

Prototipo de una Red Inalámbrica ZigBee para la Medición de Niveles de Gases en Minas de Carbón

¹Buriticá C. Juan, ²Gonzalez M. Mateo

^{1,2}Ingeniería de Telecomunicaciones, Universidad Santo Tomás

Resumen— Este documento presenta el prototipo de una red en malla basada en comunicaciones inalámbricas ZigBee mediante la unión de módulos XBee PRO 900, tarjeta Arduino I y el sensor de gas metano MQ4. El sensor toma datos de forma análoga de los niveles de gas presentes al interior de una mina, posteriormente son enviados a la tarjeta Arduino la cual se encarga de realizar una conversión a digital de esta información para entregarla al router XBee, este comunicará con los demás XBee configurados como router y transmitirán las mediciones hasta el equipo XBee coordinador que se conecta con una base de almacenamiento la cual monitorea los niveles obtenidos para evitar riesgos de explosión causados por este gas.

Index Terms— ZigBee, Arduino, MQ4, XBee, Router, Coordinador

I. INTRODUCCIÓN

Los elevados índices de accidentalidad presentes al interior de las minas alrededor del mundo son un tema de preocupación para las empresas explotadoras de estos terrenos, para los trabajadores de dichos entornos y para la protección de la vida en general. Los casos de accidentes al interior de las minas no cesan y siguen siendo producidos por los mismos factores en la mayoría de los casos; acumulación de gases que ya sea por inhalación excesiva o por sus compuestos que los hacen altamente explosivos generan sucesos trágicos durante la actividad minera.

Las condiciones laborales de los trabajadores al interior de las minas son siempre duras, ya que allí se encuentran en condiciones de poca luz, requieren elevado esfuerzo físico, es además un trabajo de bajas condiciones de salubridad debido a las grandes cantidades de polvo generado por los minerales, además los mineros deben recorrer largas distancias al interior de las minas y en ocasiones los caminos no son los más adecuados para que puedan moverse con facilidad, son constantemente afectados por derrumbes que se puedan presentar y las explosiones que se generan dentro.

El fundamento de este proyecto está orientado directamente hacia la detección de gases y a través este documento se mostrará el prototipo y diseño de una red inalámbrica que mediante tecnología ZigBee efectuará un monitoreo en tiempo real de los niveles de dos de los principales gases que presentan

mayores índices de accidentalidad en el entorno minero; el dióxido de carbono (gas asfixiante) y el metano (gas explosivo). Este diseño permitirá que estos instrumentos portables sean cargados los trabajadores de minas y partiendo de las mediciones que se obtengan con los dispositivos sensores, la información viajará a través de los “Routers” hacia un único “Coordinador” el cual tendrá la función principal de enviar la información al exterior de la mina hacia un equipo denominado “Centro de control de la mina”, en donde se recogerán los datos del monitoreo en tiempo real de dichos niveles de gas. Posteriormente se procesará la información en una base de datos que determinará la fiabilidad de la medición y en el instante en que se detecte que uno de estos peligrosos gases tiene un nivel que puede desencadenar un riesgo o puede ser altamente tóxico para la salud de los trabajadores, se realizará un aviso general para controlar la situación y evitar accidentes de gran magnitud.

II. TEORÍA Y EQUIPOS

ZigBee

ZigBee es una tecnología de tipo inalámbrica, desarrollada como un estándar global de bajo costo y bajo consumo para redes máquina a máquina. El estándar utilizado para el funcionamiento de esta tecnología es la especificación IEEE 802.15.4 en las bandas de 868 MHz, 900 MHz y 2.4 GHz.

La especificación IEEE 802.15.4 se creó en el año 2003 por el instituto de ingenieros Electrónicos y Eléctricos y se basa en ser un protocolo de radio basado en paquetes, cuya implementación y consumo energético son muy bajos, permitiendo entonces la comunicación entre diferentes topologías de redes. Además de esa diversidad de comunicación, ZigBee brinda la fiabilidad a los usuarios de una duración energética de varios años.

ZigBee define principalmente tres dispositivos diferentes respecto al rol de cada uno en la red a implementar (Baronti, 2006):

- Equipo *Coordinador* ZigBee: Este es el dispositivo más importante de la red, ya que actúa como el equipo central encargado de la gestión de la totalidad de la red.
- *Router* ZigBee: Es el dispositivo que se encarga de conectar entre sí a los dispositivos que se encuentren

alejados en la red. En algunos dispositivos *coordinadores* el proceso de redundancia de la información puede ser realizado por el mismo.

- Equipo *Final*: Es el encargado de realizar la comunicación con el nodo del equipo *coordinador* o el equipo de interconexión de nodos. Estos equipos no transmiten información hacia los otros elementos de la red.

Redes en mallas basadas en ZigBee

Una de las principales aplicaciones de ZigBee en comunicaciones es la posibilidad que brinda el protocolo para soportar la implementación de redes en malla, en estas redes los nodos se interconectan entre sí con los otros nodos de la red, de manera tal que existe una gran diversidad de caminos por donde la comunicación puede establecerse de un punto a otro generando redundancia total de la información.

Las redes en malla son descentralizadas desde su conformación, cada nodo tiene la capacidad de descubrirse a sí mismo dentro de la red, en el caso que un nodo desaparezca de la red la topología en malla se reconfigura de forma que se restablecen las rutas de enrutamiento de acuerdo a la nueva topología que tenga la red. Las características de la red en malla brindan la opción de proveer estabilidad en condiciones cambiantes o en nodos que posean conflictos.

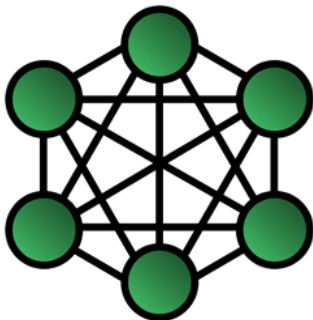


Figura 1, Esquema general topología en malla

XBee y XBee Pro 900

XBee y XBee-PRO son módulos de radio que proveen soluciones de comunicaciones inalámbricas para dispositivos de conexión de último punto. Estos módulos utilizan el protocolo de red IEEE 802.15.4 para comunicaciones punto-multipunto, proporcionando características de baja latencia, bajos costos, bajas potencias, gran facilidad de utilización y total interoperabilidad con todos los productos XBee que utilice la misma tecnología.

Los módulos XBee Pro 900 proporcionan lo mejor en su gama de conectividad inalámbrica, debido a que hacen uso del protocolo de comunicaciones de redes denominado "DigiMesh" con funcionamiento de red de carácter multipunto, especial para proyectos como el que se desarrolla en este documento en donde se plantea una topología en malla. El XBee Pro 900 es un dispositivo de fácil programación mediante el software libre XCTU de Digi.

Algunas de las especificaciones técnicas principales de este dispositivo se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1, Especificaciones técnicas XBee Pro 900

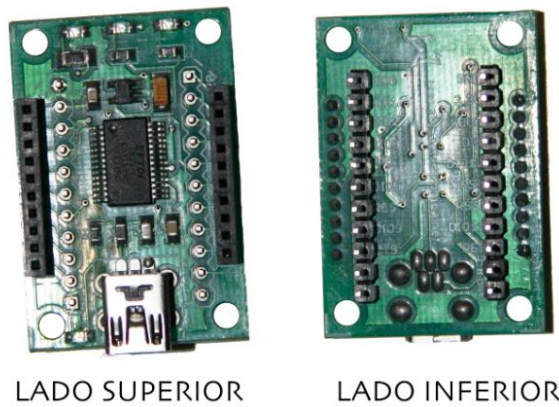
Característica	XBee Pro 900
Banda de Frecuencia	902 hasta 928 MHz
RF Data Rate	10 Kbps o 200 Kbps
Rango en interiores	10Kbps mayor 610m, 200Kbps mayor 305m
Rango en exteriores	10Kbps mayor 14 km, 200Kbps mayor 6.5km
Potencia de transmisión	Superior a 24 dBm (250mW)
Sensitividad de Recepción	-101 dBm a 200Kbps, -110dBm a 10 Kbps
Topologías de red	DigiMesh, Punto a punto, Punto – multipunto, peer to peer, repetidora
Voltaje de alimentación	2.1 hasta 3.6 VDC
Corriente de Transmisión	215mA
Corriente de Recepción	29 mA



Figura 2, XBee Pro 900

XBee Explorer

El XBee Explorer USB permite realizar la conexión de cualquier módulo de la familia XBee directamente a un ordenador realizando la conversión USB a los pines seriales (UART) del módulo, toda la información es recibida al ordenador mediante el puerto USB y los datos son enviados y recibidos posteriormente a través del puerto serie para su posterior almacenamiento o tratamiento. Este dispositivo funciona para los módulos XBee Estándar y XBee Pro, mediante la conexión de esta tarjeta se realiza la programación del módulo XBee específico utilizando el software XCTU de la familia Digi International. En la actualidad numerosas compañías de electrónica fabrican diferentes modelos de este dispositivo, para este proyecto se utilizó el fabricado por la empresa Sigma Electronics ubicada en Bogotá.



LADO SUPERIOR

LADO INFERIOR

Figura 3, Xbee Explorer

Arduino Uno

El “Uno” es una placa electrónica que cuenta con 14 puertos de entradas/salidas en donde 6 son salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos), 6 entradas analógicas, un cristal con frecuencia de 16MHz, posee conexión USB para la conexión al ordenador, conector de alimentación mediante un adaptador de corriente alterna o alimentación mediante baterías que brindan corriente continua.

El nombre “uno” se utilizó para conmemorar el lanzamiento de la primera versión del software de Arduino (IDE), es además el modelo de referencia para la plataforma Arduino.



Figura 4, Tarjeta Arduino Uno

Sensor de Gas Metano MQ4

El MQ4 es un sensor de gas usado comúnmente para la detección de fugas de gas, en diversos ambientes, desde hogares hasta industrias. Tiene la capacidad de detectar Hidrógeno, gas licuado de petróleo, gas metano, monóxido de carbono y alcohol. Este sensor posee la característica de respuesta rápida en el tiempo, tomando las muestras lo más rápido que sea posible. Esta sensibilidad puede ajustarse mediante el uso de un potenciómetro.

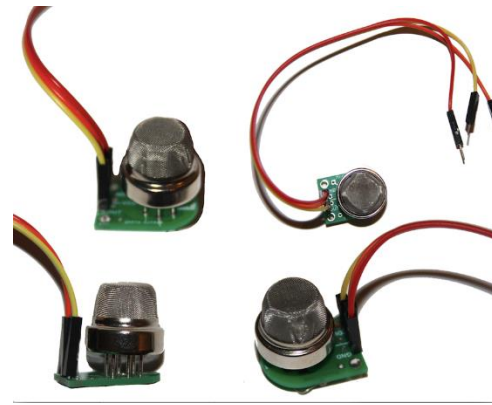


Figura 5, Sensor MQ4

Para la correcta utilización del sensor, se establece que el valor de la resistencia de carga que se utiliza debe estar entre $10K\Omega$ y $47K\Omega$, sin embargo se recomienda que el valor de esta sea de $20K\Omega$.

En la hoja de datos del sensor se caracteriza como un dispositivo que posee su mayor respuesta de sensibilidad al gas metano (CH_4) y va disminuyendo respecto a los otros gases que puede detectar. La característica de Sensibilidad del MQ4 se presenta en la siguiente figura.

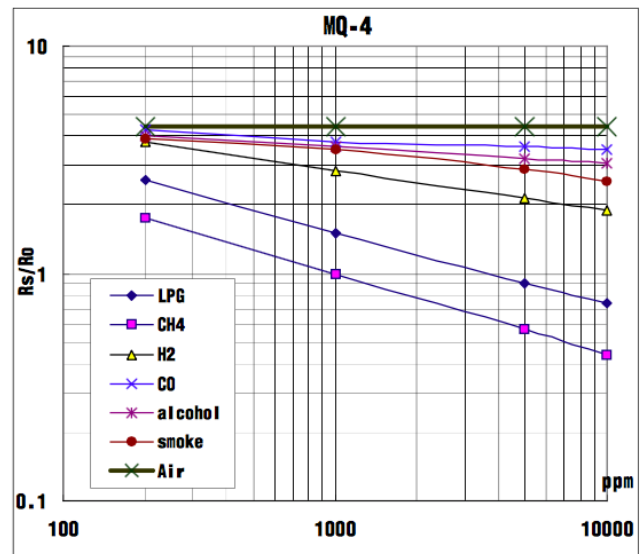


Figura 6, Característica de sensibilidad sensor MQ4

III. DISEÑO DE LA RED

La implementación de la red para la medición de gases se realiza mediante la topología de red en malla, a continuación se presenta un esquema gráfico de la arquitectura propuesta para el proyecto.

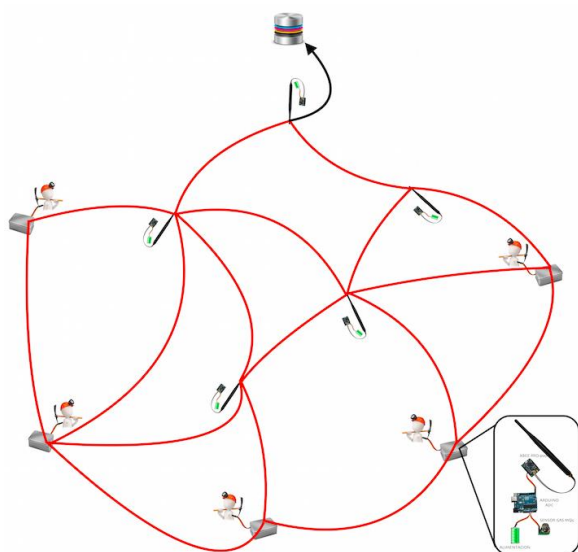


Figura 7, Arquitectura de red a implementar

La red se compone de un equipo que utilizará cada trabajador y lo cargará consigo siempre que esté dentro de la mina; en la figura anterior se representa mediante una caja de color gris, este equipo se compone del sensor de gas MQ4 que obtiene los datos y los envía como información análoga, este sensor está conectado directamente a un puerto análogo de la tarjeta Arduino Uno, la cual cumplirá la función de convertir los datos análogos a digital, posteriormente se crossconecta la salida digital de la tarjeta Arduino con la entrada digital del dispositivo XBee Pro 900 para que este, actuando en configuración de *router* se encargue de realizar la distribución de la información al resto de la red. Estos equipos están alimentados mediante una batería portátil que se conecta a la tarjeta Arduino que alimenta al resto de dispositivos utilizados. Si se desea realizar una medición adicional de algún otro sensor, solo bastaría con conectarlo a la tarjeta Arduino y programar otros puertos de entrada y salida, en este proyecto se estableció que se medirían niveles dióxido de carbono, por lo que se hace necesaria la adquisición de un sensor de este tipo de gas, es el caso del MG811, el cual es el más adecuado debido a su alta sensibilidad en presencia de este gas, sin embargo se generaron varias dificultades para su adquisición, por lo que el sensor principal será el MQ4.

En la siguiente figura se esquematiza el sistema de obtención y transmisión de datos de las mediciones de gases, utilizado por cada trabajador de la mina.

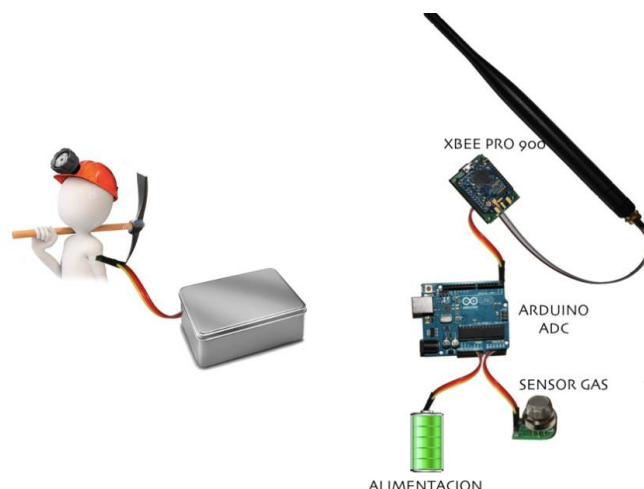


Figura 8, Sistema de obtención y transmisión de medición de gases

A continuación, el XBee Pro se conecta, tanto con los demás sistemas de obtención de datos de los trabajadores cercanos, como con los equipos que actuarán netamente en configuración de *routers*, implementados con menor cantidad de dispositivos; no incluye sensor MQ4 ni la tarjeta Arduino Uno, debido a que únicamente tendrán la función de replicar lo que reciben, generando redundancia total de información, en la siguiente figura se esquematiza el equipo que actuará en configuración de *Router*.



Figura 9, Equipo Router

En la parte superior de la topología de la red caracterizada en la figura 7, se encuentra un último dispositivo que tendrá la misma representación esquemática que el equipo de la figura 9, pero que actuará en modo *Coordinador* y tendrá la función de recibir la información de las mediciones enviadas en la totalidad de la red para su tratamiento y almacenamiento en una base de datos.



Figura 10, Representación de la base de datos de la red

IV. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Las pruebas se realizaron con un encendedor que contiene gas metano, el resultado de la medición al implementar la red se presenta en la figura 11 y figura 12, en estas se puede observar el nivel de medición que entrega el módulo *Xbee número 1* en la consola del programa Arduino, la figura 11 muestra el nivel en un ambiente normal, mientras que la figura 12 muestra el nivel cuando el sensor se encuentra en presencia de alta concentración de gas metano.

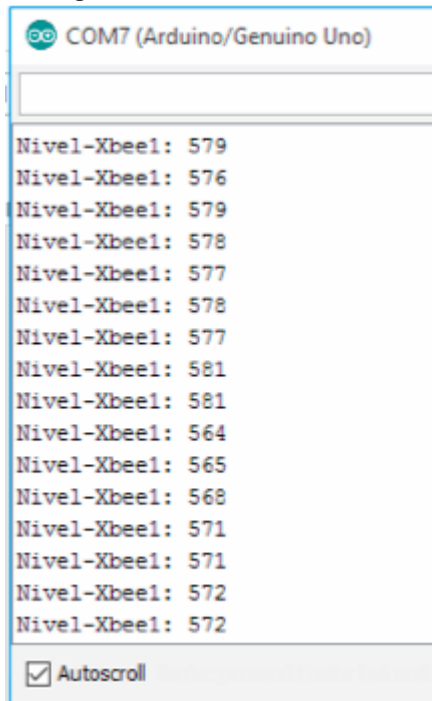


Figura 11, Nivel en ambiente normal

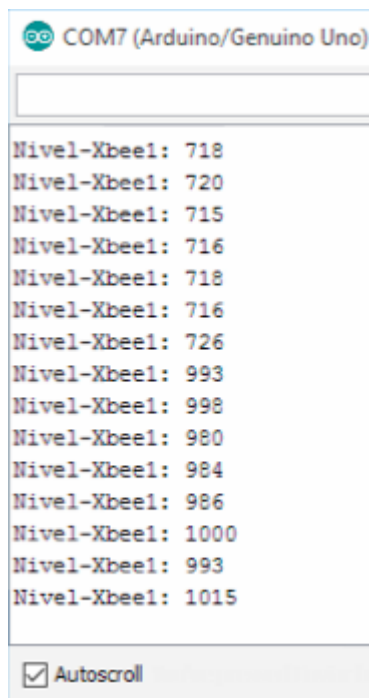


Figura 12, Nivel en presencia de gas metano

Para corroborar el nivel que está midiendo el sensor, se utilizó también el programa XCTU el cual mediante el puerto de comunicaciones del módulo coordinador se posibilitó la opción de visualizar la información suministrada por el sensor en un software diferente al que se utiliza para configurar los módulos XBee. En la figura 13 se muestra la información del nivel cuando ya empieza a disminuir la presencia de gas, comparados en la consola de Arduino y XCTU.

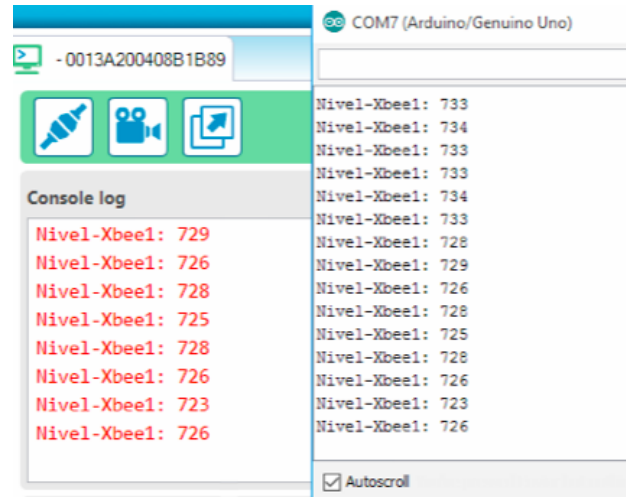


Figura 13, Verificación nivel

Se observa además en los resultados anteriores que el valor mínimo alcanzado por el sensor y mostrado por el XCTU es de alrededor de 1000 y el máximo es de aproximadamente 500, haciendo referencia a unos valores de voltaje mínimo de 2,4v y máximo de 4,7v, de esta forma se establece que es recomendable mantener unos niveles algo menores a 950, ya que si se alcanza este valor sería equivalente a 10.000ppm de CH₄, y un ambiente que permanezca con una medida constante de este valor se considera en riesgo de explosión, para esto se agregó un LED que mostrará el momento en que se supere este nivel y el trabajador pueda estar atento al estado de las mediciones de concentración de CH₄.

V. CONCLUSIONES

Los elevados índices de accidentalidad dentro de las minas ha sido un tema de preocupación general para la industria minera y la protección de la vida en general, por esto las tecnologías de información y las comunicaciones han sido un campo de apoyo para mejorar la seguridad en estos ambientes y brindar diversas soluciones que permitan salvaguardar la vida de los trabajadores al interior de las minas.

La implementación de redes de seguridad para ambientes mineros basadas en tecnologías inalámbricas de bajo costo y alta fiabilidad puede ser una de las soluciones más viables para aumentar los estándares de seguridad de la vida en la labor minera tal y como en este prototipo de red se mostró, el realizar un monitoreo constante de gases como el metano puede generar una mejora en dichos estándares brindando más confianza para los trabajadores de esta importante labor del sector industrial.

La transmisión de los datos brindados por el sensor de gas, implementada mediante tecnología inalámbrica ZigBee resulta ser una de las más adecuadas para la instalación de redes como la propuesta en este documento, ya que este estándar se posiciona por encima de otras tecnologías de su categoría, en aspectos de instalación de redes de monitoreo y control de sistemas, con facultades de fácil programación, implementaciones de diversas topologías de red, y adquisición bajo consumo de energía y alta seguridad en la comunicación.

Android es una herramienta de desarrollo que posee características similares a ZigBee en términos de facilidad de programación e implementación de múltiples sistemas, es por esta razón que la unión de estos es comúnmente utilizada en la industria para aplicaciones de control y monitoreo. En este proyecto se utilizó la tarjeta Arduino para realizar la recolección de la información analógica brindada por el sensor de gas y realizar una conversión de estos datos a formato digital para poder enviarlos al equipo XBee y efectuar la transmisión de la información en la totalidad de la red.

El proceso de calibración del sensor MQ4 se convierte en un paso de relevancia en este proyecto debido a que su sensibilidad es muy elevada a cambios por diferencias en el voltaje de alimentación y factores del ambiente como humedad o temperatura, por esto se establecieron los parámetros de funcionalidad óptimos para que el dispositivo funcionara en la mejor configuración posible, basándonos en los resultados gráficos mostrados en la hoja de datos del fabricante.

VI. REFERENCIAS

- [1] J. Bian, «Application of the Wireless Sensor Network Based on ZigBee Technology in Monitoring System for Coal Mine Safety,» Changchun, 2010.
- [2] D. Y. X. M. H. & W. Y. Wen, «Design of Coal Mine Gas Monitoring System Based on ZigBee,» Harbin, 2011.
- [3] D. C. Y. & W. K. Yang, «A Coal Mine Environmental Monitor System with Localization Function Based on ZigBee-Compliant Platform,» Beijing, 2011.
- [4] H. & L. X. Zhang, «A Localization Algorithm for Miners underground of Coal Mines Based on ZigBee Technology,» Harbin, 2012.
- [5] P. Baronti, «Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards,» Pisa, 2006.
- [6] Digi International, «Digi International,» Enero 2015. [En línea]. Available: <http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee>. [Último acceso: Agosto 2015].
- [7] Arduino, «Arduino,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. [Último acceso: Noviembre 2015].
- [8] Hanwei, «Sparkfun,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>. [Último acceso: Septiembre 2015].