

Aplicación de una red de sensores inalámbricos en un ambiente de trabajo industrial

Wireless sensor network application in an industrial work environment

MUÑOZ, Catalina¹

MORALES, Gustavo A ²

MIRAMÁ, Víctor F.³

Resumen

El presente artículo expone el diseño, pruebas e implementación de un sistema de monitoreo de las condiciones ambientales físicas de trabajo en una empresa industrial, mediante la adquisición de datos de humedad, iluminación y temperatura empleando una red de sensores inalámbricos con el objetivo de tener información disponible, permanente y fácilmente accesible, a través de una plataforma web que permita establecer medidas de control y prevención en el ambiente laboral, recolectando la información por un periodo de 34 horas.

Palabras clave: WSN, variables ambientales físicas, intensidad de señal recibida, paquetes recibidos

Abstract

This paper presents the design, tests and implementation of a monitoring system of the physical environmental working conditions of an industrial company. This was done through data acquisition related to humidity, lighting and temperature using a wireless sensor network in order to have available, permanent and easily accessible information through a web platform. This information will allow to establish control and prevention actions in the working environment, collecting the information for a period of 34 hours.

key words: WSN, environmental physical variables, Signal Strength Indicator, Received packets

1. Introducción

El artículo 4 de la Ley 1562 de 2012 de la República de Colombia define como enfermedad laboral aquella que es contraída como resultado de la exposición a factores de riesgo inherentes a la actividad laboral o del medio en el que el trabajador se ha visto obligado a trabajar, y que en entornos industriales hay presencia de condiciones ambientales físicas tales como ruido, iluminación, vibración, radiación, presión anormal y temperatura, y que cuando estas entran en contacto con los trabajadores pueden tener efectos nocivos sobre su salud, dependiendo de la concentración (Ministerio de la Protección Social, 2011) y exposición de estas, especialmente en las áreas de producción donde la maquinaria, equipos, el estado de las locaciones, el manejo de los materiales, la ropa de los trabajadores, y los elementos de protección que estos utilizan, facilitan que los peligros físicos se presenten en mayor concentración; razón por la cual las empresas industriales requieren un sistema que permita realizar

¹ Docente. Departamento de Telecomunicaciones. Universidad del Cauca. catalinamunoz@unicauca.edu.co

² Docente. Secretaria Educación Municipal de Popayán. I.E Noroccidente. gustavo@unicauca.edu.co

³ Docente. Departamento de Telecomunicaciones. Universidad del Cauca. vmirama@unicauca.edu.co

un monitoreo continuo de las variables ambientales físicas en el ambiente laboral, para realizar un mejor control y adoptar medidas que puedan prevenir las enfermedades en los trabajadores.

El Ministerio de Trabajo de Colombia, en el año 2015 a través del decreto 1072 estableció que las empresas deben implementar un sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo, dicho sistema debe contener los resultados de las mediciones ambientales, por lo tanto las empresas tienen la necesidad de contar con instrumentos que permitan realizar dichas mediciones, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) establece que los instrumentos de lectura directa son extremadamente útiles para fines de control, especialmente los que permiten realizar un muestreo continuo que detectan situaciones de exposición que suceden durante la ejecución de los trabajos y que deben ser controladas (Organización Internacional del Trabajo, 1998).

Una red con captura constante de información, que permita registrar y almacenar las diferentes variables ambientales físicas del entorno laboral, permitiría que las empresas tengan la información disponible de manera permanente y fácilmente accesible, es entonces cuando una red de sensores inalámbricos (WSN, Wireless Sensor Network) dada sus características podría cumplir con lo requerido.

Una WSN consiste en dispositivos de bajo costo y consumo llamados nodos, que utilizan sensores para monitorear diversas condiciones en distintos puntos, los cuales obtienen información del entorno como: la temperatura, el sonido, la vibración, la presión, entre otros, y procesan la información localmente y la comunican mediante un enlace inalámbrico hasta un nodo central de coordinación, el cual puede estar conectado a un equipo de almacenamiento conectado a internet, el cual permite tener la información disponible y fácilmente accesible a través de la web (Sohraby, Minoli, & Znati, 2007) y (Fernández Martínez, y otros, 2009). Esta WSN se han utilizado en la industria para medición de "pH" y temperatura en un proceso de curtiembre (González, Leone, Murdoch, Mazzara, & Oreggioni, 2010), en laboratorio de instrumentación industrial para monitoreo de las condiciones ambientales físicas (Álvarez Erazo, 2015), en producción industrial de alimentos para el control de la afectación y contaminación de alimentos debido a la exposición a efectos ambientales (Maigler, Valverde Alcalá, Portilla Berruoco, & Riesgo Alcaide, 2013).

Dada la importancia que tiene en la actualidad el acceso constante y permanente a la información, y la facilidad de acceder a esta desde cualquier dispositivo, es importante que la información suministrada por la WSN se almacene vía web, lo cual facilita el acceso, disponibilidad y el análisis de la información; de esta manera las empresas disponen de la información de los sensores a través de cualquier dispositivo, permitiendo así monitorear el ambiente de trabajo en cualquier momento, y así generar medidas para la protección de la seguridad y salud de los trabajadores. En Argentina (Rodríguez, y otros, 2015) plantean una arquitectura de red para una WSN en un entorno industrial y las características de los componentes, además de una presentación de la regulación en materia de exposición a los factores de riesgo ambiental en el trabajo de acuerdo con la regulación del país. En Colombia la aplicación de las WSN en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo es escasa, los trabajos en relación a WSN para el monitoreo de variables ambientales se han realizado enfocadas al acople de sensores usando tecnología ZigBee (Vera Romero, Barbosa Jaimes, & Pabón González, 2014), monitoreo de alertas tempranas de atmósferas explosivas en minas subterráneas (Romero Acero, Marín Cano, & Jiménez Builes, 2013), en relación con agricultura (Suárez, 2013) y (Castro, Chamorro, & Viteri, 2016) y medición climática (Caicedo Ortiz & Acosta, 2015), entre otros. Razón por la cual este trabajo hace un aporte importante para el avance en materia de desarrollo tecnológico hacia el mejoramiento del bienestar de los trabajadores.

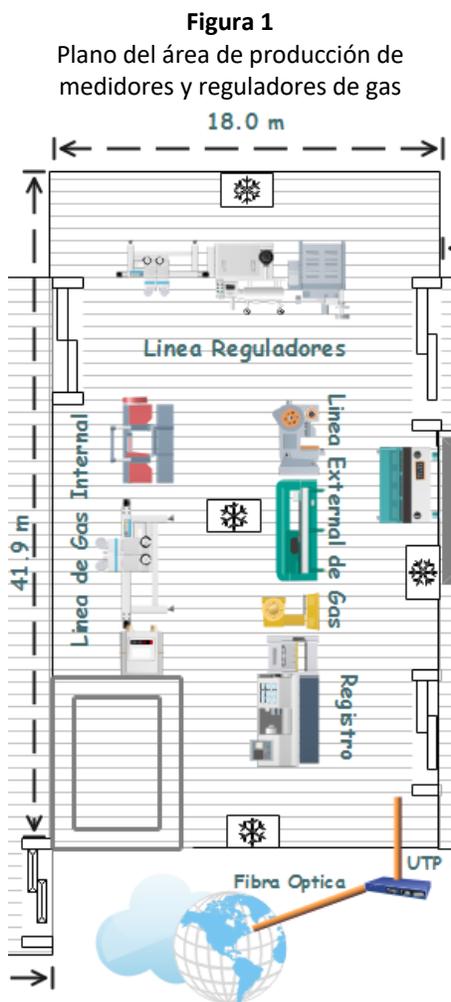
2. Metodología

El sistema de monitoreo se realizó basado en la metodología CDIO (Ortega Ortiz, 2014) y la metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos (Pérez, Urdaneta, & Custodio, 2014), se inició por la caracterización del problema, posteriormente se realizó el diseño para el cual se identificaron los requerimientos del sistema de monitoreo y de las variables a detectar, después se realizaron pruebas de validación y de conexión, finalmente se implementó para la obtención y análisis de resultados.

2.1. Caracterización del problema

La empresa que requería el sistema de monitoreo de variables física ambientales es de tipo industrial y se especializa en la fabricación y comercialización de equipos de medición de flujo de alta precisión. Cuenta con áreas administrativas, de producción y bodega, en estas áreas los trabajadores desarrollan diversas labores, sin embargo, teniendo en cuenta que la empresa es de tipo industrial, el área donde se realiza el trabajo central de la empresa es en producción de medidores y reguladores de gas, la cual no contaba con medición continua de las condiciones ambientales de trabajo, sin embargo, se procura controlar la temperatura y la humedad del área de forma manual en el transcurso del día, pero en función de la fabricación de los medidores, no en cuanto al ambiente laboral para el trabajador.

En el área de producción de medidores y reguladores de gas, figura 1, se encuentran 30 trabajadores diarios en turnos de 8 horas, es donde se presenta la mayor afluencia de personal de la empresa, las 24 horas del día, tanto de operarios, personal de ingeniería y administrativos, cuenta con la línea de ensamblaje de reguladores, donde se prueban y registran los medidores para gas, y dos líneas de producción de medidores para gas, una línea interna, donde se da el ensamble inicial, aquí se reciben las partes que llegan desde la bodega para el ensamblado del medidor; y una línea externa, donde el producto ya está en un 90% terminado, aquí hacen pruebas al medidor y ajustes según los resultados obtenidos; esta zona es un espacio de 754.2 m². (18 m x 41.9 m), con una altura de 7 m, y cuenta con mesas de trabajo, robots, bancos de prueba, bancos de calibración, registro y empaque.



Fuente: por los autores

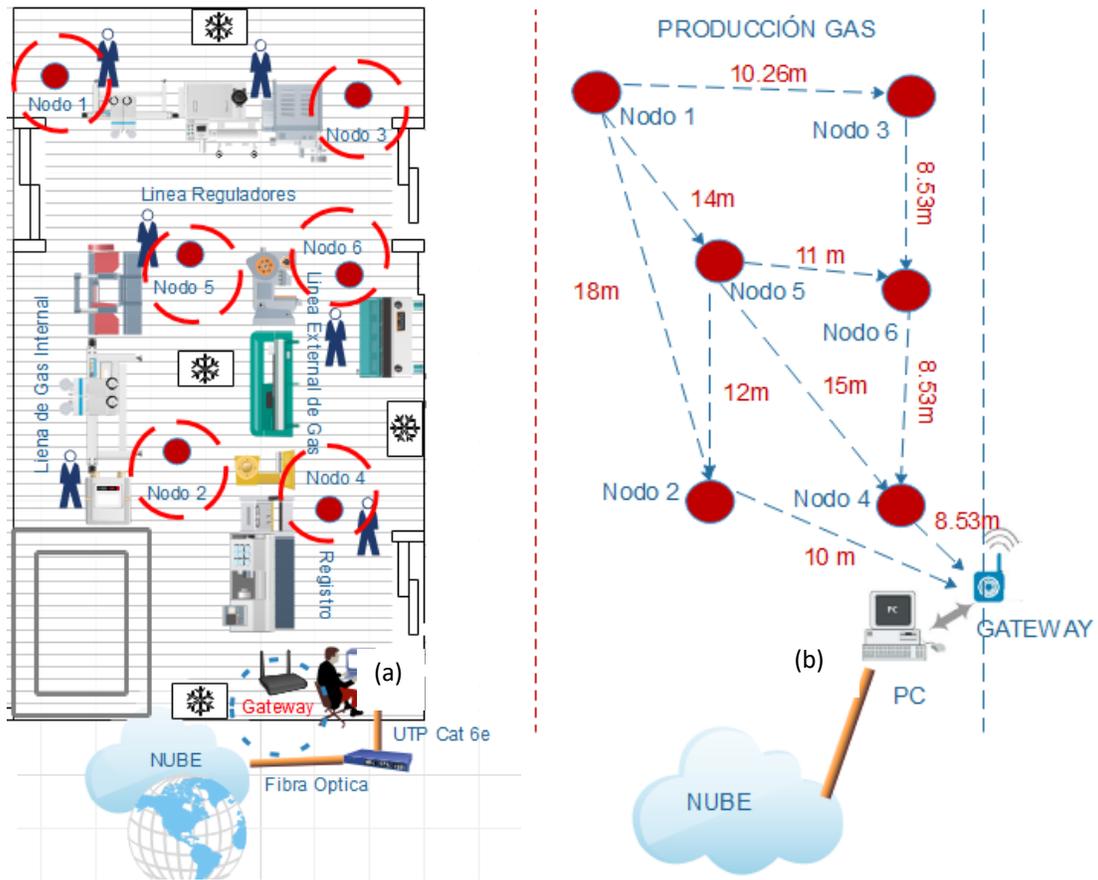
2.2. Diseño del sistema de monitoreo

Teniendo en cuenta que el trabajo se enfoca en la evaluación de condiciones físicas presentes en el ambiente laboral de la empresa, se recurre a una identificación de peligros y evaluación de riesgos también llamada matriz de peligros con la que cuenta la empresa, y que ha sido elaborada por su coordinador de seguridad y salud en el trabajo. Esta matriz se elaboró con una metodología de identificación de peligros, que permite determinar cuáles son los niveles de riesgo de los peligros presentes en los procesos de la empresa y los efectos para la seguridad y salud de los trabajadores, de igual manera permite valorar los riesgos y establecer medidas de intervención. Según la priorización dentro de los peligros más representativos identificados están: los peligros biológicos, biomecánicos, físicos, locativos, psicosociales, públicos, químicos y tecnológicos, entre otros, siendo de particular interés para este trabajo los peligros físicos en el área de producción de medidores y reguladores para gas. De acuerdo con los peligros establecidos, se identificó que las variables físicas susceptibles a ser monitoreadas son la temperatura, la humedad y la iluminación, ya que estas obtuvieron una valoración de aceptabilidad del riesgo: aceptable con control específico (II) y mejorable (III), lo que significa que requieren monitoreo y control, dada su importancia teniendo en cuenta que la iluminación es un aspecto fundamental en el desarrollo de las labores diarias de los trabajadores, aspectos como la fatiga visual debido a una iluminación deficiente causa una reducción en el rendimiento del trabajo, y puede producir errores e incluso podría llegar a ocasionar accidentes, así como producir enfermedades visuales debido a una exposición prolongada a una iluminación inadecuada, y la exposición a un ambiente con condiciones climáticas no aptas para el trabajador genera enfermedades respiratorias recurrentes, baja concentración, problemas pulmonares, deshidratación, entre otros, así como afecta el rendimiento en el trabajo causando cansancio mental, lo cual podría generar accidentes.

Para el diseño del sistema de monitoreo, se ubicaron los sensores, la Gateway y la conexión con la nube, de acuerdo a las variables identificadas y la caracterización del problema, como se observa en la figura 2(a). La selección de las ubicaciones de los nodos se realizó de acuerdo con la importancia de medir los cambios de temperatura y humedad en lugares donde existen puertas de conexión con otras áreas de la empresa y se encuentra personal realizando ensamble y etiquetado de los reguladores, también se ubicaron nodos donde se encuentran los bancos de calibración de los medidores. Se definieron las distancias entre nodos, figura 2(b), y teniendo en cuenta lo descrito anteriormente respecto a la ubicación, se establecieron las distancias respecto a las paredes y la altura sobre el nivel del piso a la cual se ubicarán los sensores, esta información se presenta en la tabla 1.

Figura 2

Diseño del sistema de monitoreo:
 (a) Ubicación de nodos, (b) Distancia entre nodos



Fuente: por los autores

Tabla 1

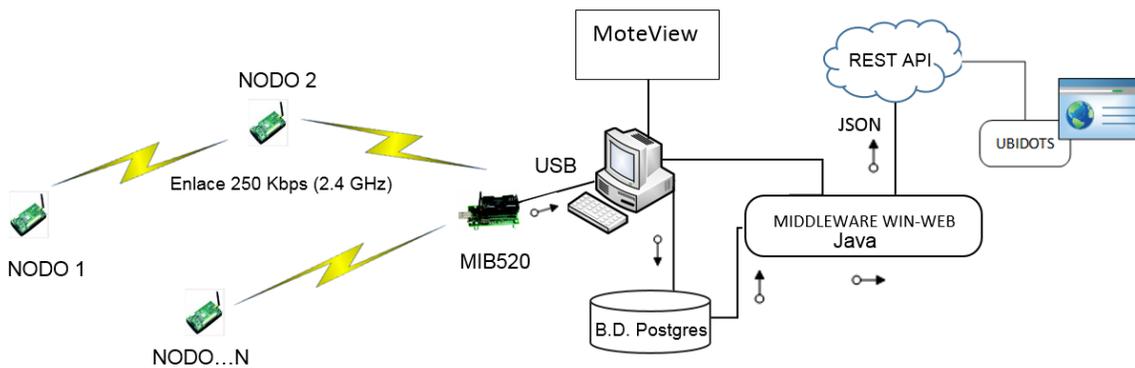
Ubicación de nodos respecto a paredes y piso

Nodo	Ubicación	Altura
Gateway	A 3 m de la pared frontal, sobre el lado derecho.	1.5 m
Nodo 1	A 35.57 m. de la pared frontal, a 4.85 m de la pared izquierda	0.7 m
Nodo 2	A 10.06 m. de la pared frontal, a 6.75 m de la pared izquierda	1.2 m
Nodo 3	A 35.57 m. de la pared frontal, a 3.75 m de la pared izquierda	0.5 m
Nodo 4	A 10.07 m. de la pared frontal, a 3.75 m de la pared derecha	1.2 m
Nodo 5	A 23.57 m. de la pared frontal, a 8.9 m de la pared izquierda	0.8 m
Nodo 6	A 18.57 m. de la pared frontal, a 3.75 m de la pared izquierda	1.7 m

Fuente: por los autores

Los equipos requeridos para el sistema de monitoreo diseñado fueron un computador con acceso a internet, los nodos sensores y la Gateway marca MEMSIC, el software web Ubidots para visualización de la información, base de datos y un middleware realizada en java y con motor de base de datos Postgres para la interconexión de la base de datos con el software web. En la figura 3 se presenta el esquema de interconexión de todos los equipos.

Figura 3
Interconexión grafica los equipos del sistema de monitoreo interconectado



Fuente: por los autores

3. Resultados

3.1. Resultado de pruebas de validación de la información y conexión

Previo a la implementación de la red WSN se realizaron una serie de validaciones en cuanto a recolección de la información.

Los datos de temperatura obtenidos por los sensores se verificaron realizando una prueba de encendido de nodo en las instalaciones de la empresa, donde tienen medidores de temperatura calibrados, que permitieron comparar la información obtenida de los nodos, en la tabla 2 se presenta la información del nodo 1. Los equipos MEMSIC se auto calibran, mostrando mensajes de *calibration info update* en el software *MoteView*. En los primeros datos de la tabla 2, las temperaturas obtenidas para el nodo presentaron diferencias de aproximadamente 2°C, pero conforme el nodo se auto calibra las diferencias entre los datos obtenidos por este y los tomados del medidor de la empresa, son cada vez menos significativas; de forma similar se realizó la validación para humedad e iluminación obteniendo resultados donde las diferencias no fueron mayores al 10%. Se realizó el mismo procedimiento para los demás nodos obteniendo resultados similares.

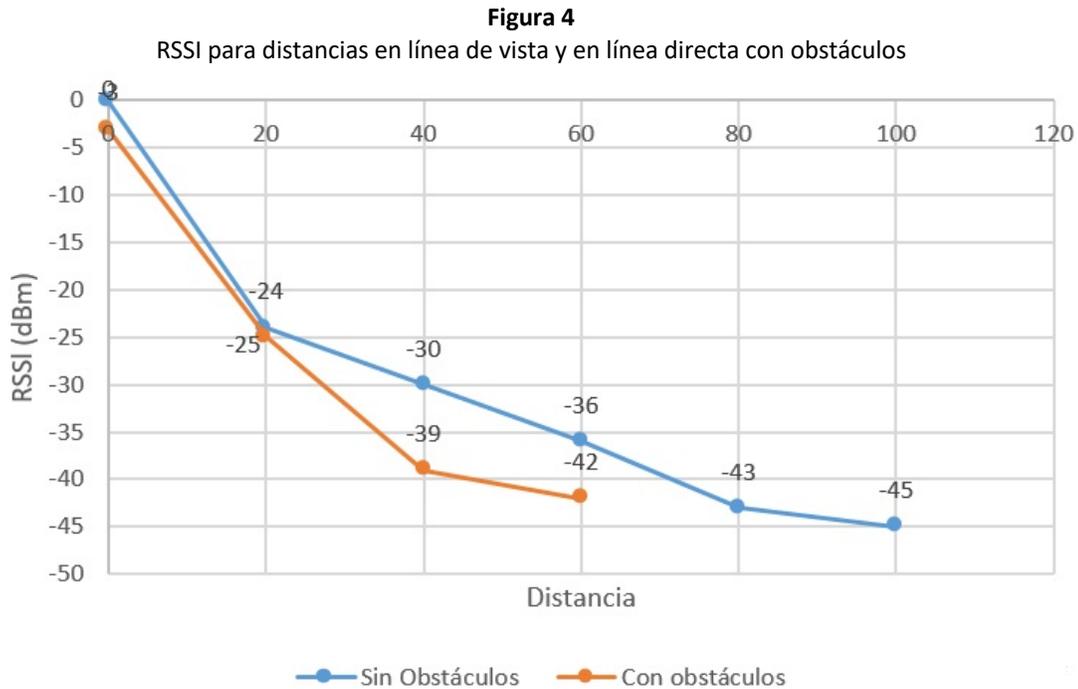
Tabla 2
Temperatura equipos MEMSIC vs equipos de medida de la empresa

Tiempo	Temperatura Nodo MEMSIC(°C)	Temperatura equipo medida de la empresa (°C)	Diferencia (°C)
27/03/2018 15:39	22.5	20.2	2.3
27/03/2018 15:41	22.5	20.1	2.4
27/03/2018 15:44	22.0	19.8	2.2
27/03/2018 15:47	19.9	19.8	0.1
27/03/2018 15:50	20.1	20.1	0
27/03/2018 15:52	19.8	19.9	0.1
27/03/2018 15:55	19.9	20.1	0.2

Fuente: por los autores

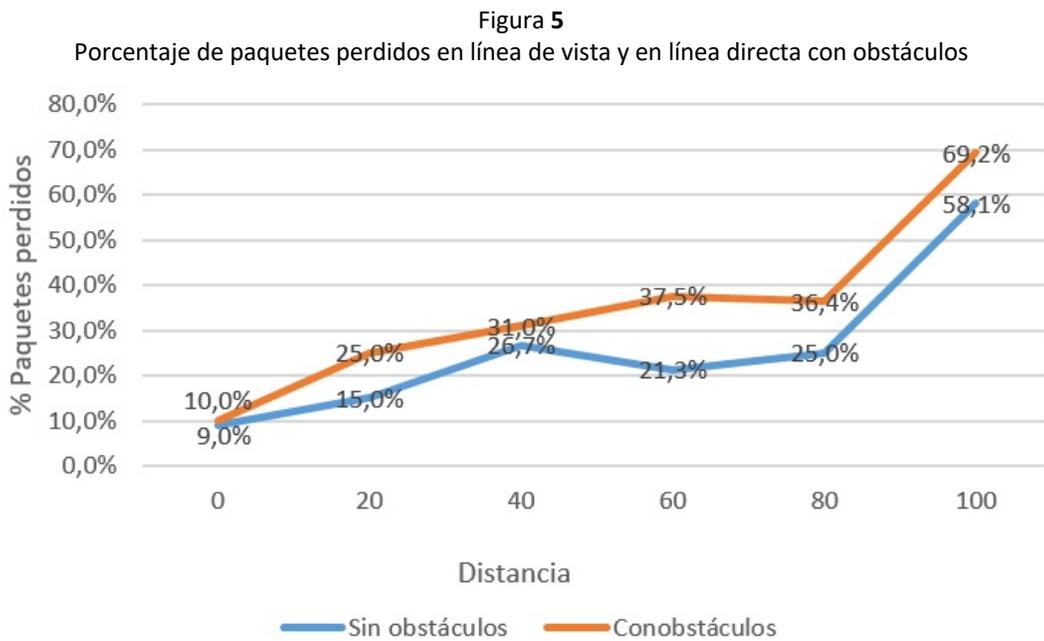
Se realizó una prueba de distancia de conexión, donde cada nodo se posicionó en línea de vista con la Gateway y se fue alejando hasta que se tuvo pérdida de conexión, se determinó que la distancia máxima a la cual se obtiene comunicación en línea de vista con la Gateway es aproximadamente de 100 metros y ubicando la Gateway en línea recta con cada nodo, pero con obstáculos de por medio la máxima distancia alcanzada fue de

60 metros. En la figura 4 se observa la intensidad de señal recibida (RSSI, Radio Signal Strength Indicator) para tres distancias con línea de vista y en conexión de línea recta con obstáculos de por medio.



Fuente: por los autores

En la figura 5 se observa la pérdida de paquetes para la conexión con línea de vista y con obstáculos para las tres distancias probadas, en ella se observa que entre mayor distancia se tenga entre la Gateway y el nodo, mayor será la pérdida de paquetes.

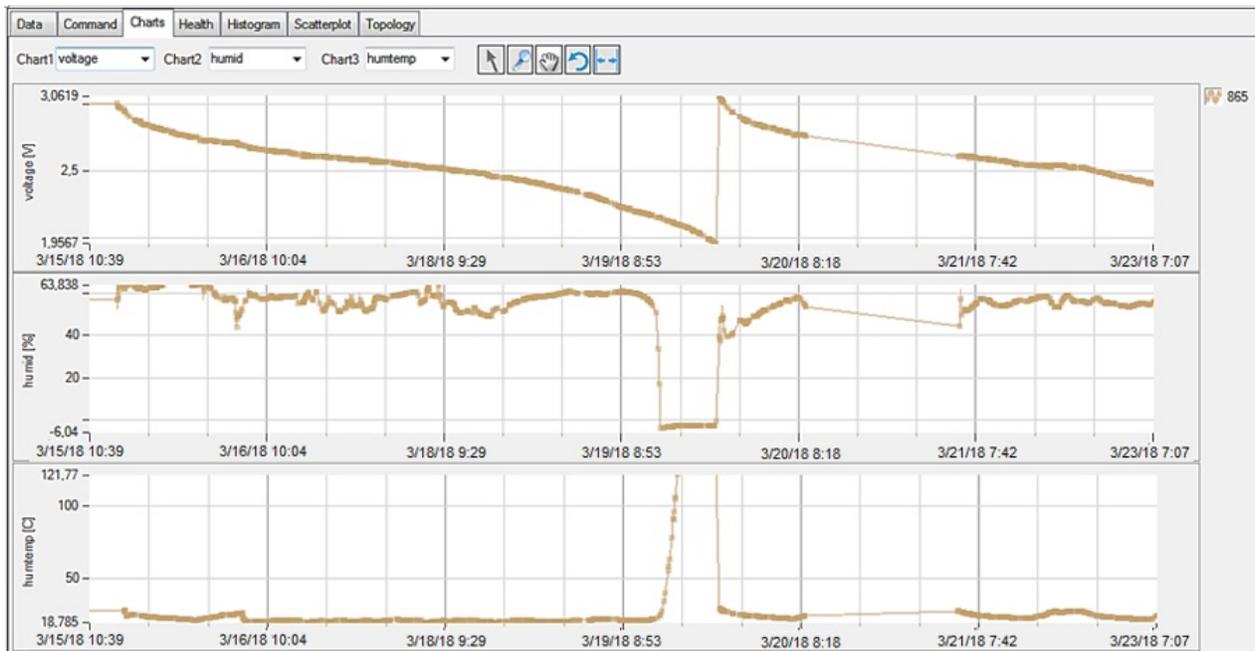


Fuente: por los autores

De acuerdo con en las figuras 4 y 5, es posible observar que a mayor pérdida de paquetes existe una disminución la intensidad de señal recibida; lo que se produce cuando el nodo y la Gateway se encuentran cada vez más alejados.

La calidad de la información según el estado de la batería se evaluó poniendo en funcionamiento los nodos utilizando unas pilas alcalinas AA las cuales tenían un nivel de batería de 2.7V, transcurridos casi 3 días el nivel de batería descendió a 2 V con lo que se observó que cuando la batería está por debajo de los 2.1V la información deja de ser consistente como se aprecia en la figura 6 para los datos obtenidos de humedad y temperatura.

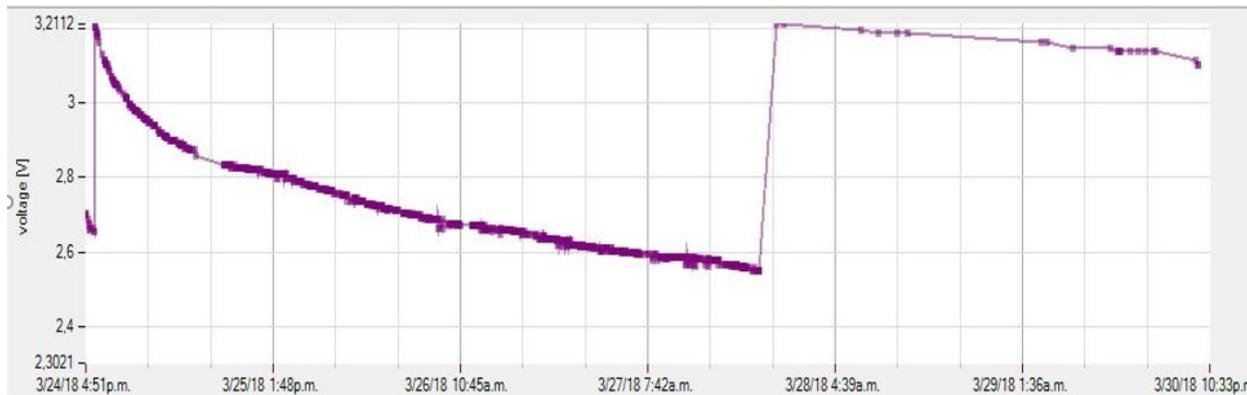
Figura 6
Comportamiento de los sensores vs nivel de batería



Fuente: por los autores

También se realizaron pruebas de duración de la batería en modo de alta potencia y baja potencia, los resultados obtenidos en las pruebas de consumo de batería presentados en la figura 7, registran que los primeros cuatro días correspondientes a la configuración de alta potencia, el consumo de batería fue acelerado, el voltaje desciende aproximadamente 0.6V, dado que todos los nodos iniciaron con baterías nuevas, después del quinto día se predice necesario hacer cambio de batería. Los tres días siguientes corresponden a la configuración de baja potencia, aquí se observa que la batería disminuye lentamente.

Figura 7
Nivel de batería del nodo en alta y baja potencia



Fuente: por los autores

Se verificó el funcionamiento del middleware con la información recolectada en una pequeña red de prueba, transmitiendo todos los datos a Ubidots, en la figura 8 se observa el resultado obtenido en la aplicación. La transferencia de información se realizó con éxito, mostrando el código 201, que significa de acuerdo con la API de Ubidots: *Creado solicitud exitosa + un ítem se creó.*

Figura 8
Prueba de integración, transmisión de información a Ubidots

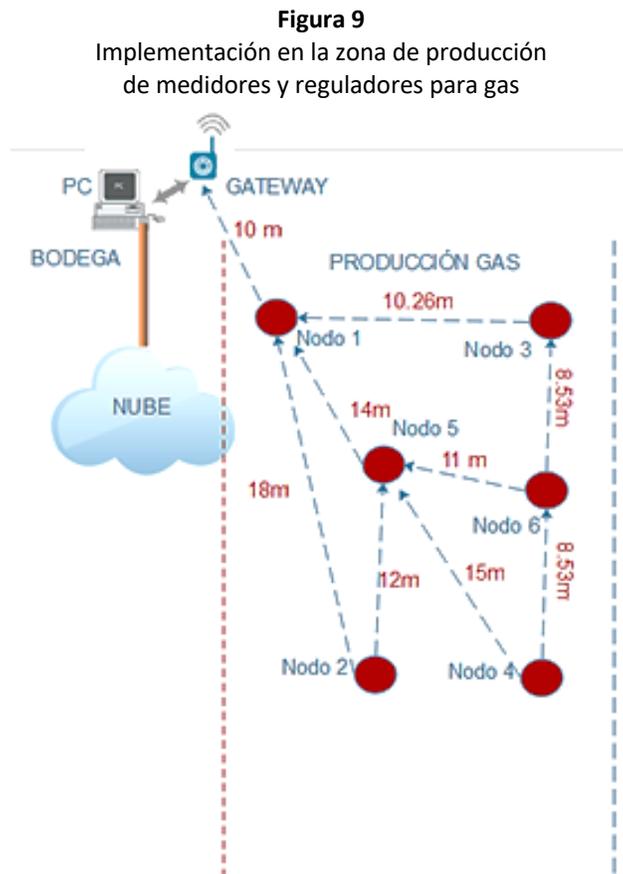


Fuente: por los autores

3.2. Resultados de implementación y evaluación de la WSN

Teniendo en cuenta el diseño planteado y los resultados obtenidos en las pruebas de validación y conexión, se implementó la WSN por un periodo de 34 horas, usando los dispositivos MEMSIC. En las pruebas de red realizadas, se obtuvo una distancia de transmisión máxima de 60 metros con obstáculos entre el nodo y la Gateway, se verificó el diseño establecido para el área de producción de medidores y reguladores de gas y se determinó que las distancias entre los nodos y la Gateway no superan este valor, razón por la cual los nodos debieron ser ubicados manteniendo estas distancias, o distancias cercanas. En la implementación en dicha área se identificaron algunos cambios necesarios con referencia a la ubicación y altura de la Gateway, computador y nodos sensores, esto debido a cambios estructurales en la empresa, posteriores a la visita inicial con la que se planteó el diseño de la red de monitoreo, también por facilidad de acceso a la red de datos y por seguridad física

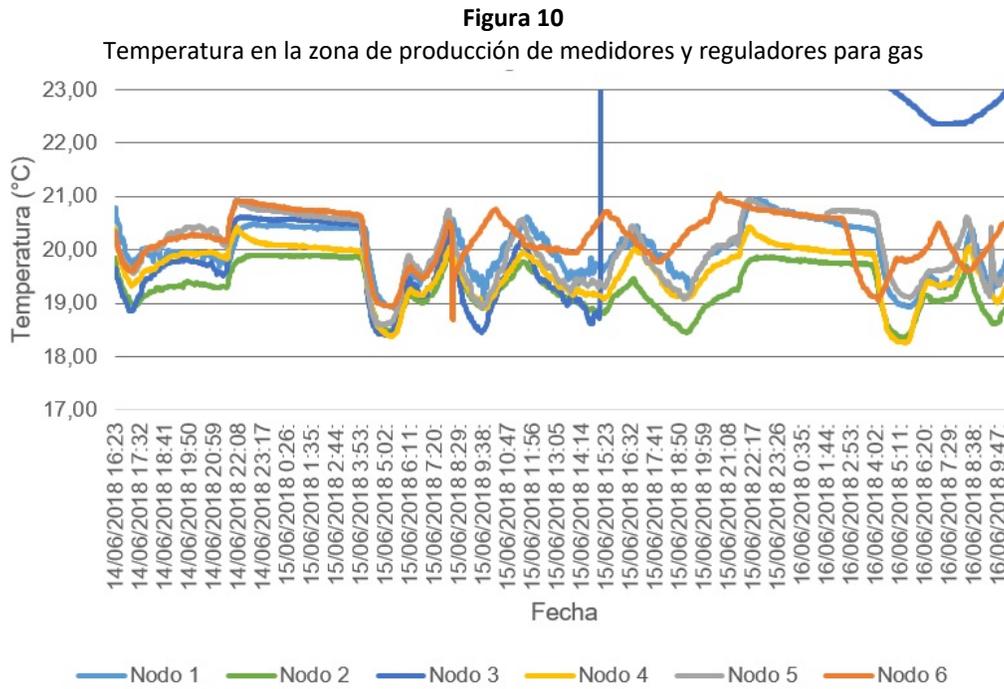
de la Gateway y el computador. En la figura 9 se presenta la ubicación de implementación en la empresa de la Gateway y los nodos.



Fuente: por los autores

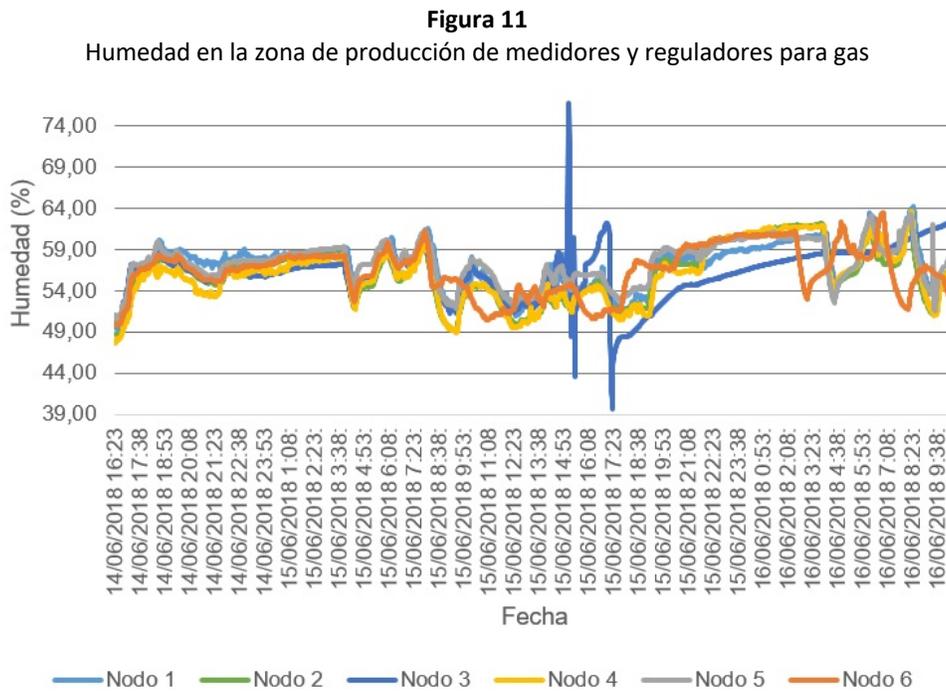
En esta área se cuenta con un sistema de control de temperatura y humedad, así como equipos de medida para monitorear manual y permanentemente estas variables en función de la fabricación de los medidores, y de acuerdo a los *workstandar* de la compañía la temperatura debe estar entre los 18 y 22 grados centígrados con un promedio de 20 grados centígrados.

En la figura 10, se observa el comportamiento de la variable temperatura en el área de producción de medidores y reguladores de gas, la temperatura permanece dentro de los límites permisibles para la salud de los trabajadores entre 18.8°C hasta 22.9°C (Niebel, 1996); el nodo 3 presenta un comportamiento diferente 11 horas después de haber puesto en funcionamiento la red en esta zona, debió al movimiento de su ubicación inicial fuera de la zona, por error del personal de la empresa, razón por la que los datos de este nodo difieren del resto; también se observa que en el periodos de 10:00 p.m. a 5:00 a.m., la temperatura es constante para cada nodo, porque en ese horario no hubo personal laborando (debido a baja en la producción), sin embargo, en el horario donde se laboró, existen picos de variación de temperatura por el movimiento de personal en la zona, utilización de las maquinas, pero sin salirse de los límites permisibles, se recomienda diligenciar una encuesta de percepción de temperatura dadas sus fluctuaciones.



Fuente: por los autores

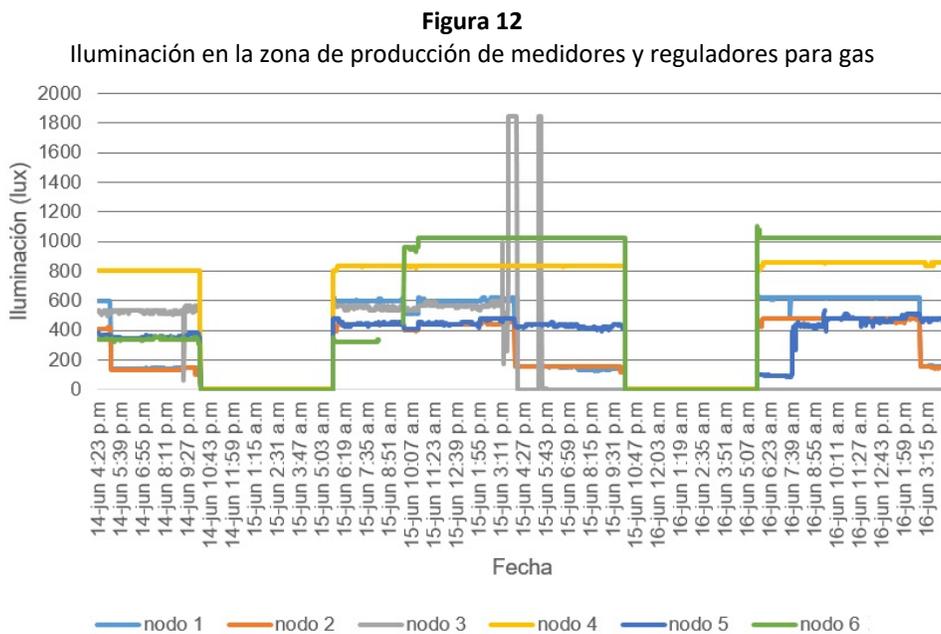
La humedad en la zona también es un parámetro controlado para propósitos de producción, esta variable no sufre mayores variaciones en el tiempo como se observa en la figura 11 y permanece alrededor de 56% como lo establecen los estándares de trabajo (Niebel, 1996), y al igual que la temperatura se observa la variación en el nodo 3 por la manipulación y cambio de lugar; la humedad en el nodo 4 el cual tiene la menor humedad es del 47,6% y la máxima humedad del 63,7% se presenta en el nodo 2, sin sobrepasar los límites permisibles.



Fuente: por los autores

La iluminación en esta zona es totalmente artificial ya que esta es un espacio cerrado sin iluminación natural, por lo cual cuenta con lámparas fluorescentes, en la figura 12 se aprecia el comportamiento de esta variable en el

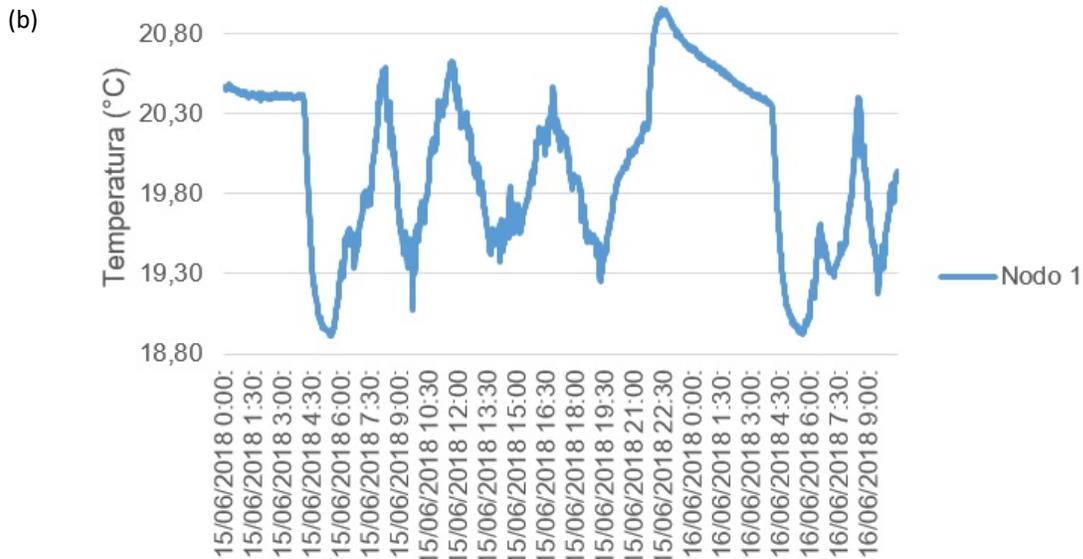
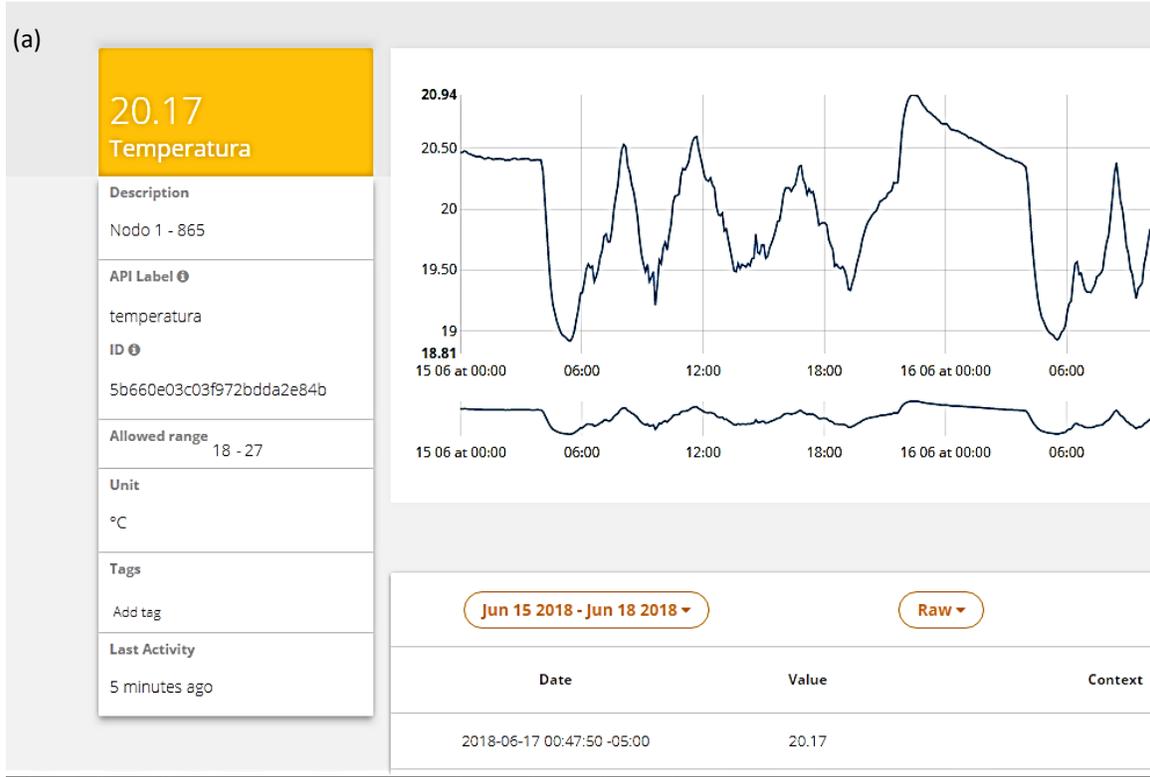
tiempo, hay diferencias entre un nodo y otro debido a que los nodos fueron ubicados a diferentes alturas y posiciones respecto a las luminarias, se observó que la iluminación disminuyó a cero entre las 10:00 p.m. y las 5:00 a.m., por lo que se consultaron con los turnos de trabajo y se identificó que no se laboró en este periodo de tiempo, y la iluminación y el sistema de control de temperatura de la zona fue apagado, lo que permite observar en la figura 8 que en este periodo, fue cuando más alta estuvo la temperatura (promedio 20°C), ya que no se contaba con el control de temperatura. En los horarios en los cuales se laboró se observa que los nodos 1 y 2 en promedio registran una iluminación de 144 y 128 luxes, lo que estaría por debajo del límite permisible (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979), sin embargo, estos nodos se ubicaron en posición vertical lo cual hace que el sensor de los nodos no quede debajo de la iluminación por lo que no capta el valor total de la variable; también resalta que al ser la iluminación totalmente artificial en los nodos 2 y 5 se ven periodos en los cuales la iluminación disminuye, porque la luminaria directa al nodo se apaga en los recesos laborales, y los sensores detectan la iluminación alrededor de ellos.



Fuente: por los autores

La información de las variables se visualizó a través del sistema web, evidenciando que el acceso fue fácil y que la información estuvo disponible en todo momento en la plataforma Ubidots, donde por cada nodo, se observan los valores obtenidos para cada variable. Con ayuda del personal de seguridad y salud en el trabajo se verificó el comportamiento de las variables, observando gráficas como la que se presenta en la figura 13(a) para el nodo 1, donde se presentan los valores obtenidos en Ubidots, y de manera comparativa en la figura 13(b) se muestra los datos de la base de datos local, encontrando igualdad entre la información.

Figura 13
 Temperatura de la zona de producción de medidores y reguladores de gas en del nodo 1 (a) en Ubidots y (b) en base de datos local.

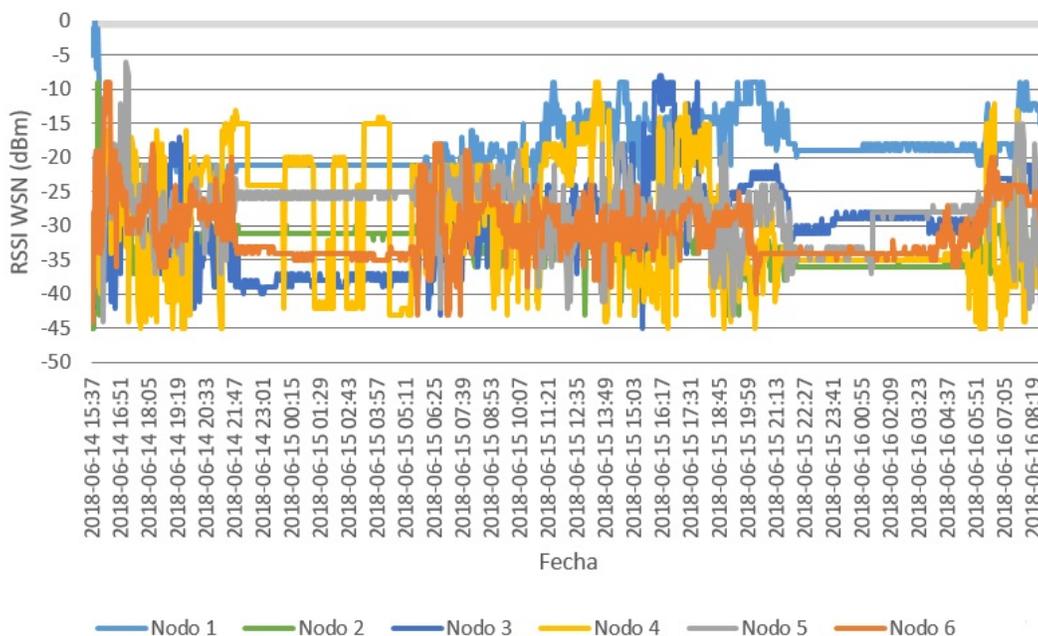


Fuente: por los autores

La recolección de la información de humedad, iluminación y temperatura, permitió establecer que el área se encuentra controlada y a pesar de que dicho control está enfocado en la producción, las mediciones indicaron que las variables están dentro de los límites permisibles y el ambiente laboral es adecuado; y disponer de la información a través del sistema web permanentemente, permitirá detectar fallas en el sistema de control de temperatura o en las lámparas realizando medidas de prevención y control a tiempo, beneficiando la salud de los trabajadores.

En cuanto al comportamiento de la red se evidencia en la figura 14 que la RSSI de cada nodo varía en función de su distancia con la Gateway. En cada nodo hay variaciones en el nivel de señal en el tiempo debido a cambios permanentes en las condiciones de propagación, estas varían porque hay obstrucciones entre los nodos y la Gateway, la cual está ubicada en el área de bodega donde hay una puerta que permite el intercambio de materia prima y producto terminado con el área de producción de medidores y reguladores de gas; esta puerta es abierta permanentemente y obstruida con estibas periódicamente, sin embargo esto no afecta la temperatura, ya que se cuenta con un sistema que genera aire cuando se abre la puerta, generando que las variaciones de temperatura sean mínimas.

Figura 14
RSSI en el área de producción de medidores y reguladores de gas



Fuente: por los autores

La tabla 3, muestra el comportamiento de la red en términos de paquetes perdidos y retransmitidos, que está entre el 3% y el 9%, y la cantidad de paquetes perdidos no supera el 0.8% lo cual hacen de esta una red eficiente.

Tabla 3
Paquetes enviados, perdidos y retransmitidos en en el área de producción de medidores y reguladores de gas

Nodo	Nro. de paquetes enviados	Paquetes perdidos	Retransmisiones	Porcentaje paquetes perdidos	Porcentaje retransmisiones
1	21828	24	827	0,11%	3,79%
2	21983	79	772	0,36%	3,51%
3	21923	44	1538	0,20%	7,02%
4	22028	98	1932	0,44%	8,77%
5	21428	50	932	0,23%	4,35%
6	21325	157	1322	0,74%	6,20%

Fuente: por los autores

4. Conclusiones

Una WSN en una empresa industrial permite monitorear variables físicas tales como temperatura, humedad e iluminación para establecer medidas de control e intervención, en pro de la salud de los trabajadores, permitiendo mejorar las condiciones laborales y reduciendo la incidencia de la enfermedad laboral, contribuyendo con una mejora en la productividad debido a la reducción de ausencias laborales por enfermedad.

En el planteamiento del diseño de la red se deben considerar los posibles obstáculos que se puedan presentar entre los nodos y la Gateway, los equipos empleados de la red deberán estar en ubicaciones seguras, libres de manipulación externa y de fácil acceso para la instalación, para así garantizar un adecuado funcionamiento de una WSN en un ambiente industrial.

El área de seguridad y salud en el trabajo puede realizar análisis y tomar las medidas correspondientes en relación a la salud de los trabajadores, dado que la información obtenida por la red de monitoreo tiene un adecuado funcionamiento en la obtención de la información de las variables ambientales físicas monitoreadas, debido a que el promedio de paquetes perdidos fue del 0.34% y un 5.6% de retransmitidos, a pesar de las variaciones de intensidad de señal recibida en la implementación de la WSN en un ambiente industrial, debido a los obstáculos en constante rotación, propios de los procesos de producción de la empresa.

El responsable de la seguridad y salud en el trabajo de una empresa haciendo uso de Ubidots como plataforma web para monitorear las variables físicas ambientales, podrá analizar la información adquirida por los sensores desde cualquier ubicación y en cualquier momento, dada la facilidad de acceso a la plataforma y su entorno amigable, estableciendo medidas oportunas de control, prevención e intervención del ambiente laboral.

La aplicación de una WSN para el monitoreo de las condiciones ambientales físicas de trabajo puede ser aplicado en cualquier ámbito laboral, posibilitando que el personal de seguridad y salud en trabajo tenga información disponible y accesible en cualquier lugar.

Referencias bibliográficas

- Álvarez Erazo, F. X. (2015). Implementación de una red de sensores inalámbricos con topología cluster tree en el laboratorio de instrumentación industrial. Tesis. Quito, Ecuador: Escuela Politecnica Nacional.
- Caicedo Ortiz, J. G., & Acosta, M. A. (Enero-Junio de 2015). Modelo de despliegue de una WSN para la medición de las variables climáticas que causan fuertes precipitaciones. *Prospect*, 13(1), 106-115.
- Castro, N. D., Chamorro, L. E., & Viteri, C. A. (2016). Una red de sensores inalámbricos para la automatización y control del riego localizado. *Revista de ciencias agrícolas*, 33(2), 106-116.
- Fernández Martínez, R., Ordieres Meré, J., Martínez de Pisón Ascacíbar, F. J., González Marcos, A., Alba Elías, F., Lostado Lorza, R., & Pernía Espinoza, A. V. (2009). *Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica*. La Rioja, España: Universidad de la Rioja.
- González, A., Leone, N., Murdoch, M., Mazzara, P., & Oreggioni, J. (2010). Sistema de medida en ambientes industriales basado en redes de sensores inalámbricos. *Memorias XVI Workshop Iberchip*. Cataratas de Iguazú, Brasil.
- Maigler, V., Valverde Alcalá, J., Portilla Berruero, J., & Riesgo Alcaide, T. (2013). *Wireless Sensor Network Solution for Sustainable Food Production*. Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación 2013 (SAAEI'13). Madrid, España.

- Ministerio de la protección Social. (2011). Guía técnica para el análisis de exposición a factores de riesgo ocupacional. Bogotá: Imprenta nacional de Colombia.
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1979). Resolución 2400 de 1979. Bogotá: Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.
- Niebel, B. W. (1996). Ingeniería industrial métodos, tiempos y movimientos. México: Alfaomega.
- Organización Internacional del Trabajo. (1998). Higiene Industrial. En Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo (págs. 30.1-30.8). Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales Subdirección General de Publicaciones.
- Ortega Ortíz, J. C. (2014). Desarrollo de un prototipo de adquisición de variables ambientales en cultivos hidropónicos de lechuga, mediante una red de sensores, utilizando un sistema embebido. Bogotá: Universidad de San Buenaventura.
- Pérez, J., Urdaneta, E., & Custodio, Á. (2014). Metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos. Universidad, Ciencia y Tecnología, 18(70), 12-22.
- Rodríguez, E., Deco, C., Burzacca, L., Pettinari, M., Costa, S., & Bender, C. (2015). Análisis y diseño de una red de sensores con tecnología inalámbrica para el monitoreo de condiciones de Higiene y Seguridad del ambiente en entornos industriales. Congreso Argentino Ingeniería Industrial. Córdoba, Argentina.
- Romero Acero, Á., Marín Cano, A., & Jiménez Builes, J. A. (2013). Red de sensores inalámbricos para el monitoreo de alertas tempranas en minas subterráneas: una solución a la problemática de atmósferas explosivas en la minería de carbón en Colombia. Ingeniería y desarrollo, 31(2), 227-250.
- Sohraby, K., Minoli, D., & Znati, T. (2007). Wireless Sensor Network Technology, Protocols and Applications. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Suárez, J. C. (2013). Diseño y construcción de un sistema de monitoreo para invernaderos apoyado con tecnología zigbee. Duitama, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Vera Romero, C., Barbosa Jaimes, J., & Pabón González, D. (2014). Acople de sensores en la medición de variables ambientales usando tecnología ZigBee. Scientia et Technica, 19(4), 419-424.