

Recolección de datos mediante una red de sensores para monitorear condiciones de Higiene y Seguridad en entornos industriales

Data collection through a network of sensors to monitor Hygiene and Safety conditions in industrial environments

Eduardo Rodríguez, Claudia Deco, Luciana Burzacca,
Santiago Costa, Cristina Bender

Departamento de Investigación Institucional. Facultad de Química e Ingeniería del Rosario. Pontificia Universidad Católica Argentina (PUCA). Av. Pellegrini 3314, (2000) Rosario, Santa Fe, Argentina

{ejrodriguez, cdeco, lucianaburzacca, santiagocosta, cbender}@uca.edu.ar

Abstract. *We propose using a sensor network for monitoring environmental conditions in industrial environments. Specifically, temperature, humidity, noise and luminosity are monitored. The purpose of this data collection is to support annual inspections by an external auditor, so the collection is not critical since they do not control any device. Sensors are the most appropriate technology for monitoring and reporting quantifiable measurements of physical parameters. Wireless sensor networks have attracted attention due to the integration of wireless technology, computing and sensor technology. Two types of approach are proposed: Sensor networks and the Internet of Things. For the second approach, two possible solutions are shown using Wido modules and nodeMCU modules. These approaches are analyzed and evaluated from the point of view of the feasibility and cost of each solution.*

Keywords: *Sensor Networks, Monitoring Hygiene and Safety conditions, Industrial Environments, Internet of Things.*

Resumen. *Se propone utilizar una red de sensores para el monitoreo de condiciones ambientales de Higiene y Seguridad en entornos industriales. Las condiciones ambientales observadas son Temperatura, Humedad, Ruido y Luminosidad. El propósito de esta recolección de datos es dar soporte a inspecciones anuales de un auditor externo, por lo que la recolección no es crítica dado que no controlan ningún dispositivo. La medición de parámetros físicos hace que los sensores sean la tecnología más adecuada para el monitoreo y reporte de mediciones cuantificables. Por esto se plantea el uso de redes de sensores inalámbricos debido a la integración actual de tecnología inalámbrica, computación y tecnología de sensores. Se plantean dos tipos de abordaje: Redes de sensores e Internet de las Cosas. Dentro de este último se muestran dos soluciones posibles utilizando módulos Wido y módulos nodeMCU. Se analizan y evalúan estos abordajes desde el punto de vista de la factibilidad y costo de cada solución.*

Palabras Clave: *Redes de Sensores, Monitoreo condiciones de Higiene y Seguridad, Entornos Industriales, Internet de las Cosas.*

1. Introducción

El monitoreo de condiciones ambientales de Higiene y Seguridad en entornos industriales se puede implementar mediante una red de sensores. Las redes de sensores inalámbricos consisten en una serie de nodos que están equipados con procesamiento, comunicación y capacidades de sensado. Utilizan protocolos especiales de radio para transmitir datos en un modo multisalto de operación [Santini et al. 2008]. En términos generales, la medición de parámetros físicos hace que los sensores sean la tecnología más adecuada para el monitoreo y reporte de mediciones cuantificables. Para esto, los nodos deben ser capaces de comunicarse con otros nodos a través de un módulo de radio altamente confiable que sea compatible con el protocolo de comunicación de la red, tal como el estándar IEEE 802.15.4 en nuestro caso. Además, la red debe ser robusta para monitorear las mediciones requeridas, tales como la temperatura, durante un largo tiempo. El objetivo del monitoreo de condiciones ambientales es una recolección de información eficiente, que se utiliza tanto para la prevención (en tiempo real o postpuesto) como para el análisis. Las condiciones ambientales que se desean observar son Temperatura, Humedad, Ruido y Luminosidad. Los valores límites para temperatura, humedad, ruido y luminosidad, como así también cómo se realizan estos controles son los establecidos por la Ley de Higiene y Seguridad (Ley N° 19.587). En este trabajo, el propósito de esta recolección de datos es dar soporte a inspecciones anuales de un auditor externo, por lo que la recolección no es crítica dado que no controlan ningún dispositivo.

Las redes de sensores inalámbricas utilizan protocolos especiales de radio para transmitir datos en un modo multisalto de operación. En una primera instancia se abordó el problema utilizando una red de sensores con módulos Xbee los cuales transmiten a un nodo maestro que sirve como gateway para enviar la información a un servidor que la almacena. La adquisición de datos de los sensores se realizó utilizando una plataforma Arduino anexada a los Xbee. En una segunda instancia, posteriores avances observados en lo que se denomina Internet de las Cosas (IoT) nos llevaron a utilizar este enfoque, debido a los menores costos de esta segunda solución. Para este segundo abordaje se utilizaron, en primer lugar, módulos Arduino con WiFi embebido, denominados Wido, que permiten la comunicación de datos directamente al servidor de almacenaje. Dado que los costos de las soluciones mencionadas son bastante elevados y habida cuenta del avance de la tecnología se consiguieron nuevos dispositivos denominados NodeMCU con características similares a los Wido pero con costos significativamente más bajos. Desde el punto de vista del manejo de los datos se utiliza en todos los casos el protocolo MQTT para enviar los datos desde los dispositivos de sensado a un servidor del mismo tipo. El servidor MQTT (Mosquitto) interacciona con una plataforma middleware (Kaa) que hace de interface entre la recolección y cualquier sistema externo que permita tanto distribución como almacenamiento, procesamiento y visualización de los datos obtenidos por los sensores. Por otro lado, adquiridos los datos se presenta la necesidad de poder analizarlos en forma eficiente. En esta etapa, se utiliza el sistema de gestión de bases de datos relacionales MySQL para el almacenamiento de los datos recolectados.

El trabajo comprende el diseño de la red y las pruebas realizadas para evaluar el funcionamiento con los dispositivos NodeMCU, respecto a los enfoques anteriores.

El trabajo se estructura de la siguiente forma: En la Sección 2 se presentan conceptos básicos. En la Sección 3 se describe el problema a resolver. En la Sección 4 se describe la arquitectura de red propuesta y una comparación de costos estimados. Finalmente se presentan las conclusiones.

2. Conceptos Básicos

Una Red de Sensores Inalámbrica (WSN) se caracteriza por su facilidad de despliegue y por ser auto-configurable, ofrecer servicios de encaminamiento entre nodos sin visión directa, así como registrar datos referentes a los sensores locales de cada nodo. Además, gestiona eficientemente la energía y así obtiene una alta tasa de autonomía. La evolución tecnológica trajo aparejado equipamiento de pequeño tamaño con capacidad de procesamiento, conectividad inalámbrica y de bajo costo. Estos dispositivos se denominan motes con una unidad de procesamiento de cómputo mínimo, memoria, una unidad de comunicación inalámbrica y uno o varios dispositivos de sensado que capturan parámetros como temperatura, humedad, etc. Una red de sensores inalámbrica está formada por un conjunto de motes comunicados entre sí. Su distribución puede ser aleatoria o planificada y los nodos pueden trabajar de modo cooperativo. La red se auto-organiza y auto-corrige, es decir, los nodos establecen y mantienen de forma automática la conectividad entre ellos. Los nodos estáticos están normalmente alimentados en pared y con una ubicación conocida y fija. Los nodos móviles necesitan contar con baterías. Los sistemas son diseñados para trabajar en condiciones normales. La medición de la temperatura podría, por ejemplo prevenir un incendio mediante la supervisión de esos valores. El despliegue de nodos de sensores en el entorno físico puede tomar varias formas [Güngör et al. 2013]. Este despliegue, además de poder ser aleatorio o planificado, también puede ser un proceso continuo, con nuevos nodos desplegados en cualquier momento durante el uso de la red, por ejemplo, para reemplazar los nodos fallidos o para mejorar la cobertura de la red.

En la literatura existen distintos trabajos que utilizan redes de sensores. [Santini et al. 2008] presentan un prototipo de una plataforma para la recolección y el registro de las mediciones de contaminación acústica al aire libre. Estas mediciones se pueden utilizar para el análisis del efecto de la contaminación sobre la productividad de la mano de obra y el comportamiento social. En [Somov et al. 2010] se propone utilizar sistemas autónomos de sensores inalámbricos para la detección precoz de incendios y fugas de gas. En dicho trabajo, un módulo de sensor de gas detecta el producto pirólisis con el fin de individualizar un fuego antes de la inflamación y un módulo genérico de captación de energía proporciona la fuente de alimentación para el módulo de sensado de gas. Algunos de los últimos trabajos en el campo de la supervisión de la condición/estado de equipos industriales para tuberías [Murphy et al. 2007] y la automatización de fábrica ([Krishnamurthy et al. 2005], [Tiwari et al. 2004], [Wright et al. 2008]) son importantes ya que la velocidad y la calidad del proceso de producción dependen de la condición y la precisión del equipamiento. Otro trabajo que se centra en redes de sensores inalámbricas para el monitoreo de tuberías es [Stoianov et al. 2007], donde los autores describen la red que tiene como objetivo detectar, localizar y cuantificar explosiones, fugas y otras anomalías como ser bloqueos o mal funcionamiento de las válvulas de control en las tuberías de transmisión de agua.

Se denomina Internet de las Cosas (IoT) al concepto que define la red global de información y comunicación en donde todos los objetos que nos rodean, independientemente de su naturaleza, tamaño y geometría, se encuentran identificados y conectados permanentemente a Internet. Esto permite la captura, almacenamiento y gestión de toda la información emitida por dichos objetos con la finalidad de automatizar actividades y procesos diarios en la vida cotidiana, así como analizar todos los datos generados aportando información útil que ayude a la correcta toma de decisión frente a determinadas situaciones [Conner 2010]. Las tecnologías de software y hardware en las que se apoya están totalmente desarrolladas y listas para implantarse. Por ejemplo, tecnologías como Big Data, Business Intelligence, Analytics, Cloud Computing, dispositivos Wearables, etiquetas RFID, fibra óptica, comunicaciones Wireless, Smart cities, etc. Una ventaja es la capacidad de poder ser aplicada por ejemplo a sensores ubicados en múltiples puntos recogiendo información sobre parámetros ambientales. Existen distintos protocolos para la transmisión de los datos. Los más conocidos son: MQTT, MQTT-S, CoAP, REST-API y XMPP. En particular, en este trabajo utilizamos el protocolo MQTT. Para el protocolo MQTT podemos encontrar distintos servidores: IBM WebSphere MQ Telemetry que es un add-on para MQ versión 7 y superiores, Mosquitto que es un Servidor open source MQTT con clientes C, C++, Python y Javascript, MQTT.js que es un Servidor MQTT node.js, RabbitMQ que es el broker AMQP de SpringSource que tiene un MQTT plugin y Apache Apollo que es el nuevo ActiveMQ soporta MQTT via un plugin. En este trabajo utilizamos el servidor Mosquitto. Se estima que actualmente hay 11.000 millones de objetos conectados y que el crecimiento será exponencial estimando que para 2020 habrá 50.000 millones de objetos conectados [Howard 2015].

3. Caracterización del Problema

El objetivo es la recolección de datos de condiciones de higiene y seguridad que se realiza mediante sensores esparcidos dentro de la superficie de una planta industrial. Esta recolección no se considera crítica dado que no controla ningún dispositivo. Por lo tanto no hay necesidad de efectuar un monitoreo minucioso ya que dichos datos servirán para conformar una base de datos a los efectos de verificar el cumplimiento de las condiciones necesarias para el desarrollo de un trabajo en un período de tiempo. Desde el punto de vista de la energía tampoco se tienen necesidades especiales dado que por tratarse de una planta industrial generalmente el acceso a fuentes de energía eléctrica es fácil. Otra cuestión que debe considerarse es la interferencia que los equipamientos industriales podrían hacer sobre los dispositivos inalámbricos. Este tema se puede solucionar variando la ubicación de los dispositivos y no será abordado en este trabajo.

A partir del 24/04/1972 rige en todo el territorio de la República Argentina la ley N° 19587 y reglamentaciones correspondientes [Parada y Errecaborde 2015]. Esta ley establece las condiciones de higiene y seguridad en el trabajo. Dentro de sus normas generales se destaca para este trabajo el artículo 4, que comprende las normas técnicas y medidas sanitarias, precautorias, de tutela o de cualquier otro índole que tenga por objeto: proteger la vida, preservar y mantener la integridad psicofísica de los trabajadores; prevenir, reducir, eliminar o aislar los riesgos de los distintos centros o puestos de trabajo; y estimular y desarrollar una actitud positiva respecto de la prevención de los accidentes o enfermedades que puedan derivarse de la actividad laboral. El artículo 6 también es de interés dado que presenta las reglamentaciones de

las condiciones de higiene y seguridad de los ambientes de trabajo en lo referido a: factores físicos, ventilación, temperatura, carga térmica, presión, humedad, iluminación, ruido, vibraciones y radiaciones ionizantes.

Con respecto al estrés térmico (o carga térmica), se tomó como estándar los valores TGBH que es el índice temperatura globo y bulbo húmedo. En lugares sin exposición directa del sol (para lugares interiores o exteriores sin carga solar) este índice se calcula con la siguiente ecuación: $TGBH = 0,7 TBH + 0,3 TG$. En lugares con exposición directa al sol se calcula con la siguiente ecuación: $TGBH = 0.7 TBH + 0.2 TG + 0.1 TBS$. En ambas ecuaciones, TBH es la temperatura húmeda, a veces llamada temperatura natural del termómetro del bulbo húmedo, TG es la temperatura del globo, a veces llamada temperatura del termómetro del globo, y TBS es la temperatura del aire seco, a veces llamada temperatura del termómetro del bulbo seco. Dado que la medida TGBH es solamente un índice del medio ambiente, los criterios de selección de los valores críticos han de ajustarse a las demandas del trabajo continuo, la ropa y el estado de aclimatación.

Con respecto a Iluminación en el Anexo IV de dicha ley correspondiente a los artículos 71 a 84, se toma la unidad de medida LUX (equivalente a un lumen/metro cuadrado). La intensidad mínima de iluminación, medida sobre el plano de trabajo, ya sea éste horizontal, vertical u oblicuo, está establecido en dicha ley y varía de acuerdo con la dificultad de la tarea visual, desde 100 lux para visión ocasional solamente, como por ejemplo permitir movimientos seguros en lugares de poco tránsito, y hasta 10000 lux para tareas excepcionales, difíciles o importantes como por ejemplo la iluminación del campo operatorio en una sala de cirugía.

Con respecto a Ruido y Vibraciones el Anexo V correspondiente a los artículos 85 a 94, la ley mencionada muestra que el límite máximo tolerado es de 90 dBA, pero el decreto N° 351/79 considera los 85 dBA como un nivel de precaución..

4. Arquitectura de Red

Como ya se mencionó en la introducción utilizamos dos abordajes para nuestra propuesta: uno usando redes de sensores inalámbricos y otro según el enfoque utilizado en Internet de las cosas (IoT). En este segundo abordaje se plantearon dos soluciones posibles con distintos dispositivos; en ambos casos se utilizaron plataformas Arduino o compatibles que manejan la recolección de los datos provenientes de sensores que se anexan a las mismas. Para la transmisión de los datos se utiliza el protocolo MQ Telemetry Transport (MQTT) (<http://mqtt.org/>) dado que se encuentra disponible para plataformas Arduino y puede ser utilizado en ambos abordajes.

El protocolo MQTT es un protocolo de transporte de mensajes en la forma Cliente/Servidor. Es liviano, abierto, sencillo y está diseñado para que sea fácil de implementar. Estas características lo hacen ideal para su uso en muchas situaciones, incluyendo entornos limitados como la comunicación de máquina a máquina y el Internet de las Cosas, contextos en los que se requiere una pequeña huella de código y/o el ancho de banda es un bien escaso. El protocolo se ejecuta a través de TCP/IP, o sobre otros protocolos de red que proporcionan conexiones ordenadas, sin pérdidas y bidireccionales.

En este proyecto, se utilizan sensores de temperatura y humedad en una sola unidad, sensores de sonido y sensores de luminosidad. En todas las propuestas se utiliza

una plataforma Arduino o compatible que es una plataforma abierta sobre la que se montan los siguientes sensores: sensor de humedad y temperatura (HT22), sensor de luz (TSL2561) y sensor de ruido (DFR0034). Los dispositivos de conectividad varían según la solución [Rodríguez et al. 2015].

Para el enfoque de Redes de Sensores se utilizan módulos inalámbricos Xbee los cuales están conectados a los Arduino (Arduino UNO R3) recibiendo los datos de ellos y transmitiéndolos a los otros nodos. La red que forman los Xbee es una red mallada que una vez configurada se encarga de transmitir los datos que recibe cada uno de los nodos a un nodo central. En dicha red existen tres tipos de nodos: Coordinador (que tiene como única función formar la red), Router (que crea y mantiene información sobre la red para determinar la mejor ruta para enrutar un paquete de información) y End Device (dispositivos finales que no tienen capacidad de enrutar paquetes).

La arquitectura de esta red es sencilla y puede observarse en la Figura 1.

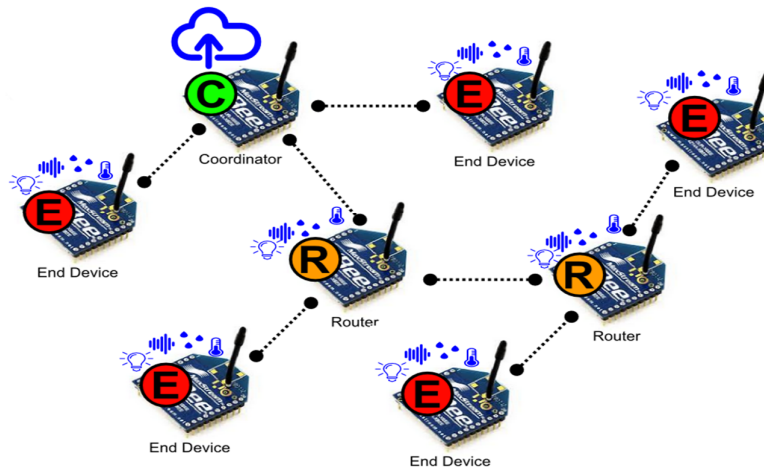


Figura 1. Arquitectura Red de sensores

Un cálculo estimativo del costo para cada nodo de este tipo de solución es: Arduino UNO Rev 3 de 16 dólares, Xbee Shield 9 dólares y transmisor Xbee 60 dólares. Y para los sensores: Sensor de Temperatura y Humedad DHT22 es de 6 dólares, Sensor de Luminosidad TSL2561 es de 6 dólares y el Sensor de sonido analógico DFR0034 es de 8 dólares. Lo que implica un total por nodo de 105 dólares.

Desde el punto de vista de Internet de las Cosas (IoT) se analizaron dos soluciones. En la primera se utilizan módulos Arduino compatibles denominados Wido que tienen un módulo WiFi embebido. Estos dispositivos toman los datos de los sensores de la misma manera que en el enfoque de redes de sensores, y los transmiten directamente al host donde se encuentra el servidor que recoge los datos y los almacena en una base de datos. Para lograr esta transmisión, el Wido se conecta a un Punto de Acceso inalámbrico o a una red mallada que está conectada a Internet. La arquitectura de esta red es sencilla y puede observarse en la Figura 2.

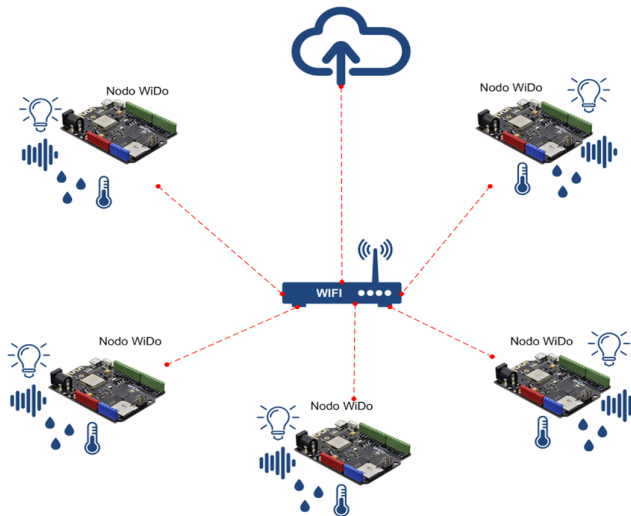


Figura 2. Arquitectura Red IoT

Un cálculo estimativo del costo para cada nodo de este tipo de solución es: WiDo DFR0321 de 35 dólares y para los sensores: Sensor de Temperatura y Humedad DHT22 es de 6 dólares, Sensor de Luminosidad TSL2561 es de 6 dólares y el Sensor de sonido analógico DFR0034 es de 8 dólares. Lo que implica un total por nodo de 55 dólares.

La segunda solución desde el punto de vista de IoT es implementada reemplazando el Wido por un dispositivo nodeMCU equivalente, por lo que la arquitectura de red es similar a la mostrada en la Figura 2.

En este caso el cálculo estimativo del costo para cada nodo de este tipo de solución es: el nodeMCU es de 10 dólares y para los sensores: Sensor de Temperatura y Humedad DHT22 es de 6 dólares, Sensor de Luminosidad TSL2561 es de 6 dólares y el Sensor de sonido analógico DFR0034 es de 8 dólares. Lo que implica un total por nodo de 30 dólares.

La información generada es enviada a un servidor principal a través del protocolo MQTT. En este servidor se encuentra la aplicación Mosquitto, la cual funciona a modo de Broker para los nodos. Estos nodos publican allí los datos obtenidos. Se cuenta con procesos que almacenan los datos en el sistema de gestión de bases de datos relacionales MySQL donde corre una aplicación basada en php que permite ver la información existente en la base de datos. En paralelo, la plataforma KAA project también está suscrita a los datos del Broker MQTT a los fines de evaluación, ya que es tendencia que las aplicaciones IoT o de redes de sensores publiquen los datos en plataformas middleware de compatibilidad múltiple, lo cual permite la abstracción en el transporte de la información (http, mqtt, coap, wifi, zigbee, etc). Esto se muestra en la Figura 3.

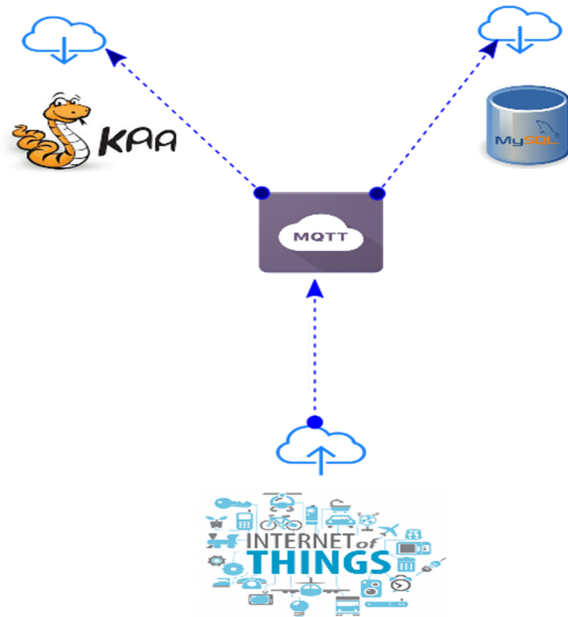


Figura 3. Esquema de publicación / suscripción de información

Para hacer una estimación de la cantidad de datos a manejar, se calculó una frecuencia de muestreo de 1 minuto, por lo que se tienen 4 datos por minuto por cada nodo, lo que implica 5760 datos diarios por nodo. En este proyecto se trabajó con 10 nodos, pero una aplicación real debe ser capaz de manejar cientos de ellos. La Tabla 1 muestra el costo para esta cantidad de nodos.

Tabla 1. Comparativa de Costos

	Sensores (10 de cada uno)	Nodos (10)	Nodos intermedios	Nodo Central	Costo Total (en US\$)
Red de Sensores	Temp+Hum, Ruido, Luminosidad $(6+8+6) \times 10$	Xbee+Arduino+ shield $(60+16+9) \times 10$	Xbee 60×2	Xbee+Arduino YUN $60+50$	1280
IoT(1)	Temp+Hum, Ruido, Luminosidad $(6+8+6) \times 10$	WiFiDo 35×10		AP Wifi 150	700
IoT(2)	Temp+Hum, Ruido, Luminosidad $(6+8+6) \times 10$	NodeMCU 10×10		AP Wifi 150	450

Como se observa en esta tabla, el costo para implementar una red IoT con nodeMCU para 10 nodos resulta sólo un 35% del costo de implementar una red de sensores para la misma cantidad de nodos. Es decir que la implementación con IoT con nodeMCU tiene una mejora en el costo del 65%.

5. Conclusiones

En este trabajo se muestra que es posible implementar un sistema de sensado y monitoreo permanente de condiciones ambientales en entornos industriales. También se muestra que la constante evolución de la tecnología hace las soluciones cada vez más económicas. Por esto, en este trabajo se muestra que los costos del monitoreo

permanente de estos parámetros son actualmente accesibles y se podrán mejorar con el avance tecnológico y la producción serializada de los nodos adquisidores, lo cual redundará en beneficio de las condiciones laborales de los operarios.

Se mostraron dos tipos de abordaje: Redes de sensores e Internet de las Cosas. Dentro de este último se mostraron dos soluciones posibles utilizando módulos Wido y módulos nodeMCU. Como se observa en la Tabla 1 el costo de las soluciones utilizando el abordaje de IoT es menor que si se usa el enfoque de redes de sensores, y su costo se reduce día a día con la aparición de nuevos dispositivos como se muestra para el caso de nodeMCU. En particular, a la fecha, la implementación con IoT con nodeMCU tiene una mejora en el costo del 65%.

La evolución de las distintas plataformas tanto de hardware como de software hacen que exponencialmente aparezcan nuevas soluciones y los paradigmas que éstas originan se vayan caracterizando y normalizando en segmentos bien definidos. Tal es el caso de dispositivos como el nodeMCU que están basados en el económico y muy versátil módulo WIFI ESP8266, y como las plataformas de software enfocadas en cloud computing que incorporan los protocolos mencionados y son de código abierto como es el caso de Kaa Projects. Esto muestra una tendencia evolutiva hacia el paradigma IoT (Internet of Things) y de ésta al paradigma IoE (Internet of Everything).

Como trabajo futuro se plantea hacer un estudio de casos de validación de la implementación, así como analizar y evaluar distintos protocolos de seguridad vinculados a una red de sensores del tipo propuesto en este trabajo.

Referencias

- Santini, S.; Ostermaier, B.; Vitaletti, A. (2008). "First experiences using wireless sensor networks for noise pollution monitoring". Proceedings of the workshop on Real-world wireless sensor networks, REALWSN '08, pages 61–65, New York, NY, USA. ACM.
- Güngör, V. Çağrı; Hancke, Gerhard P. (2013). Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols, and Standards. CRC Press (April 4, 2013).
- Somov, A.; Spirjakin, D.; Ivanov, M.; Khromushin, I.; Passerone, R.; Baranov, A.; Savkin, A. (2010). "Combustible gases and early fire detection: an autonomous system for wireless sensor networks". Proceedings of the 1st International Conference on Energy-Efficient Computing and Networking, e-Energy '10. pages 85–93, New York, NY, USA. ACM.
- Murphy, F.; Laffey, D.; O'Flynn, B.; Buckley, J.; Barton, J. (2007). "Development of a wireless sensor network for collaborative agents to treat scale formation in oil pipes". Proceedings of the 4th European conference on Wireless sensor networks EWSN'07. LNCS 2007, 4373, 179–194. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- Krishnamurthy, L.; Adler, R.; Buonadonna, P.; Chhabra, J.; Flanigan, M.; Kushalnagar, N.; Nachman, L. and Yarvis, M. (2005). "Design and deployment of industrial sensor networks: Experiences from a semiconductor plant and the north sea". Proceedings of InSenSys '05: 3rd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pages 64–75. ACM, November 2005.

- Tiwari, A.; Lewis, F.L. and Ge, S.S. (2004). "Wireless sensor network for machine condition based maintenance". Proceedings of the 8th Control, Automation, Robotics and Vision Conference, ICARCV 2004, Kunming, China Volume 1, pages 461–467, (IEEE Cat. No.04EX920). December 2004.
- Wright, P.; Dornfeld, D. and Ota, N. (2008). "Condition monitoring in end-milling using wireless sensor networks". Transactions of NAMRI/SME, 36, 2008.
- Stoianov, I.; Nachman, L.; Madden, S. and Tokmouline, T. (2007). "Pipeneta wire-less sensor network for pipeline monitoring". Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks, IPSN '07, pages 264–273, 2007. ACM/IEEE.
- Conner, M. (2010). "Sensors empower the "Internet of Things"" EDN Network (Issue 10). pp. 32–38. Disponible en www.edn.com/design/sensors/4363366/Sensors-empower-the-quot-Internet-of-Things-quot-. ISSN 0012-7515. Consultado agosto de 2016.
- Howard, P. N. (2015). "How big is the Internet of Things and how big will it get?". The Brookings Institution. Disponible en www.brookings.edu/blogs/techtank/posts/2015/06/8-future-of-iot-part-1. Consultado 26 de Junio 2016.
- Parada, R. A. (comp.) y Errecaborde J. D. (comp.). (2015). Higiene y seguridad en el trabajo. Versión 2.1. ERREPAR S.A. Páginas 7-92. Buenos Aires. ISDN 978-987-01-1750-6.
- Rodríguez E., Deco C., Burzacca L., Pettinari M., Bender, C., Costa, S. (2015) "Análisis y diseño de una red sensores con tecnología inalámbrica para el monitoreo de condiciones de Higiene y Seguridad del ambiente en entornos industriales". En Proceedings del Congreso Argentino Ingeniería Industrial. Córdoba.