

# Sistema de Monitoreo de Monóxido de Carbono a través de una Red de sensores Inalámbrica y una Plataforma como servicio en la nube para una residencia

*Edison M. Carrión<sup>1</sup>, Edgar A. Maya O.<sup>1</sup>, Hernán M. Domínguez L.<sup>1</sup>, Diego H. Peluffo O.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> CIERCOM/FICA, Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de Julio 5-21 y Gral. José María Córdova, Ibarra, Ecuador, código postal 199.

emcarrion@utn.edu.ec, eamaya@utn.edu.ec, hmdominguez@utn.edu.ec, dhpeluffo@utn.edu.ec

Fecha de recepción: 18 de junio 2016 - Fecha de aceptación: 2016

## ABSTRACT

This paper presents a system of monitoring carbon monoxide to provide environmental safety in a residence, based on a wireless sensor network and platform as a service in the cloud with the objective of caring for human lives and prevent gas poisoning.

Keywords: WSN, Platform as a Service, IoT, IEEE 802.15.4, zigbee, wireless sensor network, arduino.

## RESUMEN

El artículo presenta un sistema de monitoreo de monóxido de carbono que provea un ambiente seguro en una residencia, basado en una red inalámbrica de sensores y la plataforma como un servicio en la nube con el objetivo de cuidar de las vidas humanas y evitar la intoxicación por gas.

Palabras clave: WSN, Plataforma como Servicio, IoT, IEEE 802.15.4, Zigbee, Red inalámbrica de sensores, arduino.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una gran mayoría de familias tienen acceso al servicio de gas licuado de petróleo o gas doméstico, consecuente al gran consumo de este y por fallas técnicas de los aparatos en que se los usa, han ocurrido accidentes por la intoxicación de monóxido de carbono, llegando a causar hasta la muerte.

El gas natural es la mezcla de diversos gases como por ejemplo metano, butano, etano, entre otros, el monóxido de carbono aparece cuando existe una combustión incompleta de combustibles de origen fósil como lo son: la gasolina, madera, gas propano, etc. Esta combustión incompleta puede darse o producirse en los hogares, en el uso del gas doméstico, sea para una cocina o para un calefón, los cuales no hayan tenido un continuo mantenimiento. Este monóxido de carbono es incoloro, inodoro lo que hace que sea letal ante la presencia de un ser humano.

El objetivo con el cual se diseña el sistema de monitoreo de monóxido de carbono, es la función de alertar a los habitantes de una residencia de cualquier nivel de gas que se esté produciéndose dentro de esta, en caso de que llegue a niveles en donde el ser humano se sienta afectado directamente se generaran alarmas sonoras y alarmas remotas o externas donde se puede avisar así se encuentren fuera de la vivienda. Este sistema es de gran ayuda para la prevención de intoxicaciones, accidentes y hasta muertes.

El sistema de monitoreo consta de dos partes, la primera es la red de sensores inalámbricos y la segunda parte es la conexión hacia la nube mediante una plataforma como servicio, la recolección de los datos se lo realiza inalámbricamente mediante el protocolo zigbee que es adecuado para condiciones de bajo consumo de energía, baja tasa de transmisión de datos.

El artículo se trata primeramente acerca de la recolección de la información sobre el monóxido de carbono que cada nodo sensor lo realiza, seguidamente se muestra la estructura de la red de sensores inalámbricos diseñada para el sistema, posteriormente se indica la plataforma como servicio que se utiliza y la conexión de la red de sensores con la nube para conseguir el monitoreo del monóxido de carbono y por último se muestra los resultados y conclusiones.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 DETECCIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO

El monóxido de carbono (CO), es un gas incoloro, insípido, que no se lo puede detectar a simple vista, pero tiene la desventaja total que llega a ser un gas muy venenoso, es por eso que al inhalar altos niveles de este gas pueden llegar a causar la muerte.

Entre las fuentes más conocidas que pueden proporcionar una intoxicación están las combustiones incompletas de carbono. (Environmental Protection Agency, 2014)

- Quema de materia orgánica con aporte insuficiente de oxígeno.
- Quema de carbono o materias carbonosas, como carbón mineral, carbón vegetal, leña, madera, hidrocarburos derivados del petróleo, explosivos, tabaco.

Para tener en cuenta, existen valores límites en los cuales se da un nivel de intoxicación por este gas de monóxido de carbono, a continuación, en la Tabla 1 se detalla la concentración de monóxido de carbono en el aire y los efectos que puede llegar a causar de acuerdo al tiempo que este expuesta una persona.

**Tabla 1.** Concentraciones de monóxido de carbono

Concentración de monóxido de carbono	Efecto
0-229 mg/m <sup>3</sup> (0-200 ppm)	Ligero dolor de cabeza en algunos casos
229-458 mg/m <sup>3</sup> (200-400 ppm)	Después de 5-6 horas se puede observar un leve dolor de cabeza, náuseas, vértigo y síntomas mentales.
458-802 mg/m <sup>3</sup> (400-700 ppm)	Después de 4-5 horas se puede observar un fuerte dolor de cabeza, incoordinación muscular, debilidad, vómitos y colapso
802-1260 mg/m <sup>3</sup> (700-1100 ppm)	Después de 3-5 horas se puede observar un fuerte dolor de cabeza, debilidad, vómitos y colapso.
1260-1832 mg/m <sup>3</sup> (1100-1600 ppm)	Después de 1.5-3 horas se puede observar coma. (La respiración es aún bastante buena a no ser que el envenenamiento se haya prolongado).
c1832-2290 mg/m <sup>3</sup> (1600-2000 ppm)	Después de 1-1.5 horas hay posibilidad de muerte
5726-11452 mg/m <sup>3</sup> (5000-10000 ppm)	Después de 2-15 minutos se puede producir la muerte.

### 2.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO

El Sistema de monitoreo consta de dos partes fundamentales, la Red WSN y la conexión hacia la plataforma como servicio en la nube, en donde se alojan los datos obtenidos de la red WSN.

#### A.- Integración entre WSN y redes TCP/IP

Las redes WSN poseen recursos limitados como lo es en hardware y en el consumo de energía, hace que la conexión directa de los nodos sensores con redes TCP/IP no sea factible, la Fig. 1 indica la conexión entre las diferentes redes y protocolos en la cual se toma en cuenta una capa como la transformación de red, y que gracias a esto se da la integración entre protocolos y redes diferentes.

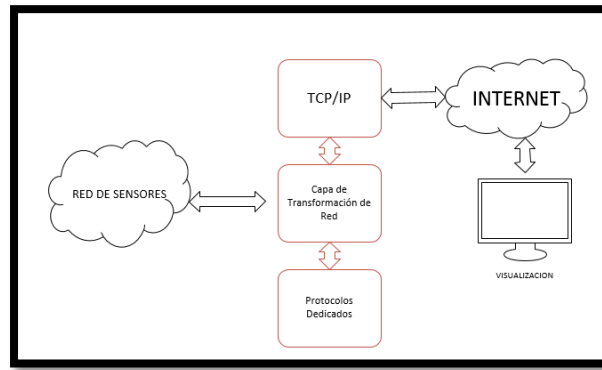


Fig. 1 Integración entre WSN y TCP/IP

De la integración entre WSN y redes TCP/IP, surgen dos niveles a tener en cuenta como lo son: Arquitectura y Protocolos de Interconexión.

### Nivel de Arquitectura

En este nivel toma principalmente en cuenta cual será el elemento que tendrá la dirección ip, la cual permita la conexión entre ambas redes, y en este nivel existen dos perspectivas: redes overlay, gateway.

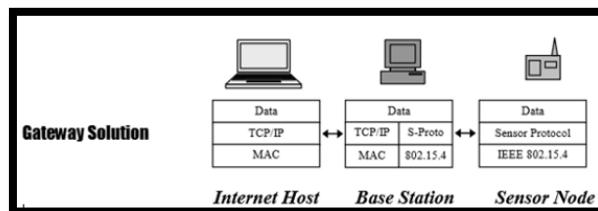


Fig. 2 Solución mediante Gateway

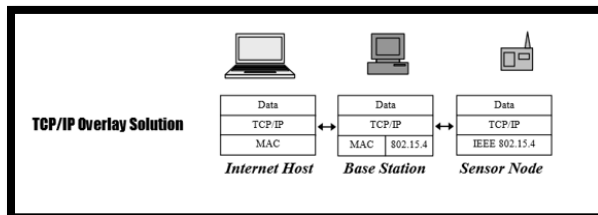


Fig. 3 Solución mediante Overlay

### Nivel de Protocolos de Interconexión

El protocolo de interconexión es la implementación que permite el intercambio de mensajes y comandos entre ambas redes, definiendo reglas y sintaxis para lograr la interconexión entre estas redes. El protocolo además asiste a la aplicación para interactuar con la complejidad y heterogeneidad de las plataformas de hardware de ambas redes (WSN y TCP/IP). Los enfoques utilizados en este nivel, se pueden clasificar en Ad-hoc y Basados en estándares.

### B.- Arquitectura del Sistema

La red WSN está diseñada básicamente de tres nodos sensores y un nodo central o Gateway que es el que permitirá la comunicación entre la red WSN y la red TCP/IP, y así los datos recolectados por lo nodos sensores sean transmitidos y llevados a la plataforma PaaS en la nube donde se visualizará los valores de monóxido de carbono. En la Fig. 4 se muestra el diagrama de bloques tanto de la red WSN y la conexión hacia la plataforma PaaS.

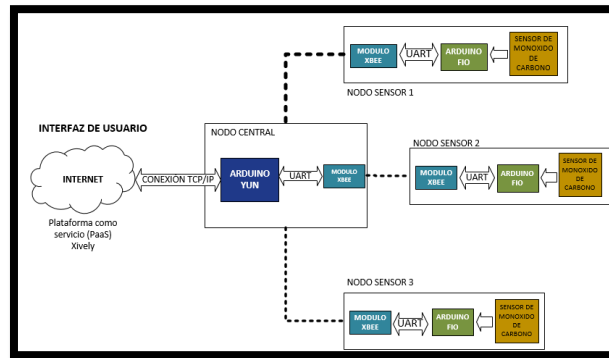


Fig. 4 Arquitectura del Sistema

### C.- Diseño de la WSN

En la Fig. 5 se muestra la estructura de la red de sensores, la plataforma como servicio en la nube que se utiliza y algunos servicios con los que se puede comunicar la red WSN mediante el uso de la plataforma PaaS.

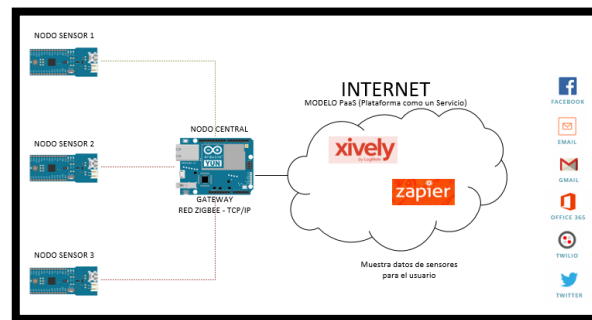


Fig. 5 Esquema de Sistema de monitoreo

La topología determinada para este tipo de red WSN es estrella debido a la centralización de la información en un solo nodo, como lo es el nodo central el cual se encuentra comunicado directamente con cada nodo sensor.

Como se observa en la Fig. 5, la topología constará de 3 nodos sensores, un nodo central, una fuente de alimentación en cada uno de los nodos y una comunicación inalámbrica.

#### Modulo Nodo Sensor

Posee un sensor de Monóxido de carbono MQ-7, la señal análoga que envía el sensor ingresa al arduino FIO, pasa por una conversión análoga-digital para que se pueda procesar los valores análogos y mediante la comunicación Zigbee se transmite los datos de forma inalámbrica hacia el nodo central.



Fig. 6 Módulo Nodo Sensor

#### Módulo Nodo Central.

Es el coordinador de la red WSN, al obtener los datos de los nodos sensores mediante comunicación inalámbrica, con el uso de un arduino y un permitirá enviar los datos obtenidos en la red WSN hacia la plataforma PaaS de la nube mediante una conexión a internet sea por el puerto Ethernet o por el módulo Wifi, y así tener la información almacenada en la nube y tener acceso remoto a la información para el monitoreo que se quiera realizar.

Se generarán alertas locales como es una alarma sonora dentro de la vivienda y alertas remotas, como mensajes de correo electrónico, redes sociales, mensajes de texto, etc.



Fig. 7 Módulo Nodo Central

En la red Zigbee entre nodos sensores y nodo central se utiliza el modo de transmisión de datos API (Application Programming Interface), el cual contiene la trama de comunicaciones en donde se especifica la dirección de origen, dirección de destino, y los valores medidos del monóxido de carbono, haciendo de este protocolo una forma segura de transmisión y recepción de la información.

#### *Fuente de Energía*

Para que exista un funcionamiento de los nodos sensores de la red WSN, como todo sistema eléctrico o electrónico, se necesita de una fuente de alimentación. Para este caso se decidió tomar en cuenta el hecho que son nodos sensores inalámbricos, así que se utiliza baterías Lipo para proporcionar energía a los nodos sensores y sean netamente nodos inalámbricos.

Para la alimentación de los nodos sensores se escogió baterías Lipo de 7,4 V a 2200 mAh, teniendo en cuenta las características de la batería, los cálculos de la vida útil son los siguientes.

**Tabla 2.** Consumo de dispositivos en un nodo sensor

	Modo Normal (mA)	Modo Dormido (mA)
Sensor MQ7	7,5	7,5
Xbee	29,5	0,001
Arduino FIO	40	40
<b>TOTAL</b>	<b>77</b>	<b>47,501</b>

Tcn = Tiempo Consumo Normal

Tcd = Tiempo Consumo Dormido

Icn = Intensidad de Corriente Consumo Normal

Icd = Intensidad Corriente Consumo Dormido

Se aplica que el consumo es:

$$Consumo = \frac{Tcn \cdot Icn + Tcd \cdot Icd}{Tcn + Tcd} \quad (1)$$

Para el desarrollo del proyecto se toma en cuenta:

Tcd = 30 segundos, Tcn = 5 segundos, Icn = 77 mA, Icd = 47,501 mA

Con los datos detallados anteriormente se tiene:

$$\text{Consumo} = \frac{5 * 77 + 30 * 47,501}{5 + 30}$$

$$\text{Consumo} = 51,71 \text{ mA}$$

Se tiene disponible una batería de 7,4 V con 2200 mAh, el cálculo de la vida de la batería sería:

$$\text{Vida Bateria} = \frac{\text{Capacidad Bateria}}{\text{Consumo}} \quad (2)$$

$$\text{Vida Bateria} = \frac{2200 \text{ mAh}}{51,71 \text{ mA}}$$

$$\text{Vida Bateria} = 42,54 \text{ h} \approx 1 \text{ dia con 8 horas}$$

### Diseño del Software

A continuación, se muestran los flujogramas que permiten el desarrollo adecuado de la programación de todos los sistemas embebidos utilizados en el proyecto.

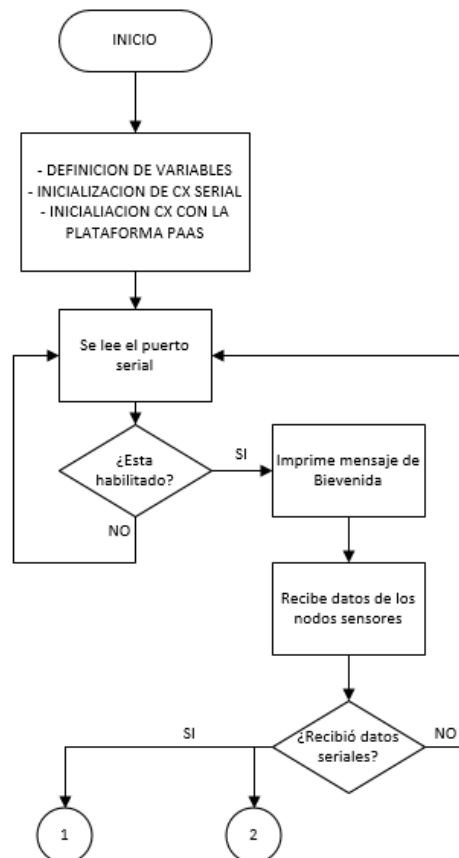


Fig. 8 Diagrama de flujo

Los dos procesos se dividen a partir de los datos recibidos al gateway de la red WSN, y según esto un proceso será para la generación de alarmas locales, este proceso se lo describe en el siguiente diagrama de flujo.

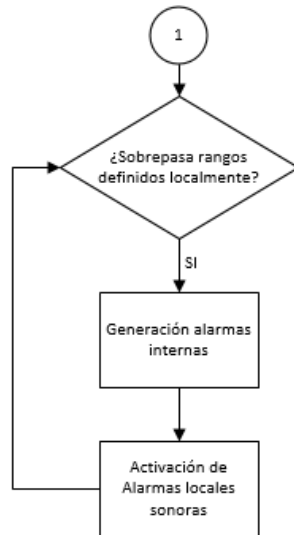


Fig. 9 Diagrama de flujo proceso 1

De igual forma para el segundo proceso se toma en cuenta a raíz de los datos recibidos por la comunicación inalámbrica, pero para este proceso las alarmas son remotas, es decir para la conexión con los servidores en internet.

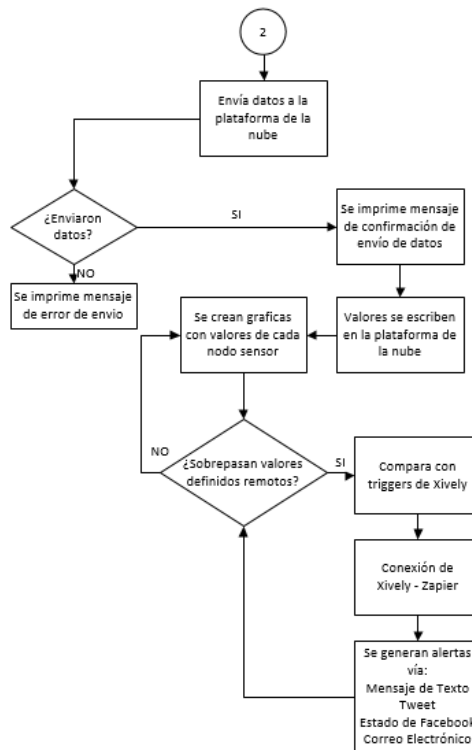
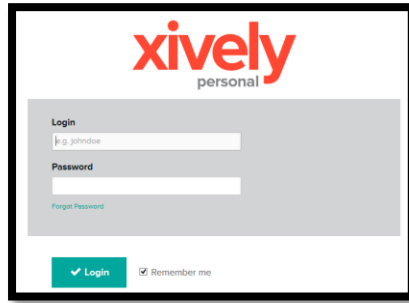


Fig. 10 Diagrama de flujo proceso 2

### *Plataforma en la Nube*

Para el proyecto se eligió la plataforma Xively, primeramente, para el acceso de Xively se debe crear una cuenta, para eso ingresamos a la página oficial de Xively <https://www.xively.com>.



De igual manera se utiliza Zapier es una plataforma la cual permite automatizar tareas e integrar aplicaciones web, que es la que permitirá la conexión hacia varios servicios de internet.

### 3. RESULTADOS

La adecuada instalación de los diferentes nodos sensores dentro de la residencia es de suma importancia, ya que dan paso a que en el momento que exista monóxido de carbono estos nodos tengan una respuesta inmediata ante estos eventos y se envíen los datos adecuados al nodo central, consiguiendo generar las alarmas en el menor tiempo posible.

Según la residencia se decidió colocar un nodo sensor en cada habitación y un nodo sensor en el cuarto donde se encuentra el calefón como indica la Fig. 11.

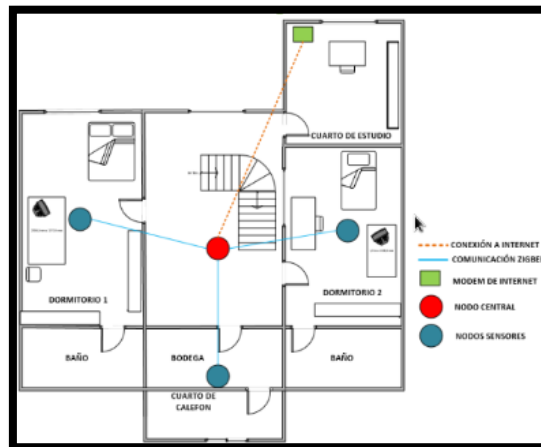


Fig. 11 Ubicación nodos sensores y central

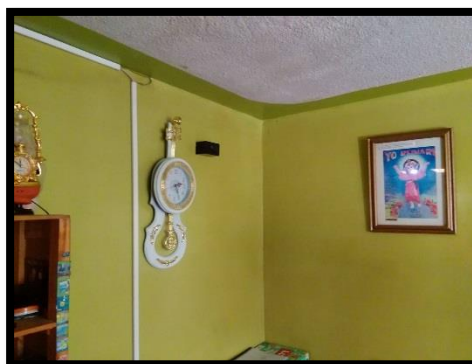


Fig. 12 Nodo Sensor 2 en dormitorio 2



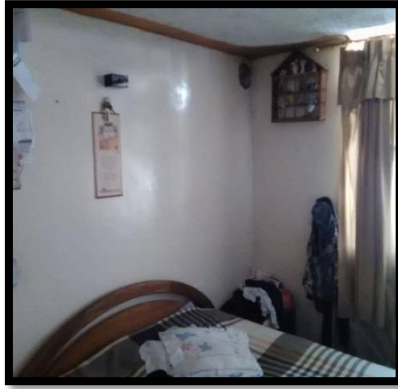


Fig. 12 Nodo Sensor 3 en dormitorio 1



Fig. 13 Nodo sensor 1 en bodega

Como se puede observar en las figuras los nodos sensores se encuentran ubicados en sitios de mayor riesgo y que más importancia hay que dar como lo son las habitaciones y por supuesto el monitoreo del calefón.

Para obtener resultados del sistema de monitoreo de monóxido de carbono se procedió a realizar pruebas de funcionamiento de todo el sistema.

Los datos recolectados por cada nodo sensor deber ser en tiempo real y ser enviados a la plataforma correctamente sin que existan perdida de datos.

Se muestra la información tanto localmente como remotamente, esto es, los datos que recibe el nodo central por la comunicación serial lo están recibiendo sin ningún problema y estos datos se envían a la nube sin dificultades.

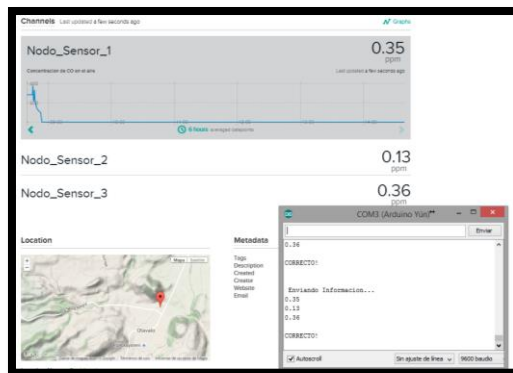


Fig. 12 Prueba de censado

Se puede observar que los datos que están en el puerto serial también están en la plataforma en la nube y de igual manera se los puede visualizar en la lcd que está conectada en el nodo central.

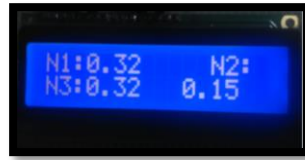


Fig. 13 Visualización de datos en la lcd

La información recolectada por los nodos sensores se va almacenado en la nube, y la plataforma permite realizar gráficas de acuerdo a los datos obtenidos y de acuerdo a estos valores se generarán las alarmas.



Fig. 14 Datos visualizados en la nube

#### Comprobación de datos obtenidos

Se realizaron mediciones en diferentes campos, principalmente se tomó valores junto al calefón en la residencia, luego se dio paso a otras alternativas y fuentes generadoras de monóxido de carbono, como se sabe este se produce por la combustión incompleta de ciertos elementos. En la Tabla 3, se presentan los valores de las mediciones junto al calefón en la residencia.

**Tabla 3.** Mediciones junto al calefón en la residencia.

ELEMENTO	MEDICIÓN SISTEMA DISEÑADO (ppm)
Cigarrillo	68
Combustión motor de automóvil	553
Hoja de papel	330
Plástico	117
Madera	410

#### Generación de alarmas.

Para el presente proyecto existen dos tipos de alarmas, de acuerdo a la funcionalidad serán: alarmas locales y alarmas externas.



Fig. 15 Alarma generada en Facebook

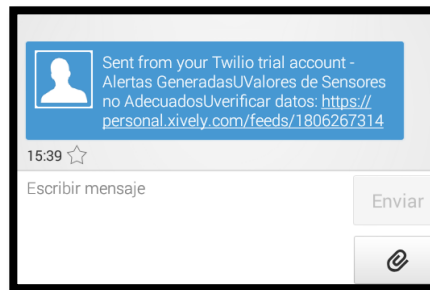


Fig. 16 Alarma generada por mensaje de texto

#### 4. CONCLUSIONES

El proyecto realizado sobre hardware de plataformas libres, permite que los elementos utilizados sean flexibles al momento de ser ensamblados y puedan ser modificados de acuerdo a las necesidades que se presenten en el desarrollo del proyecto.

Una selección correcta de cada uno de los elementos pertenecientes al sistema de monitoreo, hace que las funcionalidades sean las adecuadas y las requeridas por el sistema para que se logre cumplir con los objetivos trazados.

En el desarrollo de aplicaciones por medio de la nube (cloud), se puede tener grandes soluciones remotas, en este caso al manejar plataformas PaaS como por ejemplo Xively, son de gran ayuda gracias al monitoreo de datos que se puede realizar desde cualquier parte con una conexión a internet y en tiempo real.

La capacidad de interconectar aplicaciones en la internet y servicios en la nube, permiten ejecutar tareas indispensables en un tiempo menor y automáticamente.

Trabajar con plataformas en la nube, se da la pauta para el desarrollo de sistemas inteligentes y que sean orientados al Internet de las Cosas, donde cada sensor, cada módulo pueda y tenga una conexión directa a Internet.

Al realizar las diferentes pruebas se observó que el resultado de la obtención de datos por parte de los nodos sensores no afecta extensamente al momento de aumentar la temperatura ambiente o disminuirla.

El presupuesto del proyecto depende de todas las tecnologías que se está utilizando, las características que le hacen diferente hace que el precio sea un poco elevando con respecto a equipos convencionales existentes en el mercado.

#### 5. REFERENCIAS

Alliance Zigbee. (2015). *The Zigbee Alliance - Control your Wolrd*. Obtenido de <http://www.zigbee.org/>

ARDUINO. (s.f.). *ARDUINO*. Obtenido de Sitio Web de Arduino: <http://arduino.cc/en/guide/introduction>

- Barneda Faudot, I. (2008). *Zigbee aplicado a la transmision de datos de sensores biomedicos*. Tesis de Pregrado, Universidad Autonoma de Bcelona, Barcelona, España.
- Camargo, J. L. (2009). *Modelo de Cobertura para Redes Inalámbricas de Interiores*. Tesis de pregrado, Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- Comunidad Informatica. (Junio de 2014). *CCM*. Obtenido de CCM.net:  
<http://es.ccm.net/contents/817-wlan-lan-inalambrica>
- Comunidad Informatica. (Junio de 2014). *es.ccm.net*. Obtenido de CCM.net:  
<http://es.ccm.net/contents/818-redes-inalambricas>
- Consejería de Sanidad y Política Social de la Región de Murcia. (2012). *Murcia Salud*. Obtenido de Murcia Salud: <https://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180398&idsec=1573>
- Environmental Protection Agency. (2014). *EPA*. Obtenido de EPA:  
<http://www.epa.gov/espanol/saludhispana/monoxido.html>
- Fernandez Barcell, M. (2014). *Página de Manuel Fernandez Barcell*. Obtenido de Página de Manuel Fernandez Barcell: <http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>
- Glen, M., & Moreno, J. (23 de Mayo de 2012). *Wikispace*. Obtenido de <https://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>
- Gutierrez, M. J. (10 de Agosto de 2015). *El Androide Libre*. Obtenido de <http://www.elandroidelibre.com/2015/08/todo-sobre-zigbee-la-tecnologia-ultrabarata-para-comunicacion-inalambrica.html>
- Iacono , L., Godoy, P., Marianetti, O., Garcia, C., & Párraga, C. (2012). *Estudio de la Integracion entre WSN y redes TCP/IP*. Mendoza.
- Jordi, D. (1993). *Errores frecuentes en las intoxicaciones por monoxido de carbono*. Barcelona: Cruz Roja.
- Kezherashvili, B. (2010). *Computacion en la Nube*. Tesis de Maestria, Universidad de Almería, Almería, España.
- Mayné, J. (2011). *Baidu*. Obtenido de <http://wenku.baidu.com/view/a11a02ea19e8b8f67c1cb99b>
- National Instruments. (2009). *National Instruments Lationamerica*. Obtenido de National Instruments Lationamerica: <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/>
- Tecnologías, Servicios Telemáticos y Sistemas, S.A. (2014). *TST IoT M2M Smart City*. Obtenido de TST IoT M2M Smart City: <http://www.tst-sistemas.es/zigbee/>

## AGRADECIMIENTOS

Los autores hacen extensivo el agradecimiento a la Coordinación de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicaciones de la Universidad Técnica del Norte, por el apoyo técnico brindado.

