

PRISMI: Prototipo de una Red Inalámbrica de Sensores para Monitorización Industrial

González, Ricardo

Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, rgonzalez@ldc.usb.ve

Cataldo, Giancarlo

Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, gcataldo@usb.ve

Landaeta, Miguel

Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, miguel@ldc.usb.ve

RESUMEN

La aplicación de las tecnologías inalámbricas permite una reducción en los costes de una red, pues disminuye drásticamente los costos relacionados a la instalación y al mantenimiento de la infraestructura de cableado. El uso de redes para monitorear procesos industriales permite también reducir costos de operación, ya que una vez que los mismos están siendo monitoreados, la detección de fallas puede darse tan pronto como éstas ocurren, e incluso pueden llegar a predecirse y tratarse antes de que ocurran o de que se vuelvan críticas. El propósito de este artículo es describir un prototipo llamado PRISMI basado en una Red Inalámbrica de Sensores (RIS) que pueda ser adaptado y aplicado en muchas de las tareas de monitoreo y control tradicionales, el objetivo al estudiar el desempeño de PRISMI es compararlo con estándares de buses de campo, con el fin de evaluar en que medida las RIS pueden sustituir a estos buses en la recolección de información de monitoreo industrial. Para ello PRISMI ofrece una plataforma de visualización del comportamiento de un sistema que ayuda a recabar información de campo, la cual puede ser usada posteriormente en análisis de tendencia, o en la predicción de eventos de interés.

Palabras claves: Red Inalámbrica de Sensores, IEEE 802.15.4, Monitoreo Industrial, Sistema Distribuido, Red Inalámbrica.

ABSTRACT

Wireless Technologies impulses an important reduction in network costs, decreasing drastically wiring installation and maintenance costs. The use of monitoring networks in industrial environment reduces operation costs in two main ways: enabling a fast detection of failures and making some prediction of critical events that could be manage if they were detected on time. This article describe a prototype called PRISMI based on a Wireless Sensors Network (WSN) that can be adapted and applied to many monitoring and control activities in industrial process. The main objective is studying PRISMI's performance is to compare it with others field buses standards, in order to evaluate where WSN can replace these standard in some industrial monitoring task. PRISMI also offers a visualization module that helps to obtain important information about what is going onto the system and that can also be used in a further analysis of system behavior trends or in critical events prediction activity.

Keywords: Wireless Sensor Network, IEEE 802.15.4, Industrial Monitoring, Distributed System, Wireless Network

1. INTRODUCCIÓN

El uso de Redes Inalámbricas de Sensores (RIS) en aplicaciones industriales, constituye uno de los principales objetivos de esta tecnología, ya que el mercado industrial es un lugar natural para las redes de sensores. Usando combinaciones de sensores y dispositivos inalámbricos, importantes conjuntos de datos pueden ser colectados,

procesados y analizados para determinar cuando y donde se requiere de la interacción directa de los usuarios y operadores (Gutiérrez et al., 2001). En ambientes industriales, surge la necesidad de instalar redes con muchas conexiones para hacer seguimiento a cada una de las etapas de los procesos involucrados, si estas redes llegan ser inalámbricas, se pudiera obtener una reducción significativa de los costes de instalación y mantenimiento.

El contar con herramientas que permitan desarrollar rápidamente prototipos para monitorizar sistemas usando Redes Inalámbricas de Sensores (RIS), facilita en gran medida, las actividades de control en sistemas industriales, su uso permite detectar con prontitud situaciones que ameriten la atención de los operadores del sistema. Actualmente, los Sistemas de Control Distribuido tradicionales (en inglés DCS de *Distributed Control Systems*) son usados para esta tarea, sin embargo, muchos de estos sistemas son desarrollados y adaptados específicamente para casos particulares del ámbito industrial, por lo que su adaptación y puesta en funcionamiento puede consumir mucho tiempo y recursos.

En este trabajo se presenta un prototipo que permitirá agilizar la implantación de este tipo de sistemas atacando principalmente dos de los puntos más complejos: la recolección de los datos proveniente de los sensores industriales y la visualización de estos valores en una interfaz de usuario genérica y flexible, que se puede adaptar a diferentes necesidades, con la capacidad de representar visualmente tanto comportamientos puntuales, como tendencias históricas de los datos.

El resto del presente trabajo está organizado de la siguiente forma. En la Sección 2 se presenta una introducción a las actividades de Monitorización Industrial y Control Industrial, en la Sección 3 se describe la Arquitectura propuesta basada en RIS, sus componentes y como éstos interactúan durante la operación del sistema. En la Sección 4 se describen algunos de los resultados obtenidos durante el desarrollo del prototipo, y finalmente en la Sección 5 se comentan las conclusiones y los aprendizajes obtenidos durante la realización del trabajo.

2. MONITORIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL

La Monitorización industrial o Monitoreo Industrial, como también se le conoce, es una actividad en la cual se colectan una serie de valores correspondientes a factores, parámetros y métricas de la operación de un sistema, para determinar cuál es el desempeño que se está alcanzando. Tareas de control pueden ser realizadas al modificar el comportamiento del sistema en función de los valores colectados y en base a un conjunto de metas de desempeño que se desea alcanzar. Para cumplir estos objetivos, los ambientes industriales requieren de sensores y sistemas de información para asegurar la operatividad de sus componentes, así como para garantizar la calidad, seguridad y eficiencia de sus procesos, en cada una de sus fases.

Los datos deben ser colectados y analizados con la frecuencia suficiente para poder detectar, de forma proactiva, problemas futuros en los equipos y fallas tan pronto como estas ocurran; además, realizar labores de mantenimiento preventivos que permitan tanto reducir las fallas, como extender el tiempo de vida útil de los componentes del sistema. Estas actividades son críticas, por ejemplo, sacar una fábrica de producción para reparar un equipo dañado, puede ser una tarea muy costosa; no sólo por el costo de dejar de producir, sino la posible de pérdida de parte de los productos, que están parcialmente procesados (Nachman et al., 2005), incluso en algunos sistemas, detener la producción puede acarrear daños irreversibles a la infraestructura del sistema.

Para competir efectivamente en el mercado, la industria se esfuerza en implementar nuevos sistemas de monitorización y control, en sus equipos e instalaciones. Para lo cual, el operador de los equipos requiere de componentes que sean fáciles de monitorizar y que permitan un diagnóstico fácil de lo que está ocurriendo, de forma de reducir los tiempos fuera de servicio de los equipos del sistema y los costes asociados a estos a dichas fallas. Los suplidores de equipos requieren también de estas informaciones, de manera de poder proveer un servicio rápido y efectivo a sus clientes (Heck et al., 1998).

La gran nivel de aplicabilidad de las RIS en ambientes industriales, especialmente en labores de mantenimiento predictivo en las corporaciones y organizaciones gubernamentales, puede ser atribuida a los siguientes objetivos (Krishnamurthy et al., 2005) (Shen et al., 2004):

- La reducción de fallos graves en los equipamientos, así como, en los tiempos y costos de reparación, que los fallos pueden acarrear.

- El deseo de cambiar el modelo de negocio, de mantenimientos periódicos a mantenimientos basados en la condición de operación de los equipos, es decir, que el mantenimiento se debe realizar cuando el equipo realmente lo requiera y no necesariamente cuando el suplidor lo indique.
- La habilidad de cualificar y cuantificar la calidad de operación de un sistema nuevo, aún dentro de su período de garantía.
- El deseo de alcanzar con los requerimientos de fiabilidad y los contratos de operación continua (en inglés *uptime*).
- La necesidad de reducir los costos asociados al cableado de la red, incluyendo obstáculos debido a la seguridad y regulaciones en las instalaciones, para la colocación de cableados en áreas consideradas de riesgo.
- La reducción en los costos de mantenimiento en la instalación de los sensores.
- Las mejoras en la visibilidad de las áreas por la ausencia de cableado, para realizar mantenimiento preventivo y procesos de optimización.

En el mundo de los ambientes industriales existe un importante número de implantaciones de RIS reportadas, tanto en publicaciones científicas, como técnicas y comerciales, a continuación mencionamos algunas con el fin de dar una idea del campo de aplicación para esta tecnología:

- Manejo de inventario de tanques en una planta química (SYS Technologies, 2006).
- Vigilancia de Pozos de Baja Producción (Medizabe et al., 2004) y de levantamiento por gas (Zencus, 2004).
- Liberación de Válvulas de descarga en instalaciones de manejo gas (Accutech, 2003).
- Monitorización en estaciones de bombeo de agua (Merrett et al., 2006).
- Monitorización de vibraciones, en una fabrica de componentes electrónicos (Intel Corporation, 2005).
- Mantenimiento de la conexión al ERP de maquinas de moldeadoras de inyección para la producción en envases plásticos (Montague, 2008).
- Mantenimiento predictivo e instrumentación industrial (Ramamurthy et al., 2007).

3. ARQUITECTURA DE PRISMI

Los sistemas de monitoreo industrial están generalmente compuestos de los siguientes elementos: Sensores, Elementos de Control, Bases de Datos, y Aplicaciones Cliente/Servidor (Zerra et al., 1999). Donde, los sensores son los componentes que obtienen medidas directamente del sistema físico. Estas medidas pueden ser usadas para identificar el estado del sistema en estudio. En general los sensores se encargan de la actividad de adquisición de los datos. Por otra parte, los elementos de control o PLC (*Programmable Logic Controllers*) permiten almacenar temporalmente los valores recolectados por los sensores e implementar algoritmos de control, en función de estos valores. Los elementos de control son los encargados del análisis de los datos y de su transmisión a un ente central para su posterior visualización o almacenamiento. También puede encargarse de actividades de retroalimentación simple. En esta propuesta, estas funciones son realizadas por Nodos Sensores (NS) o Motes.

Las Bases de Datos permiten el almacenamiento y gestión de los datos recolectados por todo el sistema de monitoreo y control. En último lugar, una aplicación Cliente/Servidor hace posible el manejo global del sistema y la generación de reportes. En general, estos componentes se encargan del despliegue o visualización de los datos así como servir de interfaz para que los operadores puedan interactuar directamente con el sistema. Debido a esto los componentes deben estar interconectados a través de una red de comunicación, con el objetivo de poder intercambiar información y cooperar para mejorar el desempeño del sistema.

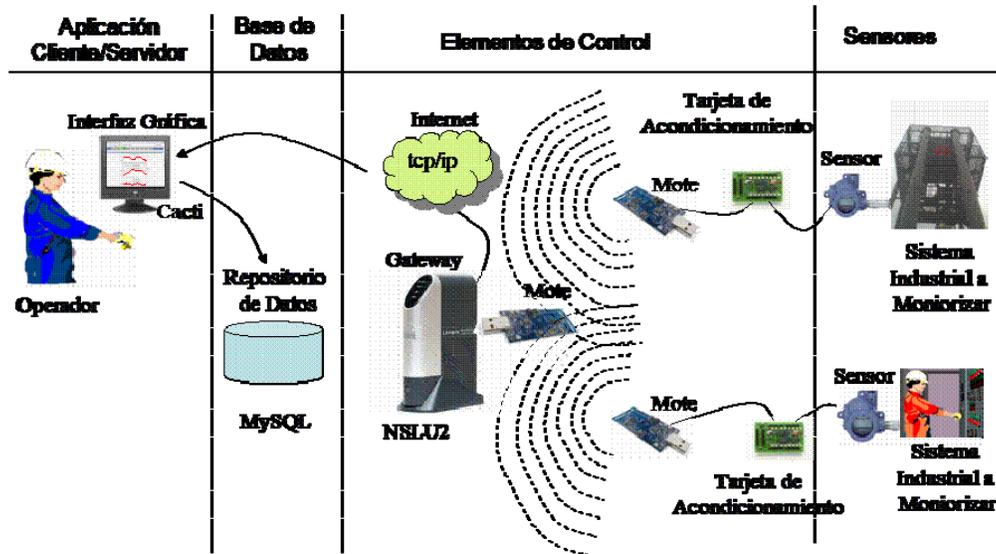


Figura 1: Esquema General de la Arquitectura en el PRISMI

En la Figura 1 se muestra el Esquema General de la Arquitectura PRISMI. En este, la captura de la información se inicia en los **Sensores**. Para este prototipo inicial, se utilizaron sensores con salidas industriales estándares que deben ser tratada por una **Tarjeta de Acondicionamiento** para poder ser introducida en el conversor analógico-digital (en inglés sus siglas sería ADC) de un **Nodo Sensor (NS)**, para posteriormente ser transmitida empleando un transmisor inalámbrico (Zigbee, IEEE 802.15.4). Dicha señal inalámbrica llega hasta una **Puerta de Enlace (Gateway)** en inglés la cual toma la información proveniente de la red inalámbrica y cambia su formato para que viaje por una **red Ethernet** basada en TCP/IP tradicional, hasta un **Centro de Monitoreo y Control** donde podrá ser visualizada, y almacenada en una **Base de Datos**. Gracias a esto un **Operador** puede, tanto ver la información de los valores recolectados por la red, como realizar consultas de los valores históricos de un periodo de tiempo determinado.

SENSORES

Son dispositivos capaces de codificar magnitudes físicas en una señal, que puede ser transmitida a un sistema para su posterior análisis. En el caso de prueba para PRISMI se empleó un sensor de temperatura de variación por resistencia (RTD de sus siglas en inglés) provisto de una salida de 4-20 mA. La elección de un sensor de temperatura basado en RTD surge como respuesta a un rango de trabajo amplio, simplicidad del dispositivo y, principalmente, bajo consumo eléctrico.

TARJETA DE ACONDICIONAMIENTO

Es un componente que permite la adecuación de las señales provenientes de los sensores para su posterior digitalización en el nodo sensor. Dicha adecuación se basa principalmente en la eliminación de ruido y posterior amplificación de la señal analógica a un formato compatible con la siguiente etapa de adquisición. En el caso de este sistema la entrada del ADC del nodo sensor es de 3.3 V.

NODO SENSOR

Un nodo sensor, es un equipo de cómputo y comunicación autónomo, que cuenta con al menos un dispositivo sensor, un componente de procesamiento, una unidad de comunicación y alguna fuente de alimentación eléctrica (Akyildiz et al., 2002).

La función primaria de un nodo sensor es monitorizar condiciones de operación de interés y comunicarse con otros nodos de la red. Adicionalmente los nodos tienen la capacidad de realizar procesamiento sobre la información que recogen del entorno en el que se encuentran, debido a que cuenta con un microcontrolador. El nodo sensor ejecutará una aplicación que periódicamente obtendrá lecturas del ADC, conectado directamente al

Sensor. Finalmente, la unidad de procesamiento cooperará con la unidad de comunicación para enviar, a los nodos vecinos, los parámetros recolectados.

Los nodos sensores que fueron empleados para el prototipo PRISMI son motes Tmote Sky de la empresa Moteiv (ahora Sentilla) que poseen las siguientes características (Moteiv, 2006):

- Microcontrolador MSP430 (Texas Instruments) de 8Mhz.
- 10 KB de memoria RAM y 48 KB de memoria flash para almacenamiento.
- Transmisor-receptor (denominado *transceiver* en inglés) IEEE 802.15.4 (*Zigbee*) en la banda ISM de 2.4GHz, con una tasa de transferencia máxima de 250 Kbps.
- Soporte para sensores de temperatura, humedad y luz.
- Diseño que permite un bajo consumo de electricidad.
- Interfaz de comunicación de puerto serial, vía un conector USB.
- Hardware soportado por el sistema de operación TinyOS.

PUERTA DE ENLACE (GATEWAY)

El *Gateway* es un nodo capaz de conectar la RIS a una infraestructura de comunicación tradicional (generalmente una red Ethernet posiblemente conectada a la Internet), de manera que los usuarios puedan tener acceso a la información reportada por la red inalámbrica (Al-Karaki and Kamal., 2004), desde cualquier lugar.

Este nodo es el punto de recolección de la información proveniente de la RIS. Por lo general, este tipo de nodo tendrá más prestaciones en términos de desempeño y funcionalidad (mayor capacidad de cómputo, memoria y ancho de banda, así como fuente de alimentación eléctrica permanente entre otros) que los otros nodos sensores participantes en una RIS (Dai and Han, 2003).

El nodo *Gateway* empleado en el prototipo PRISMI es un computador embebido denominado Tmote Connect. Dicho equipo, es un computador NSLU2 de la empresa Linksys con una imagen de firmware modificada por Moteiv. A continuación describimos algunas de las características del NSLU2 (Linksys, 2004), (Moreno, 2008):

- CPU ARM-compatible Intel XScale IXP420 a 266Mhz.
- 8 MB de memoria flash.
- 32 MB de memoria RAM.
- 2 puertos USB 2.0.
- 1 interfaz Ethernet 10/100 Mbps.

Debido que el NSLU2 no cuenta con una interfaz de comunicación ZigBee (IEEE 802.15.4), se debió emplear un Tmote Sky adicional, como intermediario para que realizara la tarea de sumidero o concentrador de la RIS (llamado *Sink* en inglés). Este nodo fue conectado a un puerto USB del nodo *Gateway*, y su labor es recibir y canalizar los mensajes de radio de la RIS hacia el *Gateway*. En este prototipo el *Gateway* se encuentra conectado a una fuente de alimentación eléctrica permanente.

INTERFAZ DE USUARIO

Luego que una RIS es desplegada, una herramienta de monitorización y gestión es esencial para poder conocer qué es lo que sucede en el sistema. Una herramienta gráfica flexible y configurable puede mostrar la conectividad de la red, así como permitir a los usuarios establecer valores para los parámetros de operación y adicionalmente puede apoyarse en un software de gestión pueda realizar un análisis del desempeño de toda la red (Shen et al., 2004).

La interfaz de usuario generalmente está constituida de dos componentes, una estación de visualización, y un repositorio de datos.

ESTACIÓN DE VISUALIZACIÓN

La estación de visualización permite observar el valor de la última medición de los parámetros en estudio, así como también ver los históricos de los valores monitorizados, de forma de poder analizar el comportamiento en el tiempo, así como las tendencias existentes, en los datos recolectados.

En este prototipo se realizó una adaptación de la herramienta CACTI (García, 2004), la cual es una poderosa herramienta de visualización basada en RRDtool, que emplea scripts en PHP y MySQL para almacenar información necesaria para crear gráficos del comportamiento de redes y sistemas en general. CACTI posee un sistema de autenticación que permite a los administradores crear y administrar perfiles con diferentes niveles de acceso para los usuarios.

REPOSITORIO DE DATOS

Para poder realizar consultas sobre el comportamiento histórico del sistema, se requiere de un repositorio de datos que permita capturar, almacenar y gestionar estos datos. Originalmente, CACTI emplea MySQL, para almacenar y recuperar, de forma eficiente, los valores asociados a los parámetros recolectados por la red. La fuente de datos puede ser creada, ajustándola a los parámetros que se desean graficar. Adicionalmente, en CACTI se puede configurar la ubicación de un script de comandos que permita ingresar directamente en la base de datos los valores que el usuario requiere, con lo que CACTI está en la capacidad de entregar, periódicamente, estos datos a MySQL, simplemente agregando una tarea programa por tiempo en el computador que sirve a la aplicación.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se realizaron un conjunto de pruebas funcionales para verificar la operatividad del prototipo y el éxito en la integración de cada uno de los componentes descritos en la arquitectura, observando que las medidas recolectadas por el sensor, estaban siendo registradas de forma efectiva y podían ser observadas correctamente. Lográndose la obtención incluso de tendencias históricas del comportamiento de los valores recolectados.

Luego, se consideró deseable estimar el tiempo de operación de un Nodo Sensor (NS) en forma autónoma. Dicha autonomía se basa principalmente en la vida de sus baterías. Para analizar dicha vida es necesario revisar algunos datos estimados de las características provistas por el fabricante del nodo sensor (Moteiv, 2006). Dichas variables pueden verse resumidas en la Tabla 1.

Tabla 1: Consumo de Corriente (en mA) en un TMote Sky para diversas actividades.

Tareas/Actividades	Gasto de energía [mA]
Sensado	3,40
Envío TX	21,00
Recepción RX	23,00
Cómputo	2,40
Dormir	0,021

A partir de estos datos y usando las ecuaciones de gasto de energía para nodos en redes inalámbricas presentes en (Polastre et al., 2004) se elaboró un modelo analítico para determinar cuánto será el tiempo de operación continua de un nodo sensor que utiliza una batería de comportamiento ideal de 500mAh de capacidad. En la Figura 2 se puede observar como aumenta el tiempo de vida de un nodo para este nivel de batería inicial, al ir espaciando la frecuencia en la tasa de sensado, es decir, cada cuanto tiempo el sensor toma un nuevo valor de su entorno

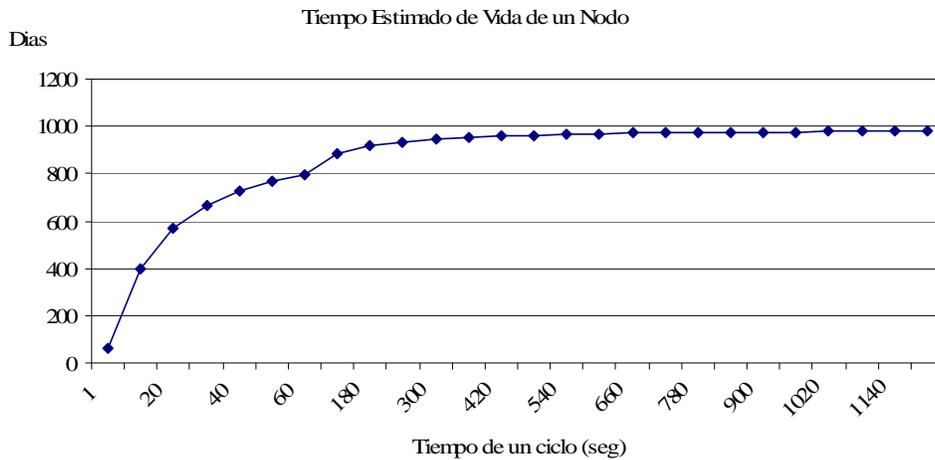


Figura 2: Vida útil del nodo vs. Tasa de Muestreo de la Variable Temperatura basado en el análisis ante una batería ideal de 500mAh.

Basándose en esta información, utilizando como base el procedimiento propuesto por los desarrolladores del Mote MicaZ del fabricante Crossbow con ciclos de trabajo o muestreo de 1 y 5 minutos se puede determinar cuánto será el tiempo de vida de la red para el caso en estudio. Dichos resultados se pueden apreciar en la Figura 3, verificando que en función de los parámetros estimados, no tiene sentido emplear baterías de capacidad mayor a 500mAh, ya que las pérdidas asociadas a sus características operativas, anulan el aumento que pudiera ocurrir en la vida útil del sensor al aumentar la capacidad de las baterías.

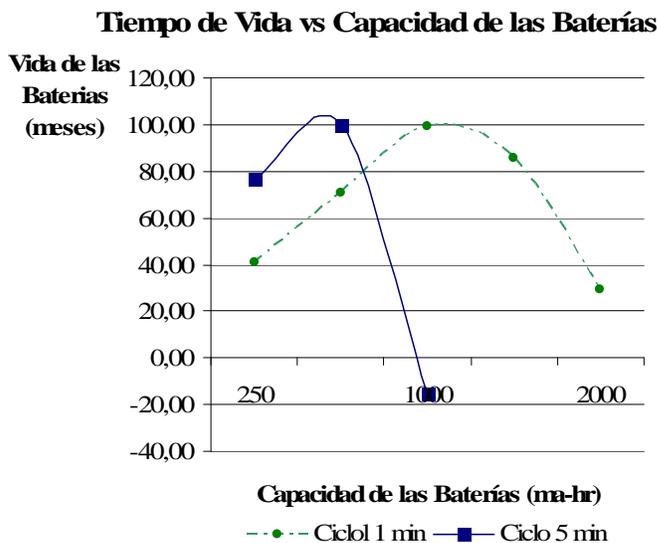


Figura 3: Modelo analítico para determinar la mejor capacidad de de las baterías a emplear en el prototipo

Al incluir al prototipo propuesto dentro del contexto de los buses de campo utilizados para el monitoreo y control industrial en la actualidad, en RIS pueden implementarse protocolos en capas bajas que superen el típico método

de encuesta (en inglés *polling*) empleado en la mayoría de los buses comerciales. Incorporando mejoras en la vida útil de las baterías y el desempeño de PRISMI. Incluso puede mejorar a muchos de los buses comerciales en otras características como el número de nodos y la tasa de transferencia efectiva (Modesti, 2008) (Fieldbus Specialist, 2008).

La cantidad de información enviada entre los nodos de una RIS suele ser muy pequeña (en el orden de las decenas de *bytes*) con el objeto de minimizar el tiempo al aire de los radios y por consiguiente lograr uso eficiente de la energía. En otro sentido, esta característica, permite tiempos de respuesta muy rápidos (menor a 1 ms para 30 *bytes*) (Woo and Culler, 2001), mientras que en el caso particular del bus de campo comercial llamado *Fieldbus* este tiempo de respuesta puede llegar a los 100 ms (Thomesse, 2005).

Comparando nuevamente con *Fieldbus*, en éste las tasas de transferencia pueden llegar a los 1.200 kbps., mientras que para una RIS la misma se encuentra en 250 kbps. A pesar de ser menor, una RIS brinda mayor versatilidad propia de su característica inalámbrica. Es decir, por ejemplo, se podría diseñar una red que de soporte prioritario a los sensores que requieran mayor tasa de transferencia haciendo uso efectivo del ancho de banda disponible. Por otra parte, dada la simplicidad de la arquitectura de una RIS y de los bajos costes de sus componentes, se puede fácilmente abarcar procesos industriales complejos, constituyendo una red perfectamente equivalente a las buses de campo convencionales, incluso, incorporando redundancia en los zonas donde así sea necesario.

5. CONCLUSIONES

El uso de RIS en aplicaciones industriales está teniendo un importante auge en las aplicaciones comerciales. La disminución de costes de instalación y mantenimiento es inminente. Dicha disminución es solo alcanzable si se desarrollan equipos de medición muy baratos, poco especializados y en general sencillos. Sin embargo, en el caso de estudio en este artículo el Nodo Sensor (NS) fue conectado a un sensor instalado de características comerciales sólo a manera de aligerar el tiempo del desarrollo para una prueba de concepto.

Cabe destacar, que en ciertas aplicaciones, donde el peso o el costo de la red son críticos, y un alto porcentaje de esto corresponde a los propios cables de instrumentación, las RIS salen a escena para solventar estos problemas.

Este trabajo aporta los insumos básicos para la implementación exitosa de un prototipo de una RIS, para un ambiente de monitorización industrial. Donde, se logró integrar una serie de herramientas y programas existentes, con el fin de agilizar el proceso de construcción y puesta en operación de un prototipo, en un ambiente de laboratorio. El mismo abarca todos los procesos asociados a una red inalámbrica de sensores, cubriendo desde la recolección de los datos en los nodos sensores, el traslado de la información de la red inalámbrica a Internet, hasta finalmente enviarla a una interfaz gráfica donde los usuarios pueden consultarla con comodidad.

Tanto la herramienta de Visualización empleada, CACTI, como el manejador de Base de datos MySQL, brindan un enorme potencial para que el usuario pueda realizar diferentes análisis sobre los datos y brindan la posibilidad de agregar nuevos módulos gráficos para adaptar las herramientas a nuevos requerimientos que los usuarios puedan plantear.

Con respecto a la vida útil de las baterías del nodo sensor, se realizaron una serie de estimaciones mediante modelos analíticos/experimentales para determinar que podrá tener un tiempo de vida razonable. Estimándose que este tiempo puede llegar a ser bastante superior al año de operación.

Pese a que los buses de campo convencionales pueden ofrecer mayores tasas de transferencia en comparación con una RIS, esta última puede por su parte ser configurada fácilmente al caso particular del proceso a monitorizar, ofreciendo una prestación general superior.

REFERENCIAS

Accutech. (2003). Wireless Instrumentation Determining Relief Valve Discharge. TECH NOTE # 217. November, <http://www.accutechinstruments.com/downloads/technical-articles/tech-note-217-relief-valve-flow.pdf>, 02/15/2009.

- Akyildiz, I., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. and Cayirci, E. (2002). "A survey on sensor networks", *IEEE Communications Magazine*. August 2002, pp 102-114.
- Al-Karaki, J. N. and Kamal, A. E. (2004). "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey". *IEEE Wireless Communications*, Vol 11, pp 6-28.
- Dai, H. and Han, R. (2003). "A node-centric load balancing algorithm for wireless sensor network". *Global Telecommunications Conference IEEE*, Vol. 1, pp 548-552.
- Fieldbus Specialist. (2008). Fieldbus Specific Technical Information, <http://www.fieldbus.com.au/techinfo.htm#Why%20use%20Fieldbuses>, 02/10/2009.
- Garcia, J. (2004). Impress the Boss with Cacti. *Linux Magazine*, <http://www.linuxmag.com/id/1750>, 05/10/2008.
- Gutierrez, J. et al. (2001). "IEEE 802.15.4: A Developing Standard for Low-Power Low-Cost Wireless Personal Area Networks". *IEEE Network*, Vol. 15, Issue 5, pp 12-19.
- Heck, F., Laengle, T. and Woern, H.. (1998). "A multi-agent based monitoring and diagnostics system for industrial components", *Proceedings of the DX'98*, pp. 63-69.
- Intel Corp. (2005). Intel Fab Condition Based Maintenance: Preventing Breakdowns in the Factory with Wireless Sensor Networks, http://www.intel.com/research/vert_manuf_condmaint.htm, 05/10/2008.
- Krishnamurthy, L. et al. (2005). "Design and deployment of industrial sensor networks: experiences from a semiconductor plant and the north sea". *SenSys '05: Proceedings of the 3rd international conference on Embedded networked sensor systems*, ACM Press, pp 64-75.
- Linksys. (2004). Network storage link for USB 2.0 disk drives Product Data, <http://tinyurl.com/3zhlmf>, 02/15/2009.
- Medizade, M., Ridgely, J. and Nelson D. (2004). Marginal Expense Oil Well Wireless Surveillance MEOWS - Phase II". Final Technical Report. Petrolects, LLC and Vaquero Energy, <http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/838722-DrMYWH/native/838722.PDF>, 02/22/2009.
- Merrett, G. et al. (2006). "Energy Controlled Reporting for Industrial Monitoring Wireless Sensor Networks". *IEEE Sensors*, 22nd-25th October, Daegu, Korea.
- Modesti, M. (2008). Sistemas Inteligentes. Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/sistemasinteligentes/, 02/10/2009.
- Montague, J. (2008). Wireless aids molding machine ERP, <http://www.controldesign.com/articles/2006/176.html>, 02/15/2009.
- Moreno, J. A. (2008). Instalando GNU/Linux a un Linksys NSLU2, http://0x29.com.ve/papers/Linux_NSLU2.pdf, 05/10/2008.
- Moteiv. (2006). Tmote Sky, Ultra Low Power IEEE 802.15.4 compliant wireless sensor module. <http://www.sentilla.com/pdf/eol/tmote-sky-datasheet.pdf>, 02/15/2009.
- Nachman, L., Kling, R., Adler, R., Huang, j. and Hummel, V. (2005). "The intel mote platform: a bluetooth-based sensor network for industrial monitoring". *Proceedings of the 4th international symposium on Information processing in sensor networks*, pp 437-442.
- Polastre, J., Hill J. and Culler D. (2004) "Versatile low power media access for wireless sensor networks". *Proceedings of the Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys)*, Baltimore, USA.
- Ramamurthy, H., Prabhu, B. S., Gadh, R. and Madni, A. (2007). "Wireless Industrial Monitoring and Control Using a Smart Sensor Platform". *IEEE Sensors Journal* 2007, 7(5), pp 611-618.
- Shen, X., Wang, Z. and Sun, Y. (2004). "Wireless Sensor Networks for Industrial Applications". *Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation*. pp 3636-3640.

- SYS Technologies. (2006). Asset Monitoring Applications, <http://www.systechnologies.com/>, 05/26/2008.
- Thomesse, J. (2005). "Fieldbus technology in industrial automation". *Proceedings of the IEEE*, Vol 93, No. 6, <http://www.stlib.gd.cn/newtech/dzxx/jszc/Ieee%20new/0506/02.pdf>, 15/03/2009.
- Woo, A and Culler, D. (2001). "A transmission control scheme for media access in sensor networks". *The seventh annual international conference on Mobile computing and networking 2001*. July 16 - 21, Rome, Italy, pp 221-235.
- Zerra, M., Esteve, M., Palau, C.E. and Guerri, J.C. (1999). "Design and development of an industrial monitoring system using Windows NT as a real-time operating system", *Proceedings of 7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, Vol 2, Barcelona, Spain, pp 1249-1257.
- Zencus Wireless. (2004). Data Acquisition and Visualization: Field Data Acquisition - Gas Lift Oil Well, <http://www.zencus.com/gaslift.htm>, 02/15/2008.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.