Keil [11]):** Dicho *software* provee un sistema operativo (RTX-Tiny [12]) el cual permite crear un sistema multitarea para microcontroladores de la familia 8051. El lenguaje de programación es C, y una vez compilado el programa en Keil mediante su cross-compiler, se crea un archivo *.hex el cual debe ser instalado en el microcontrolador.
- **Un programador para escribir la memoria flash del microcontrolador (Flip [13]):** Para “bajar” el programa al microcontrolador utilizamos este *software* de la marca Atmel, el cual utiliza un puerto serie para comunicarse con el microcontrolador y que mediante el *bootloader* de éste, escribe el programa en su memoria flash.
- **Un programa para mostrar los datos recolectados en un entorno amigable (MatLab [14]):** Esta interfaz permite la visualización de los datos recolectados en el MSA y el envío de señales a éste. Estas últimas señales son utilizadas para borrar la cuenta del pluviómetro y para el accionamiento de actuadores.

Red de Sensores Inalámbrica para Medición de Temperatura y Precipitaciones con Actuación Remota

2.2.2 Software desarrollado

Cada módulo posee un *software* realizado específicamente de acuerdo a las funciones que desempeña. En el MSA, el *software* se encarga de la recolección de los datos sensados, la visualización en un *display* e intercambio de datos con el *datalogger* cuando éste lo solicita. En el *datalogger* el *software* se ocupa de manejar los temporizados en las comunicaciones tanto al MSA como así también con la PC.

Dado que el sistema operativo RTX-Tiny ofrece la posibilidad de desarrollar un *software* multitarea, se puede lograr una mejor organización de las actividades que ejecutará cada microcontrolador. La planificación de las tareas se lleva a cabo a través de una política *round robin* [15]. Además, como cualquier otro sistema operativo se encarga de administrar los recursos permitiendo una abstracción del *hardware* a la hora de programar mediante primitivas simples.

2.2.3 Software implementado en el MSA

El MSA ejecuta concurrentemente dos tareas: la primera es periódica, se ejecuta cada un segundo, y se encarga de la adquisición de las señales medidas: la temperatura es obtenida mediante la comunicación por SPI con el conversor analógico-digital, y la medida del pluviómetro directamente leyendo el PCA. Estos datos luego son convertidos a las unidades correspondientes y mostrados en el LCD a través de una rutina específica. Finalmente esta tarea espera a completar el tiempo restante para repetirse periódicamente, actualizando así las mediciones. La otra tarea corresponde a

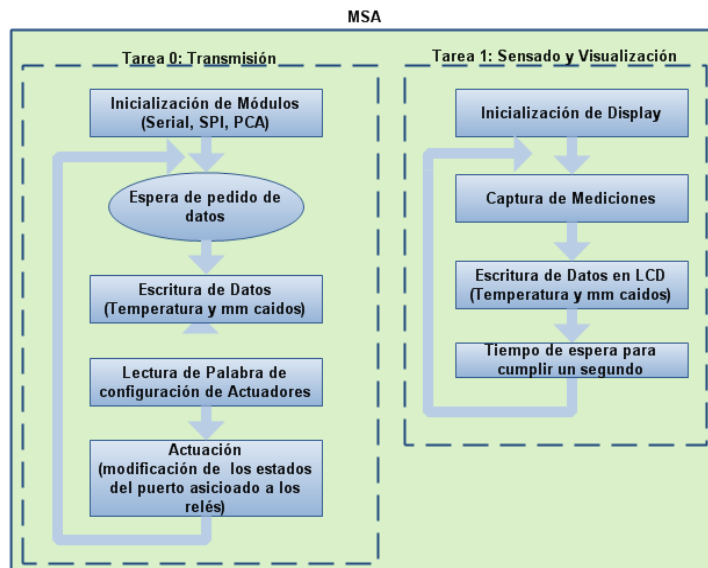


Figura 4: Diagrama en bloques – MSA

Leonardo Bieczynski, Lucas Calles

la transmisión inalámbrica al *datalogger* por medio del transceptor RF. Como se puede apreciar en el esquema de la Figura 4, esta tarea se ejecuta cada vez que llega un pedido de datos determinado por un temporizado en el *datalogger*. Dicha tarea, se realiza con el fin de enviar al *datalogger* las mediciones adquiridas y recibir la palabra de configuración con información sobre el estado que debe fijarse a los relés de actuación, y además, si se requiere, poner a cero la cuenta del pluviómetro. Ésta palabra de configuración es ingresada por el usuario en la interfaz desarrollada para la PC y luego transmitida al *datalogger*. Esta organización del *software* ofrece como ventaja el hecho de que la tarea de actualización de datos en el MSA es independiente de la transmisión, por lo que ante un eventual fallo de transmisión entre módulos, el MSA continúa funcionando como sensor.

2.2.4 Software implementado en el datalogger:

Este módulo ejecuta dos tareas con una relación de precedencia como se muestra en la Figura 5. Cada tarea se corresponde con la comunicación a cada dispositivo: en la tarea asociada con la comunicación con el MSA, se ejecuta la lectura de los datos transmitidos por éste y se le envían los datos referentes a la actuación. Por otro lado, en la tarea correspondiente a la transmisión con la PC se transfieren a la misma los datos obtenidos correspondientes a las mediciones y se recibe de esta la palabra de configuración.

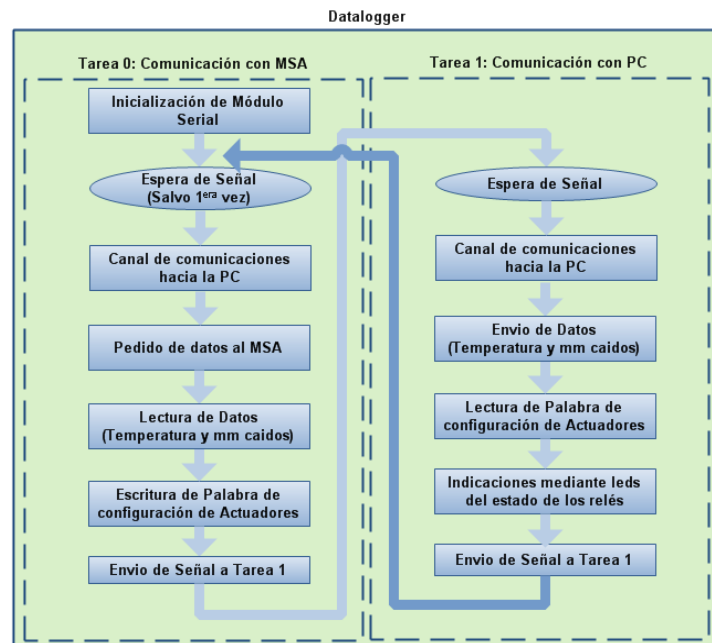


Figura 5: Diagrama en bloques – *Datalogger*

Red de Sensores Inalámbrica para Medición de Temperatura y Precipitaciones con Actuación Remota

2.2.5 Software implementado en Matlab:

Matlab ofrece un ambiente de desarrollo de interfaces graficas de usuario (en inglés, GUIDE) para poder realizar y ejecutar programas de forma simple en un entorno visual, amigable para el usuario. Éste ofrece las características básicas de todos los programas visuales como Visual Basic o Visual C++. Para permitir la visualización de las mediciones tomadas por el MSA tanto de temperatura como de precipitaciones acumuladas, se utiliza una GUI creada para tal efecto. Ésta permite además el ingreso de las configuraciones referentes a los relés de actuación pertenecientes al MSA mencionados anteriormente y la puesta a cero del contador del pluviómetro. Para llevar a cabo una visualización de las magnitudes sensadas y realizar el control sobre los actuadores *on line*, se lee y escribe periódicamente el puerto serie asociado al *datalogger*.

La GUI se muestra en la Figura 6, y se compone de tres paneles:

- **Configuración de puertos:** El conversor de USB a serie posee un driver que permite la asociación del *datalogger* con un puerto serie en la PC. Se debe seleccionar aquí el correspondiente con el *datalogger* para luego abrir el puerto y establecer la comunicación. Una vez establecida, se inicia la adquisición de datos mediante el botón “Sincronizar Dispositivo”.
- **Panel de Control:** Compuesto por 8 botones los cuales corresponden a los relés ubicados en el MSA. El estado de cada relé puede modificarse mediante su respectivo botón. Además se puede poner a cero la cuenta del pluviómetro mediante el botón “Reset PV”.
- **Visualización de magnitudes medidas:** En dos gráficas se visualizan los datos tomados para la temperatura y precipitaciones.

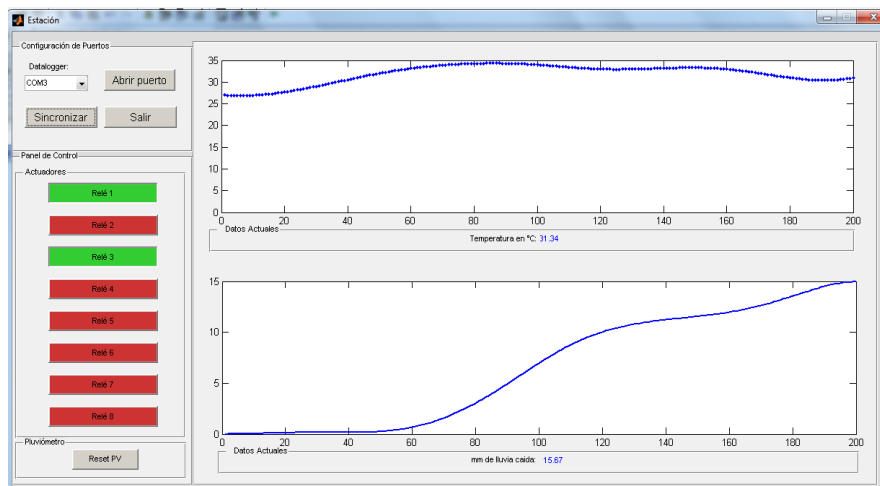


Figura 6: GUI implementada en Matlab

Leonardo Bieczynski, Lucas Calles

El esquema funcional de la GUI se muestra a continuación:

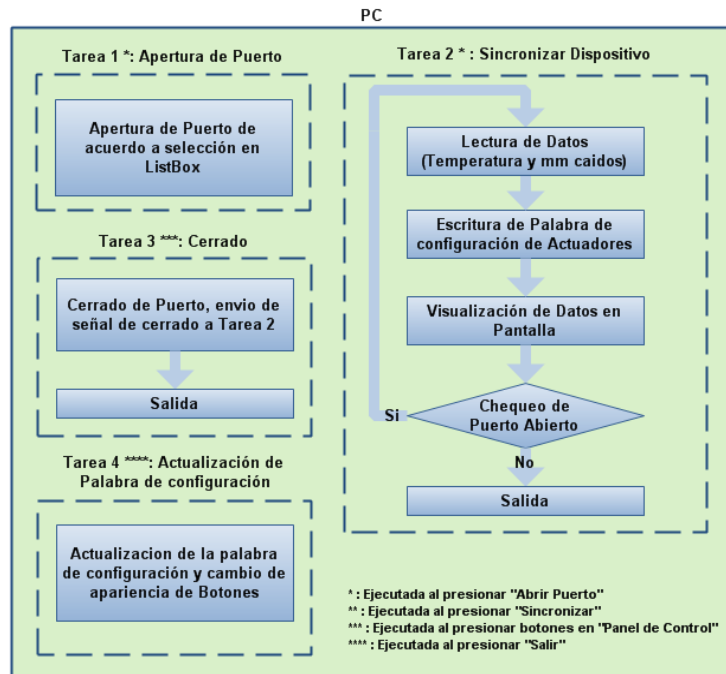


Figura 7: Diagrama en bloques -PC

3 Conclusiones

En este trabajo, se presentó un sistema basado en una WSN para medición de temperatura y precipitaciones con actuación remota. El mismo está formado por una unidad de cada una de las partes fundamentales de una WSN: los sensores autónomos y los concentradores. El desarrollo de esta aplicación pudo concretarse gracias a la versatilidad que provee la tecnología actual en microcontroladores, simplificando enormemente el desarrollo del *hardware* de este sistema embebido. En cuanto al diseño del *software*, las herramientas de programación utilizadas también facilitaron el desarrollo del mismo, realizándose el código en lenguaje C, favorable para el *debugging*. Además, la implementación basada en múltiples tareas (gestionadas por el sistema operativo), permitió una clara organización del *software*, y una óptima administración de los recursos del microcontrolador.

Como posibles mejoras, es factible pensar en la expansión del sistema a múltiples nodos. Si bien esto implica una modificación en el protocolo de comunicación, la misma ha de ser mínima, pues las funcionalidades principales ya han sido

Red de Sensores Inalámbrica para Medición de Temperatura y Precipitaciones con Actuación Remota

desarrolladas en el presente trabajo. Dado que se piensa en un sistema multi-nodal, se requerirá del agregado de un identificador en cada nodo para el protocolo de comunicaciones. Existen otras alternativas para la implementación de la comunicación como el ya mencionado protocolo Zigbee en el cual esto no es necesario, ya que las capas de abstracción encargadas de la identificación están implementadas en el estándar.

-
- [1] Ordinez, L., Donari, D., Santos, R., Orozco, J.: "An Application-Based Real-Time Scheduler for Wireless Sensor Networks". Instituto de Investigaciones en Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional del Sur, CONICET (2008).
- [2] Aakvaag, N., Frey, J.: "Redes de sensores inalámbricos: Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial", [http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot271.nsf/VerityDisplay/A019E9833DCF2819C1257199004E5DD2/\\$File/39-42%20M631_SPA72dpi.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot271.nsf/VerityDisplay/A019E9833DCF2819C1257199004E5DD2/$File/39-42%20M631_SPA72dpi.pdf).
- [3] ZigBee Alliance: "ZigBee Vision for the Home: Overview of ZigBee Applications in the Residential Market" (2006).
- [4] Proakis, J.: "Digital Communications, 2nd. Edition", McGraw-Hill (1995).
- [5] IEEE Std 802.15.4: "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)" (2006).
- [6] Atmel: "High Performance, Flash based 8051 Microcontrollers", http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?part_id=3045.
- [7] Wikipedia: "UART", http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver/transmitter.
- [8] Microchip: "SPI™: Overview and Use of the PICmicro Serial Peripheral Interface", <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/spi.pdf> - (2002).
- [9] National Semiconductor: "LM 335 precision sensor", <http://www.national.com/mpf/LM/LM335.html>.
- [10] Fairchild Semiconductor: "MM74HC157: Quad 2-Input Multiplexer", <http://www.fairchildsemi.com/pf/MM/MM74HC157.html>.
- [11] Keil, an ARM® Company: "Development Tool Overview For C51 Microcontrollers", <http://www.keil.com/c51/devproc.asp>.
- [12] Keil, an ARM® Company: "RTX51 Tiny Real-Time Kernel", <http://www.keil.com/c51/rtx51tiny/>.
- [13] Atmel: "Flip (FLexible In-system Programmer)", http://www.atmel.com/dyn/products/tools_card_v2.asp?tool_id=3886.
- [14] MathWorks: "Products & Services", <http://www.mathworks.com/products/>.
- [15] Wikipedia: "Round Robin", http://es.wikipedia.org/wiki/Planificación_Round-robin.