

Recolección y análisis de datos obtenidos de una red de sensores para el monitoreo de condiciones de Higiene y Seguridad del ambiente en entornos industriales

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

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

RESUMEN.

En este trabajo 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. 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 sus menores costos. Para este segundo abordaje se utilizaron, en primer lugar, módulos Wido, que permiten la comunicación de datos directamente al servidor de almacenaje. En segundo lugar, se utilizaron nuevos dispositivos denominados NodeMCU con características similares a los Wido pero con costos significativamente más bajos, sobre los cuales se está orientando la investigación. 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) interactúa 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. Para el manejo de los datos se están analizando tecnologías de bases de datos SQL y NoSQL con el objeto de definir la más apropiada. El trabajo comprende el diseño de la red y las pruebas realizadas para evaluar el funcionamiento con los nuevos dispositivos NodeMCU, respecto a los enfoques anteriores.

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

ABSTRACT.

In this paper 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. The first approach was 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 was performed using an Arduino platform attached to the Xbee modules. In a second instance, the further progress of the Internet of Things (IoT) led us to use this approach, due to the lower costs. For this second approach, we used first modules Wido, which allows data communication directly to the storage server. Then we used NodeMCU devices with similar characteristics to Wido but with significantly lower costs. For handling data, it is used in all cases the MQTT protocol to send data from sensing devices to a server of the same type. The MQTT (Mosquitto) server interacts with a middleware platform (Kaa) that interfaces between collected data by the sensors and any external system that allows distribution, storage, processing and display of data. To manage data efficiently we are analyzing SQL and NoSQL database technologies in order to define the most appropriate. The work includes the design of the

network and tests to evaluate the performance with new NodeMCU devices, compared to previous approaches.

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 inalámbricas 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 [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 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. 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 Nº 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, sobre los cuales se está orientando la investigación. 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. Para esto se están analizando tecnologías de bases de datos SQL y NoSQL con el fin de definir la más apropiada. En esta primera etapa, se utiliza el sistema de gestión de bases de datos relacionales MySQL.

El trabajo comprende el diseño de la red y las pruebas realizadas para evaluar el funcionamiento con los nuevos 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 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], [6], [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.

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 [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. 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 [10].

Con respecto a las **Bases de Datos** [11] muchas áreas de la industria requieren de la captura y procesamiento de volúmenes considerables de datos recopilados en forma manual o automática. En nuestro caso, el objetivo es un sistema no crítico de control y supervisión de variables ambientales, por lo que interesa contar con un almacenamiento persistente de los datos para su posterior análisis y apoyo a la toma de decisiones. Esto se realiza con tecnologías de bases de datos, las cuales pueden interactuar con herramientas SCADA, tales como INTOUCH y LABVIEW, y con sistemas de gestión de la producción y gestión empresarial.

Las bases de datos tradicionales son de tipo relacional. Su nombre proviene de la posibilidad de relacionar varias tablas de datos entre sí, compartiendo información y evitando la redundancia de datos. Existen numerosos gestores de bases de datos relacionales tales como Microsoft SQL Server, Paradox, Oracle, Sybase, MySQL, entre otros. Se consultan usando el estándar SQL (Structured Query Language). Cumplen las propiedades llamadas ACID: Atomicidad, Consistencia, aislamiento (del inglés Isolation) y Durabilidad. Implementan otras características tales como control de transacciones, eficiencia, concurrencia, seguridad y almacenamiento persistente de datos. Sin embargo, tienen ciertas características, por ejemplo una alta complejidad y un excesivo

consumo de recursos, que pueden introducir limitaciones en dominios en los que se podría prescindir de algunas de las garantías que éstas ofrecen, para ganar simpleza y eficiencia.

La necesidad de alejarse del modelo relacional surge principalmente con los enormes volúmenes de datos en la web, para los cuales se necesita un sistema que incluya requerimientos tales como: disponibilidad total, tolerancia a fallos, almacenamiento de penta bytes de información distribuida en miles de servidores, buen desempeño sin límite de nodos con escalabilidad horizontal, manejo de grandes cantidades de datos estructurados y no estructurados, nuevos métodos de consulta, libertad para manejar nuevos esquemas y datos con control total sobre ellos. Es en este contexto en donde se desarrollan bases de datos no convencionales denominadas NoSQL. Estos tipos de sistemas de manejo de datos no requieren esquemas fijos, son fáciles y rápidos en la instalación, usan lenguajes no declarativos, ofrecen alto rendimiento y disponibilidad, evitan operaciones de asociación entre datos, soportan paralelismo y escalan en forma horizontal soportando estructuras distribuidas que no necesariamente tienen las propiedades ACID de los sistemas relacionales tradicionales.

Existen diferentes tipos de sistemas de administración de bases de datos NoSQL, y se pueden agrupar en: Bases de datos clave-valor, Bases de datos de documentos y Bases de datos de grafos. Las bases de datos clave-valor funcionan de modo similar a una tabla con dos elementos. Cada elemento está identificado por una clave única y por un valor asociada a ésta. Presentan un alto rendimiento a escrituras y lecturas y proveen tolerancia a fallos y escalabilidad. Algunos ejemplos de estas bases de datos son: BigTable de Google, Amazon Dynamo, Cassandra y HBase. El modelo de datos de las bases de datos de documentos está compuesto de pares (clave, documento). Es similar al almacenamiento clave-valor pero requiere que los datos del objeto documento se encuentren en un formato semi estructurado. Algunos ejemplos de estas bases son: CouchDB, MongoDB, SimpleDB y ArangoDB. En las bases de datos de grafos la información se representa como nodos y las relaciones vienen dadas por las aristas del grafo. Algunos ejemplos de bases de datos de grafos son: Neo4j, FlockDB, Pregel, Infinite Graph y OrientDB. Las bases de datos NoSQL muestran que una base de datos relacional no es la única opción cuando se debe persistir información. Mientras que una base de datos relacional está optimizada para datos altamente estructurados, las bases de datos orientadas a grafos por ejemplo están optimizadas para datos altamente conectados y heterogéneos; y el modelo clave-valor es eficiente en la búsqueda de grandes cantidades de valores simples o compuestos.

3. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA.

La recolección de datos de condiciones de higiene y seguridad 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 [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: 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 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 (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: $TGBH = 0.7 TBH + 0.2 TG + 0.1 TBS$. Donde 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 de los valores críticos han de ajustarse a las contribuciones de las demandas del trabajo continuo y a la ropa así como al estado de aclimatación.

Con respecto a Iluminación y color en el Anexo IV de dicha ley correspondiente a los art. 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, 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 art. 85 a 94, 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 utilizaremos dos abordajes para nuestra aplicación: uno usando redes de sensores inalámbricos y otro según el enfoque utilizado en Internet de las cosas (IoT). En este segundo abordaje mostraremos dos soluciones posibles con distintos dispositivos. En ambos casos utilizaremos plataformas Arduino o compatibles que manejan la recolección de los datos provenientes de sensores que se anexas 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), de sonido y 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 [13].

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.

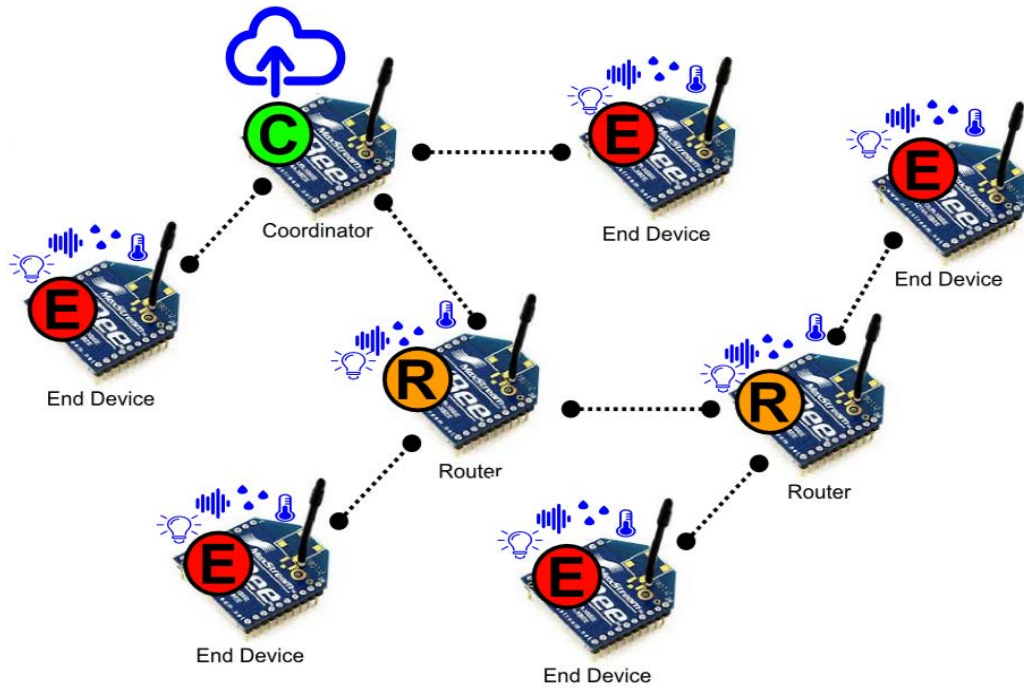


Figura 1 Arquitectura Red de sensores.

Un cálculo estimativo del costo para cada nodo de este tipo de solución es: Arduino UNO Rev 3 de 41 dólares, Xbee Shield 30 dólares y transmisor Xbee 53 dólares. Y para los sensores: Sensor de Temperatura y Humedad DHT22 es de 23 dólares, Sensor de Luminosidad TSL2561 es de 19 dólares y el Sensor de sonido analógico DFR0034 es de 17 dólares. Lo que implica un total por nodo de 183 dólares.

Desde el punto de vista de *Internet de las Cosas* (IoT) se proponen dos soluciones. En una primera solución 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.

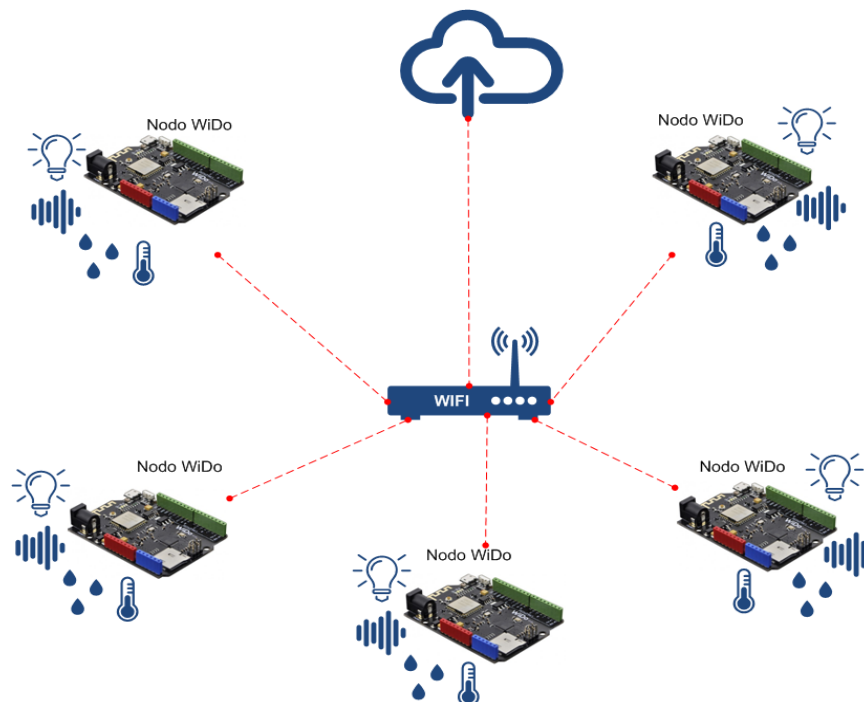


Figura 2 Arquitectura Red IoT.

Un cálculo estimativo del costo para cada nodo de este tipo de solución es: WiDo DFR0321 de 71 dólares y para los sensores: Sensor de Temperatura y Humedad DHT22 es de 23 dólares, Sensor de Luminosidad TSL2561 es de 19 dólares y el Sensor de sonido analógico DFR0034 es de 17 dólares. Lo que implica un total por nodo de 130 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 anterior y que se muestra 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 25 dólares y para los sensores: Sensor de Temperatura y Humedad DHT22 es de 23 dólares, Sensor de Luminosidad TSL2561 es de 19 dólares y el Sensor de sonido analógico DFR0034 es de 17 dólares. Lo que implica un total por nodo de 84 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.

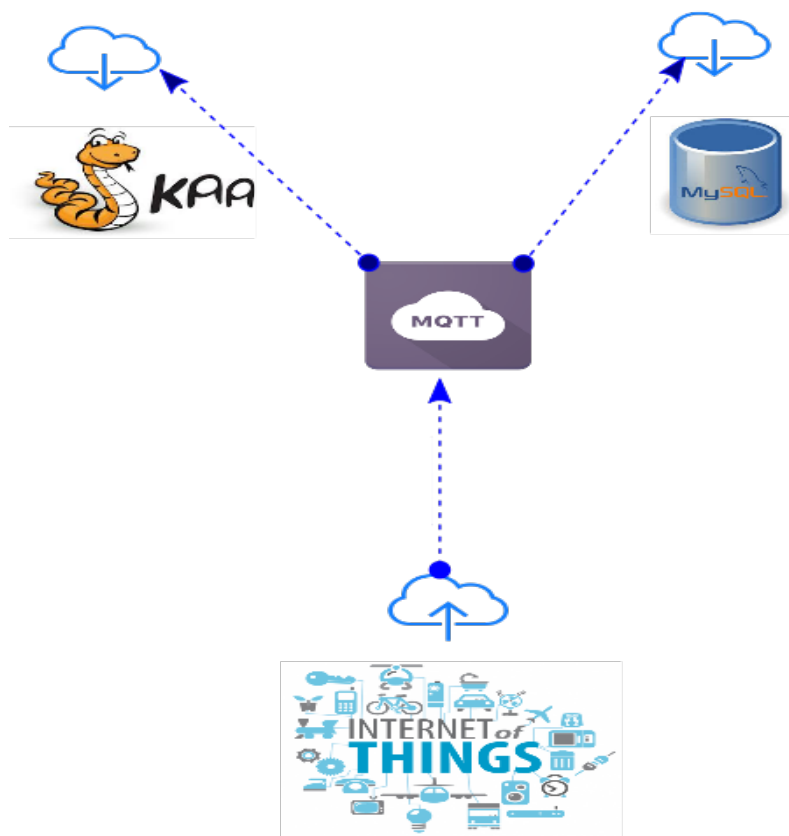


Figura 3 Esquema de publicación / suscripción de información.

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.

Como se observa en la Tabla 1, el costo para implementar una red IoT con nodeMCU para 10 nodos resulta un 50% del costo de implementar una red de sensores para la misma cantidad de nodos.

Tabla 1 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+shield	Xbee	Xbee+Arduino YUN	
	(23+17+19)x10	(53+41+30)x10	53 x 2	53+183	2172
IoT(1)	Temp+Hum, Ruido, Luminosidad	WiDo		AP Wifi	
	(23+17+19)x10	71x10		220	1520
IoT(2)	Temp+Hum, Ruido, Luminosidad	NodeMCU		AP Wifi	
	(23+17+19)x10	25x10		220	1060

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. Teniendo en cuenta esto es dable pensar que en un futuro no muy lejano podríamos tener, a bajo costo, la posibilidad de monitoreo permanente de estos parámetros, 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.

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 loE (Internet of Everything).

6. 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. ÇAĞRI; 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 agosto de 2016.
- [10] 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 2016.
- [11] Bender C., Deco C., González J. S, Hallo M., Ponce J. (2014). *Tópicos avanzados de bases de datos*. 1a ed. - Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto Abiertos (LATIn). Disponible en www.proyectolatin.org/books.
- [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.
- [13] Rodríguez E., Deco C., Burzacca L., Pettinari M., Bender, C., Costa, S. "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. Noviembre 2015.