

Análisis y diseño de una red sensores con tecnología inalámbrica para el monitoreo de condiciones de Higiene y Seguridad del ambiente en entornos industriales

Área temática: Gestión de la Calidad, Calidad Ambiental y Responsabilidad Social de las Organizaciones.

Rodríguez, Eduardo*; Deco, Claudia; Burzacca, Luciana; Pettinari, Mauro;
Costa, Santiago; Bender, Cristina

*Departamento de Investigación Institucional. Facultad de Química e Ingeniería Campus Rosario.
Pontificia Universidad Católica Argentina (PUCA)
Av. Pellegrini 3314, (2000) Rosario, Santa Fe, Argentina
{ejrodriguez,cdeco,lucianaburzacca,mauro_pettinari,santiagocosta,cbender}@uca.edu.ar*

RESUMEN.

En los últimos años, las redes de sensores inalámbricos han atraído mucha atención debido a la integración de tecnología inalámbrica, computación y tecnología de sensores. Estas redes consisten en una serie de nodos equipados con capacidades de procesamiento, comunicación y sensado. Utilizan protocolos especiales de radio para transmitir datos en un modo multisalto de operación. La medición de parámetros físicos hace que los sensores sean la tecnología más adecuada para el monitoreo y reporte de mediciones cuantificables. En este trabajo se propone utilizar una red de sensores para el monitoreo de las condiciones ambientales de Higiene y Seguridad en entornos industriales. Concretamente se monitorean Temperatura, Humedad, Ruido y Luminosidad. Se propone esta recolección de datos para dar soporte a la inspección anual de un auditor externo, por lo que no se considera esta recolección como crítica dado que no controlan ningún dispositivo. En primera instancia se aborda 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 realiza utilizando una plataforma Arduino anexada a los Xbee. Por otro lado, si bien desde la concepción del proyecto se pensó en una red de sensores inalámbricos para abordar el problema, posteriores avances observados en lo que se denomina Internet de las Cosas (IoT) nos llevan a la necesidad de contrastar la propuesta inicial con otra con este enfoque, sobre todo teniendo en cuenta los costos de una y otra solución. Para este segundo abordaje se utilizan módulos Arduino con WiFi embebido, denominados Wido, que permiten la comunicación de datos directamente al servidor de almacenaje. El trabajo comprende la caracterización del problema, elección del hardware, diseño de la red y la realización de pruebas para evaluar el funcionamiento de ambos enfoques.

Palabras Claves: Redes de Sensores, Monitoreo condiciones de Higiene y Seguridad, Entornos Industriales, Internet de las cosas.

ABSTRACT.

In recent years, wireless sensor networks have attracted attention due to the integration of wireless technology, computing and sensor technology. These networks consist of series of nodes equipped with processing, communication and sensing capabilities. They use special radio protocols for transmitting data in a multi-hop mode. The measurement of physical parameters makes sensors the most appropriate technology for monitoring and reporting of quantifiable measurements. In this paper we propose using a sensor network for monitoring environmental conditions of hygiene and safety in industrial environments. Specifically, temperature, humidity, noise and luminosity are monitored. This data collection is proposed to support, for example, the annual inspection of an external auditor and it is not critical because they do not control any device. Two approaches are presented. The first is to use a sensor network with XBee modules which transmit to a master node that works as a gateway to send information to a server that stores it. The acquisition of sensor data is performed using an Arduino platform attached to the Xbee modules. On the other hand, the further progress of the Internet of Things (IoT) leads us to the need to compare the initial proposal with this approach, especially taking into account the costs of both solutions. For this second approach, we use Arduino modules with embedded WiFi, called Wido, which allows data communication directly to the storage server. This work includes problem characterization, hardware selection, network design and testing to evaluate the performance of both approaches.

1. INTRODUCCIÓN.

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 multisalvo de operación [1]. En términos generales, la medición de parámetros físicos hace que los sensores sean la tecnología más adecuada para el monitoreo y reporte de importantes mediciones cuantificables. En primer lugar, 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. En segundo lugar, la red debe ser robusta para monitorear las mediciones requeridas, tales como la temperatura, durante un largo tiempo.

El sensado en los procesos industriales ha sido la aplicación básica de las redes de sensores desde su aparición y actualmente está ampliamente extendido a casi todos los campos de la industria. El objetivo del monitoreo de condiciones ambientales es una recolección de información eficiente, que se utiliza tanto para la prevención (en tiempo real o pospuesto) como para el análisis. La migración de las redes de sensores cableadas a las redes inalámbricas trae numerosas ventajas al facilitar el proceso de despliegue y la recolección de la información. De hecho, debido a su pequeño tamaño, los sensores pueden ser fácil y rápidamente desplegados en grandes escalas a bajo costo. Sus funciones inalámbricas los hacen independientes de cualquier infraestructura costosa y fija y también contribuyen a su éxito.

En este trabajo se propone utilizar una red de sensores para el monitoreo de las condiciones ambientales de Higiene y Seguridad en entornos industriales. Concretamente se monitorea Temperatura, Humedad, Ruido y Luminosidad. El proyecto comprende la caracterización del problema, la elección del hardware, el diseño de la red y la realización de pruebas para demostrar su funcionamiento. No se considera la recolección de estos datos como crítica ya que no controlan ningún dispositivo y se propone esta recolección de datos para dar soporte a la inspección anual de un auditor externo. Esto da la posibilidad de utilizar protocolos y dispositivos que no tengan tantas prestaciones dado que un muestreo de datos cada minuto será más que suficiente para conformar una excelente base de datos del tema. Es decir, no se utilizarán protocolos ni dispositivos que se usen en procesos industriales, sino aquellos aptos para muestreo ambiental no crítico. 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.

Si bien desde la concepción del proyecto se pensó en una red de sensores inalámbricos para abordar el problema, posteriores avances que se han podido observar en lo que se denomina Internet de las Cosas (IoT) nos llevan a la necesidad de contrastar la propuesta inicial con otra que tenga en cuenta este abordaje. Esto se hace necesario sobre todo teniendo en cuenta un análisis preliminar de los costos de una y otra solución.

En la Sección 2 se presentan características de las redes de sensores y en la Sección 3 algunos conceptos referidos a IoT. La Sección 4 describe el problema a resolver. En la Sección 5 se describe la arquitectura de red propuesta y una comparación de costos estimados. Finalmente se presentan las conclusiones.

2. REDES DE SENSORES.

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 necesitarán ser a 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 [2]. Puede ser aleatorio o en forma deliberada en lugares elegidos en una posición fija. El despliegue 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. Los autores de [1] 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 [3] se propone utilizar sistemas autónomos de sensores inalámbricos para la detección precoz de incendios y fuga 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 [4] y la automatización de fábrica [5-7] 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 [8], 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.

3. INTERNET DE LA COSAS (IoT).

Se denomina así 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 [9]. 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 como se puede ver en la Figura 1.

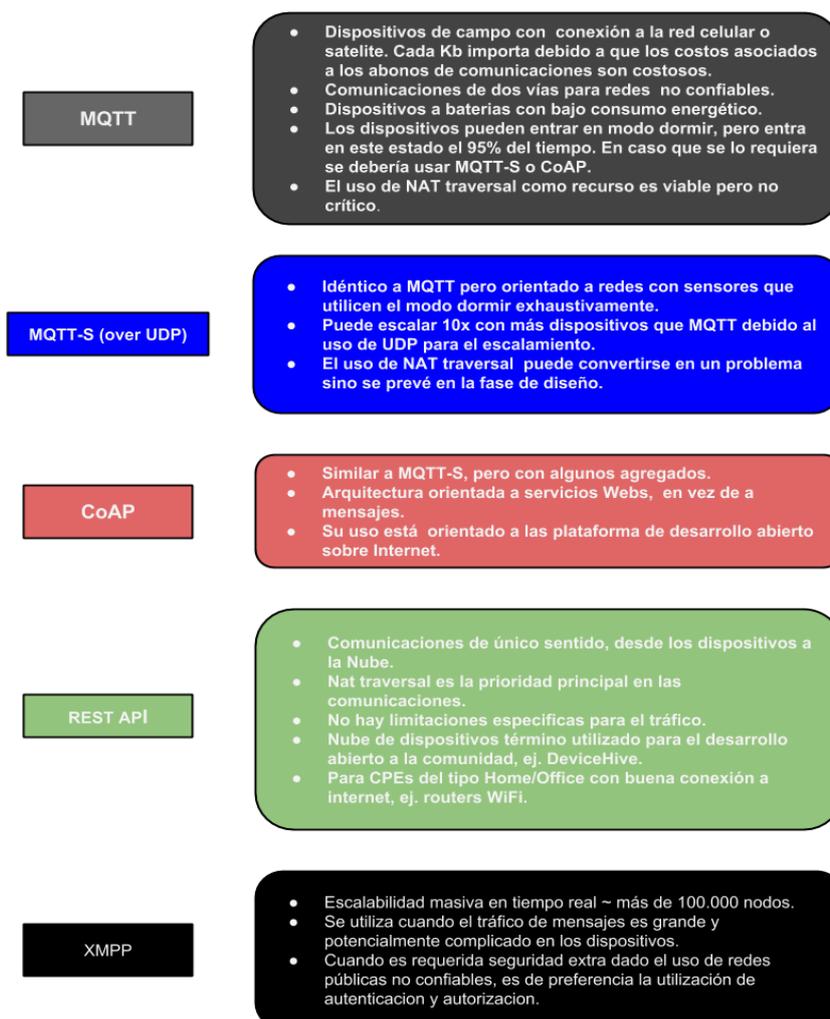


Figura 1 Distintos protocolos para la transmisión de los datos [10]

En la Figura 1, se resumen características relevantes de los protocolos 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 [11].

4. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA.

El problema que intentamos resolver implica la toma de datos ambientales de sensores esparcidos dentro de la superficie de una planta industrial. Se propone esta recolección de datos que conforman las condiciones de higiene y seguridad ambientales de un puesto de trabajo, para dar soporte a la inspección anual de un auditor externo, por lo que no se considera esta recolección como crítica dado que no controlan ningún dispositivo. 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.

Según la definición de ISA100 podemos ubicar nuestro problema como perteneciente a la clase de aplicación de monitoreo de condiciones no críticas. Esto nos lleva a que para solucionar el problema podemos utilizar protocolos y dispositivos que no necesariamente están diseñados para entornos industriales [2]. Por lo tanto se utilizan en este proyecto protocolos y dispositivos generalmente usados para el sensado de datos ambientales.

Desde el punto de vista de la energía tampoco tenemos necesidades especiales dado que por tratarse de una planta industrial generalmente tendremos fácil acceso a fuentes de energía eléctrica. Otra cuestión que debería considerarse es el tema de 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 [12]. 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: a) Proteger la vida, preservar y mantener la integridad psicofísica de los trabajadores; b) Prevenir, reducir, eliminar o aislar los riesgos de los distintos centros o puestos de trabajo; c) Estimular y desarrollar una actitud positiva respecto de la prevención de los accidentes o enfermedades que puedan derivarse de la actividad laboral.

También se destaca del artículo 6 de esta ley, con las reglamentaciones de las condiciones de higiene y seguridad de los ambientes de trabajo; en particular el inciso b) factores físicos, referido a: cubaje, ventilación, temperatura, carga térmica, presión, humedad, iluminación, ruido, vibraciones y radiaciones ionizantes.

Dentro de las reglamentaciones se destacan para el presente trabajo los siguientes anexos:

Anexo I. Título IV: Condiciones de higiene en los ambientes laborales. Capítulo 8: Carga Térmica, artículo 60; Capítulo 12: Iluminación y color, artículos 71 a 84; Capítulo 13: Ruido y vibraciones; Capítulo 18: Protección contra incendio.

Anexo II. Correspondiente al artículo 60. Capítulo 8. Estrés térmico (carga térmica). Se tomó como estándar los valores TGBH (índice temperatura globo y bulbo húmedo) que se calculan en lugares sin exposición directa del sol (para lugares interiores o exteriores sin carga solar) con la siguiente ecuación: $TGBH = 0,7 TBH + 0,3 TG$. En lugares con exposición directa al sol se calcula con la siguiente ecuación: $TGBH = 0.7 TBH + 0.2 TG + 0.1 TBS$. 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 llamado, temperatura del termómetro del bulbo seco). Dado que la medida TGBH es solamente un índice del medio ambiente, los criterios de selección han de ajustarse a las contribuciones de las demandas del trabajo continuo y a la ropa así como al estado de aclimatación.

En la Tabla 1 se dan los criterios para los valores TGBH basados en el estado de aclimatación, del gasto energético debido al trabajo y la proporción aproximada de trabajo dentro de un horario.

Tabla 1 Criterios para los valores TGBH

Exigencias de Trabajo	Aclimatado				Sin Aclimatar			
	Ligero	Moderado	Pesado	Muy Pesado	Ligero	Moderado	Pesado	Muy Pesado
100% Trabajo	29.5	27.5	26.0	---	27.5	25.0	22.5	---
75% Trabajo 25% descanso	30.5	28.5	27.5	---	29.0	26.5	24.5	---
50% Trabajo 50% descanso	31.5	29.5	28.5	27.5	30.0	28.0	26.5	25.0
25% Trabajo 75% descanso	32.5	31.0	30.0	29.5	31.0	29.0	28.0	26.5

Anexo IV. Correspondiente a los art. 71 a 84. Capítulo 12. Iluminación y color. 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 la Tabla 2, de acuerdo con la dificultad de la tarea visual.

Tabla 2 Intensidad mínima de iluminación

Clase de tarea visual	Iluminación sobre el plano de trabajo (lux)	Ejemplos de tareas visuales
Visión ocasional solamente	100	Para permitir movimientos seguros, por ejemplo, en lugares de poco tránsito: Sala de calderas, depósitos de materiales voluminosos y otros.
Tareas intermitentes ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes	100 a 300	Trabajos simples, intermitentes y mecánicos, inspección general y contado de partes de stock, colocación de maquinaria pesada.
Tareas moderadamente críticas y prolongadas con detalles medianos	300 a 750	Trabajos medianos, mecánicos y manuales, inspección y montaje; trabajos comunes de oficina, tales como: lectura, escritura y archivo.
Tareas severas y prolongadas y de poco contraste	750 a 1500	Trabajos finos mecánicos y manuales, montaje e inspección, pintura extrafina, sopleteado, costura de ropa oscura.
Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos o muy poco contraste.	1500 a 3000 3000 (*)	Montaje e inspección de mecanismos delicados, fabricación de herramientas y matrices; inspección con calibrador, trabajo de molienda fina. Trabajo fino de relojería y reparación (*)
Tareas excepcionales, difíciles o importantes	5000 a 10000	Casos especiales, como por ejemplo: iluminación del campo operatorio en una sala de cirugía.

Anexo V. Correspondiente a los art. 85 a 94. Capítulo 13. Acústica. Ruido y vibraciones donde se 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.

5. ABORDAJE: ARQUITECTURA DE RED.

Como ya se mencionó en la introducción utilizaremos dos abordajes para nuestra aplicación: uno usando redes de sensores inalámbricos y otro según el enfoque utilizado en Internet de la cosas (IoT). En ambos casos utilizaremos 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 para la comunicación de máquina a máquina (M2M) y el Internet de las Cosas (IoT), 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. La versión 3 de este protocolo utiliza la opción de publicar/suscribir y da soporte a tres calidades de servicio: "transmitir y olvidar", "al menos una vez" y "exactamente una vez". Con tres calidades de servicio, puede buscar un punto intermedio entre la latencia baja y la fiabilidad. "Transmitir y olvidar" utiliza almacenamiento de dispositivos no persistente y sólo una transmisión para enviar o recibir una publicación. Las opciones de "al menos una vez" y "exactamente una vez" necesitan almacenamiento persistente en el dispositivo para poder mantener el estado del protocolo y guardar un mensaje hasta obtener el acuse de recibo del mismo.

En este proyecto, se utilizan sensores de temperatura y humedad (en una sola unidad), de sonido y de luminosidad.

Para el enfoque de *Redes de Sensores* se utilizan módulos inalámbricos Xbee los cuales están conectados a los Arduino 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*: es el nodo que tiene como única función formar la red. Es el responsable de establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID (identificador de red) para toda la red. Una vez establecidos estos parámetros, el Coordinador puede formar una red, permitiendo unirse a él a dispositivos Routers y End Points. Una vez formada la red, el Coordinador hace las funciones de Router, esto es, participar en el enrutamiento de paquetes y ser origen y/o destinatario de información.
- *Router*: es un nodo que crea y mantiene información sobre la red para determinar la mejor ruta para enrutar un paquete de información. Lógicamente un router debe unirse a una red Zigbee antes de poder actuar como Router retransmitiendo paquetes de otros routers o de End points.
- *End Device*: los dispositivos finales no tienen capacidad de enrutar paquetes. Deben interactuar siempre a través de su nodo padre, ya sea este un Coordinador o un Router, es decir, no puede enviar información directamente a otro end device. Normalmente estos equipos van alimentados a baterías. El consumo es menor al no tener que realizar funciones de enrutamiento.

La arquitectura de esta red es sencilla y puede observarse en la Figura 2.

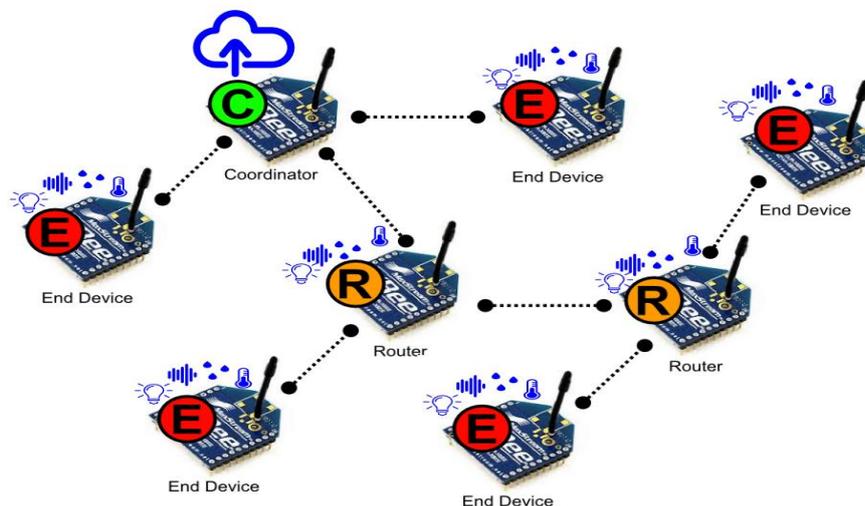


Figura 2 Arquitectura Red de sensores.

En la Tabla 3 se muestra un cálculo estimativo del costo de este tipo de solución.

Tabla 3 Costo estimativo Redes de Sensores

SOLUCIÓN I (Nodo basado en ARDUINO XBEE)	
DESCRIPCIÓN	Precio Aprox. en Dólares
Arduino UNO Rev 3	54
Xbee Shield	38
transmisor Xbee	60
Sensor de Temperatura y Humedad DHT22	24
Sensor de Luminosidad TSL2561	18
Sensor de sonido analógico DFR0034	17
TOTAL POR NODO	211

Desde el punto de vista de *Internet de las Cosas* 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 abordaje anterior 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 3.

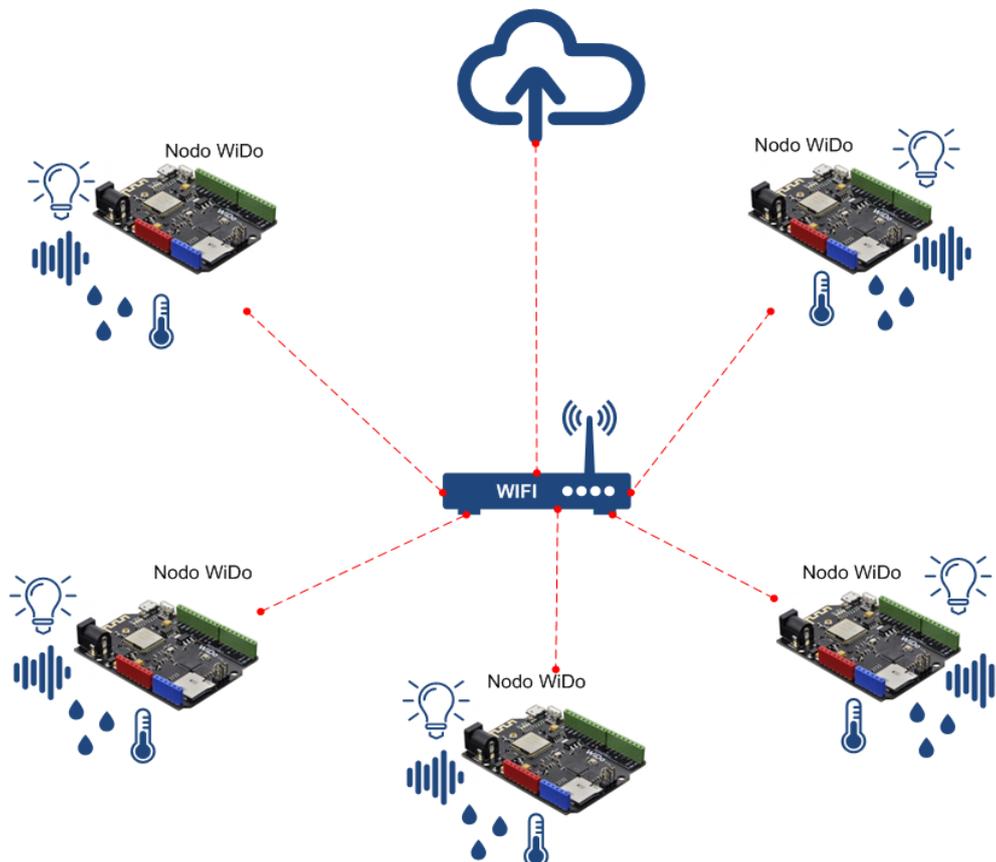


Figura 3 Arquitectura Red IOT.

En la Tabla 4 se muestra un cálculo estimativo del costo de este tipo de solución.

Tabla 4 Costo estimativo Internet de las Cosas

SOLUCIÓN II (Nodo basado en WiDo)	
DESCRIPCIÓN	Precio Aprox. en Dólares
WiDo DFR0321	72
Sensor de Temperatura y Humedad DHT22	24
Sensor de Luminosidad TSL2561	18
Sensor de sonido analógico DFR0034	17
TOTAL POR NODO	131

5.1. Descripción del hardware.

Se trabaja con el siguiente hardware. Se utiliza una plataforma Arduino que es una plataforma open-hardware basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales.

5.1.1 Especificaciones de la Placa Arduino Wido.

Esta es una placa de desarrollo Arduino compatible con solución WiFi integrada, utilizando chip WG1300 que soporta una red de 2.4 GHz IEEE 802.11 b/g. con antena 2.4G PCB. Tiene un microprocesador ATMEL ATmega32U4 con tensión operativa 5V, tensión de alimentación recomendada entre 7-12V. Es compatible con Arduino Leonardo. La MicroSD y WiFi son alimentados por el puerto SPI. El módulo de WiFi es compatible con: Módulo-D7(IRQ), D5 (VBAT), D10 (CS), D14 (MISO), D15 (SCK) y D16 (MOSI). Tipo de MicroSD compatibles: MicroSD-D4 (CS), D14 (MISO), D15 (SCK) y D16 (MOSI). Dimensiones: 72 mm x 55 mm.

5.1.2 Especificaciones de la Placa Arduino Uno R3.

Esta placa consta de un Microcontrolador ATmega328 con Tensión operativa 5V, Tensión de alimentación recomendada entre 7-12V, Tensión de alimentación límites entre 6-20V, con 14 Entradas/Salidas Digitales (6 de estas se pueden utilizar como salidas PWM), 6 Entradas Analógicas, cuya Máxima corriente continua para las entradas/salidas es 40 mA y la Máxima corriente continua para los pins 3.3V es 50 mA. Dispone de una Flash Memory de 32 KB de los cuales el bootloader usa 0.5 KB y dispone una SRAM de 2 KB y una EEPROM de 1 KB.

5.1.3 Especificaciones del módulo Xbee.

Las especificaciones de este módulo son tensión operativa 3.3V, 295mA, tasa máxima de transmisión de datos 250kbps, salida 63mW (+17dBm), rango de alcance 1 milla (1600m), antena incorporada, certificado Fully FCC, 6 pines de entrada de 10-bit ADC, 8 pines de entrada/salida digitales, encriptación 128-bit, Configuración local o over-air, set de comandos AT o API.

5.1.4 Especificaciones del sensor de humedad y temperatura (HT22).

El sensor de humedad es de tipo capacitivo, mientras que la medición de temperatura se efectúa mediante un termistor. La tensión de operación es de 3 a 5 VDC 2.5mA máx, el rango de medición humedad es 20-80% \pm 5% de exactitud, el rango de medición de temperatura es de 0-50°C \pm 2% de exactitud. La máxima velocidad de muestreo es de 1Hz. Tamaño: 15.5x12x5.5 mm, 4 pines con paso 0.1". Pines: VCC (3 a 5V), salida de datos, no conectado, puesta a tierra.

5.1.5 Especificaciones del sensor de luz.

El TSL2561 es un sensor de luz digital avanzado, ideal para usar en un amplio rango de aplicaciones. Permite realizar cálculos de lux exactos, incorporando dos sensores: infrarrojo y de luz visible, de manera de realizar mediciones de ambos espectros por separado o en conjunto. El consumo de corriente es muy bajo, lo que permite el uso en sistemas de registro alimentados por baterías. El sensor de luz visible aproxima la respuesta del ojo humano. Tiene medición exacta de iluminancia en diversas condiciones de iluminación. El rango dinámico es de 0.1 a 40000 lux, el rango de temperaturas de operación es de -30 a +80 °C y el rango de tensiones de alimentación es de 2.7 a 3.6 VDC. Interface I2C.

5.1.6 Especificaciones del sensor de ruido (DFR0034).

Este sensor se utiliza típicamente en la detección de la intensidad de sonido en ambiente. Arduino puede recoger su señal de salida para su lectura. Puede usarse para hacer un interruptor accionado por voz. La Tensión de alimentación es de 3.3V a 5V. Utiliza detección de la intensidad del sonido Swift. La interfaz es analógica. El tamaño es de 22x32mm.

5.2. Comparación de costos.

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 5 muestra el costo para esta cantidad de nodos.

Tabla 5 Comparativa de Costos

	Sensores (10 de cada uno)	Nodos (10)	Nodos intermedios	Nodo Central	Costo Total (en U\$S)
Red de Sensores	Temp+Hum, Ruido, Luminosidad	Xbee+Arduino	Xbee	Xbee+Arduino yun	
	(24+18+17)x10	(54+38+60)x10	54 x 2	54+160	2432
IoT	Temp+Hum, Ruido, Luminosidad	WiDo		AP Wifi	
	(24+18+17)x10	75x10		220	1600

Como se observa en la Tabla 5, el costo para implementar una red IoT para 10 nodos, resulta un 65% del costo de implementar una red de sensores para la misma cantidad de nodos.

6. CONCLUSIONES.

En este trabajo se muestra que es posible implementar un sistema de sensado y monitoreo permanente de condiciones ambientales en entornos industriales, lo cual redundará en beneficio de las condiciones laborales de los operarios. De todas maneras dado que la ley no exige este tipo de monitoreo su implementación depende de la voluntad de la empresa.

Además, aquí se mostraron dos tipos de abordaje para el problema y como se puede observar en la Tabla 5 el costo de la solución utilizando el abordaje de IoT es menor que si se usa el enfoque de redes de sensores. Esto puede cambiar dado el avance que se registra a diario en ambas tecnologías utilizadas.

7. REFERENCIAS.

- [1] 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.
- [2] Güngör, V. Çağrı; Hancke, Gerhard P. (2013). *Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols, and Standards*. CRC Press (April 4, 2013).
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.

- [6] 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.
- [7] Wright, P.; Dornfeld, D. and Ota, N. (2008). "Condition monitoring in end-milling using wireless sensor networks". *Transactions of NAMRI/SME*, 36, 2008.
- [8] 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.
- [9] Conner, Margery, (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 3 de agosto de 2015.
- [10] Figura extraída de <http://about.sofia2.com/2014/05/29/protocolos-iot-mqtt-rest-coap-xmpp-y-sofia2/>. Consultado 26 de Julio 2015.
- [11] Howard, Philip 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 2015.
- [12] Parada, Ricardo A. (comp.) y Errecaborde José 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.