

# Monitor de alerta de fugas de gas

## ***José Ignacio Vega Luna***

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Av. San pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas,  
México D.F., Teléfono: 55-53189552  
*vji@correo.azc.uam.mx*

## ***Mario Alberto Lagos Acosta***

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Av. San pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas,  
México D.F., Teléfono: 55-53189552

## ***Gerardo Salgado Guzmán***

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Av. San pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas,  
México D.F., Teléfono: 55-53189552

## ***Víctor Noé Tapia Vargas***

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Av. San pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas,  
México D.F., Teléfono: 55-53189552

## **Resumen**

En este trabajo se presenta el diseño e implantación de un sistema de alerta de fugas de gas. Esta aplicación está diseñada principalmente para unidades habitacionales. Usando un sensor de gas se toman muestras del aire del ambiente en un departamento y se transmiten inalámbricamente usando transceptores ZigBee al microcontrolador de un módulo central supervisor de la unidad habitacional. Si la concentración de gas en el aire es mayor al umbral establecido por el usuario, se genera una alerta audible. Las alertas se almacenan históricamente en una memoria del tipo Micro SD del módulo central. Las alertas se muestran en una pantalla LCD del módulo supervisor. La implantación y operación del sistema aumentó la seguridad familiar de los habitantes en el inmueble y la confianza para la prevención de desastres.

**Palabra(s) Clave(s):** fugas de gas, micro SD, ZigBee.

## **1. Introducción**

El gas natural y el gas L.P. (gas licuado de petróleo) son una fuente de energía que es comúnmente usada en hogares. El gas natural es una mezcla de hidrocarburos simples que se encuentra en estado gaseoso, bajo condiciones ambientales normales de presión y temperatura [1]. El gas natural es más ligero que el aire (su densidad relativa es 0.61, aire=1.0) y a pesar de sus altos niveles de inflamabilidad y explosividad las fugas o emisiones se disipan rápidamente en las capas superiores de la atmósfera, dificultando la formación de mezclas explosivas en el aire. Esta característica permite su preferencia y explica su uso cada vez más generalizado en instalaciones domésticas e industriales y como carburante en motores de combustión interna. Presenta además ventajas ecológicas ya que al quemarse produce bajos índices de contaminación, en comparación con otros combustibles.

El nombre químico del gas natural es metano ( $\text{CH}_4$ ), ya que su principal componente es el metano, quien es la molécula más simple de los hidrocarburos. Puede contener pequeñas cantidades de etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) y otros hidrocarburos más pesados, aunque también se pueden encontrar trazas de nitrógeno, bióxido de carbono, ácido sulfhídrico y agua. El gas natural no tiene color, sabor, ni olor, por lo que es necesario administrar un odorífico para advertir su presencia en caso de fuga. Debe mantenerse alejado de fuentes de ignición, chispas, flama y calor. Las conexiones eléctricas domésticas o carentes de clasificación son las fuentes de ignición más comunes. Se debe evitar el manejo del gas natural en espacios confinados ya que desplaza al oxígeno disponible para respirar. Su olor característico, por el odorífico utilizado, puede advertir de la presencia de gas en el ambiente; sin embargo, el sentido del olfato se perturba, a tal grado, que es incapaz de alertar cuando existen concentraciones peligrosas [2].

Ya que el gas natural está compuesto principalmente de gas metano y el metano es un compuesto químico altamente inflamable que consiste de una molécula de carbón rodeada por cuatro átomos de hidrógeno, una fuga de gas natural es peligrosa debido a aumenta el riesgo de incendio o explosión, y ser más ligero que el aire, tiende a subir y almacenarse en zonas con poca ventilación. En la Tabla 1 se indican los componentes principales del gas natural.

Componente	%	Número CAS (Chemical Abstracts Service)	LEP (Límite de Exposición Permissible)
Gas Natural (Metano)	88	74-82-8	Asfixiante simple
Etano	9		
Propano	3		
Etíl Mercaptano	17-28 ppm		Odorífico

**Tabla 1. Componentes principales del gas natural.**

Dado que el metano y, por lo tanto, el gas natural no tienen ningún olor, la compañía de gas adiciona una "advertencia" con olor a huevo podrido (mercaptano, un compuesto hecho básicamente con sulfuro) que puede ser detectado fácilmente por la mayoría de las personas. Sin embargo, existen personas que tienen un sentido del olfato disminuido y por tanto no pueden confiar en este mecanismo de seguridad. Un detector de gas es una importante herramienta que ayuda a detectar de fugas [3]. Se pueden usar varios sensores en un hogar, oficina o empresa, de tal forma que al detectarse una fuga, se envíe una señal a un dispositivo de monitoreo que alerte de la misma. En la Fig. 1 se muestra la instalación recomendada de una salida de ventilación en lugares donde existe suministro de gas natural.

Una de las tecnologías de comunicación más comúnmente usada en la actualidad es ZigBee. Esta tecnología es inalámbrica, lo cual implica que no se instale cableado adicional desde el sensor al dispositivo de monitoreo disminuyendo costos y aumentando la facilidad de instalación [4].

ZigBee es una tecnología de comunicación inalámbrica basada en el estándar IEEE 802.15.4 [5]. Fue diseñada para realizar redes de malla con capacidades de ruteo, por lo que se pueden implantar Redes de Área Personal Inalámbrica (Wireless Personal Area Networks-WPAN) y Redes Inalámbricas de Sensores (Wireless Sensor Network-WSN).

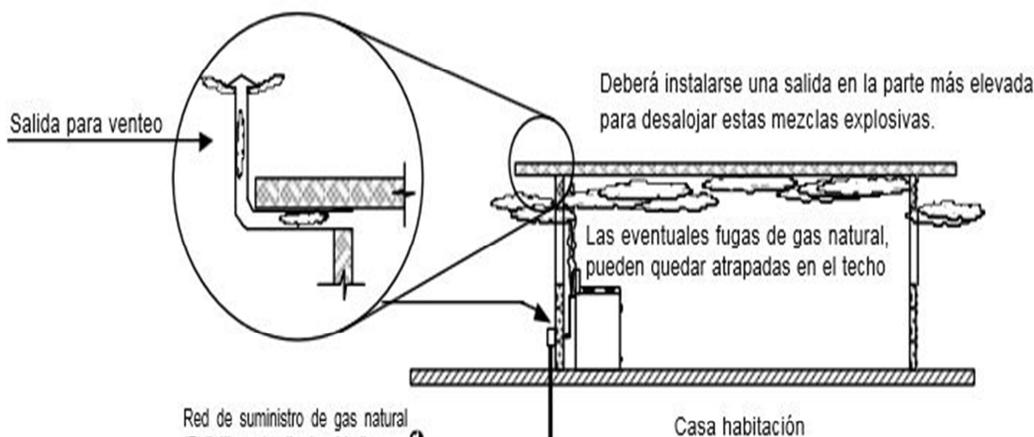


Fig. 1. Almacenamiento de gases.

Las principales topologías de redes de dispositivos ZigBee que se pueden configurar son la topología de estrella, la topología de cluster de árbol y la topología de malla. En todas ellas existe un dispositivo que realiza la función de coordinador. Las principales ventajas de la tecnología ZigBee son las siguientes: arquitectura de red flexible, dispositivos de bajo costo y bajo consumo de energía, la cantidad de nodos que pueden formar una red es muy grande ( $\leq 65,536$ ). Los nodos ZigBee pueden trabajar por periodos muy grandes de tiempo, incluso años, sin tener que cambiar la batería y no requieren licencias para el uso de frecuencias, ya que trabajan en bandas de radio centradas en los 868, 915 y 2400 MHz. disponibles en casi cualquier región del planeta,

siendo la más usada la de 2400 MHz. por ser en la que se transmite a mayor velocidad (250 Kbps.). Las principales desventajas que tiene ZigBee son las siguientes: velocidad de transmisión baja, las distancias alcanzadas son cortas y la existencia de un punto de falla representado por el coordinador de la red ZigBee, razones por las cuales en ciertas aplicaciones se usa otro tipo de conexión alámbrica o inalámbrica [6].

Los transceptores o nodos ZigBee pueden recibir comandos desde un controlador, lo que permite realización de aplicaciones de monitoreo y redes de gran tamaño ZigBee para la comunicación de sensores y actuadores remotos con un sistema de control central donde un operador pueda visualizar la información transmitida. Debido a que ZigBee usa un protocolo seguro de enrutamiento de paquetes, se pueden implantar técnicas de enrutamiento de tráfico para mejorar el rendimiento de las redes ZigBee, así como usar algoritmos de encriptación y autenticación.

En el desarrollo de este trabajo se monitorea el nivel de gas en cinco departamentos de un edificio. En estos departamentos se ubican los sensores en un área donde se tiene mayor probabilidad a una fuga de gas, como se muestra en la Fig. 2. La información leída periódicamente por los sensores de gas es enviada a un controlador central donde puede ser desplegada, almacenada y procesada. Esta información es comparada periódicamente contra el valor de un umbral pre-establecido para alertar al usuario sobre algún problema que podría ser provocado por una fuga de gas.

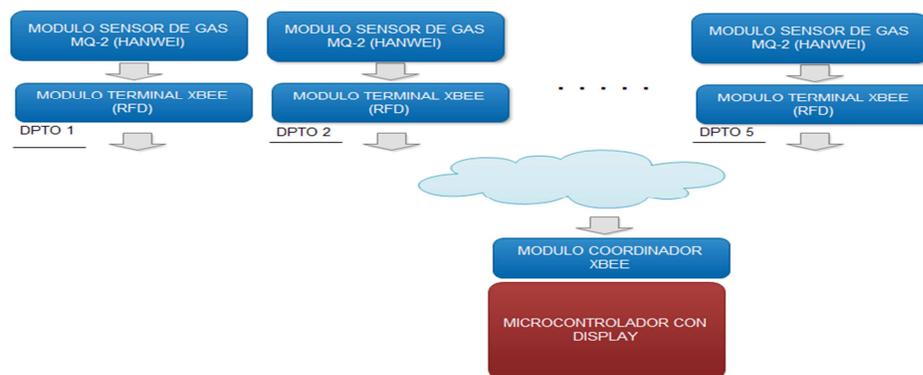


Fig. 2. Diagrama de bloques del sistema completo.

## 2. Desarrollo

Para el desarrollo del sistema se siguió una metodología que consistió en dividir el trabajo en tres módulos funcionales: un sensor remoto de gas, un controlador central y una interface de usuario. La Fig. 3 muestra el diagrama de bloques del sistema completo. A continuación se explicará el funcionamiento de cada módulo y posteriormente la programación del microcontrolador.

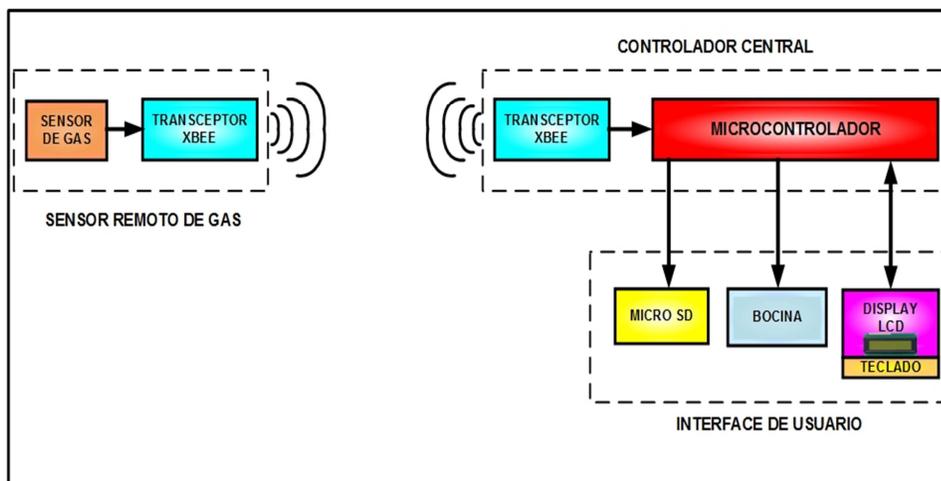


Fig. 3. Diagrama de bloques del sistema completo.

### El sensor remoto de gas

Este módulo del sistema está compuesto por un sensor de gas y un transceptor ZigBee.

El sensor de gas usado es un MQ-2 de Hanwei Electronics Co., el cual ofrece un amplio rango de detección, un circuito de larga vida y estable y respuesta rápida. Es usado en aplicaciones industriales para detección de gas propano, butano, metano, alcohol, hidrogeno y humo [7]. En la Fig. 4 se muestra una vista frontal del sensor MQ-2.

El material con el que está construido el sensor es SnO<sub>2</sub> (óxido de estaño), el cual presenta baja conductividad en ambientes de aire limpio. Al encontrar gas combustible en el ambiente, la conductividad del sensor aumenta conforme aumenta la

concentración de gas, por lo que a su salida debe usarse una resistencia para convertir el cambio de conductividad en una señal analógica de salida de 0 a 5 V DC, que corresponde a la concentración de gas.



**Fig. 4. El sensor MQ-2.**

El MQ-2 puede detectar concentraciones humo y gas combustible de 300 a 10000 ppm (partes por millón), tiene una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta rápido. Se alimenta con 5V DC, trabaja en el rango de temperatura de -10 a 50 °C y su consumo de potencia es menos de 750 mW.

En este módulo del sistema se conectó la salida analógica del sensor a la entrada analógica AD0 del transceptor ZigBee. En la Fig. 5 se muestra una vista trasera del sensor MQ-2 donde se pueden las terminales del mismo.



**Fig. 5. Distribución de terminales del sensor MQ-2.**

El transceptor ZigBee usado en este módulo fue un circuito XBee Serie 2. Los circuitos XBee Serie 2 se pueden configurar en uno de dos modos de operación según su

función en la red: modo coordinador o modo ruteador y en uno de dos modos para transmitir información: modo transparente o AT y modo API. Una red ZigBee debe contar al menos con un nodo coordinador y un nodo ruteador, Este circuito trabaja en la banda de 2.4 GHz con protocolo de comunicación 802.15.4 y puede ajustarse para usarse en redes de configuración punto a punto y punto a multipunto [8]. Son utilizados en automatización de hogares, sistemas de seguridad, monitoreo de sistemas remotos y aparatos domésticos. En este trabajo, el circuito XBee se configuró en modo transparente y como coordinador y su función es convertir la señal analógica recibida en su entrada AD0, a un valor digital y transmitirla inalámbricamente al controlador central del sistema. En la Fig. 6 se muestra el transceptor XBee Serie2 usado en este módulo.



**Fig. 6. Circuito XBee Serie 2.**

La información enviada al controlador central se empaqueta en una trama RF que contiene la dirección origen y la dirección destino de los transceptores XBee. Las tramas RF siguen la estructura de la especificación 802.15.4. La configuración de los circuitos XBee se puede realizar de manera fácil y sencilla desde una computadora personal como lo muestra la imagen de la Fig. 7.



**Fig. 7. Configuración de los circuitos XBee.**

## **El controlador central**

Este módulo está compuesto por un transceptor ZigBee y un microcontrolador.

El transceptor ZigBee usado en este módulo fue un circuito XBee Serie 2 configurado en modo transparente y como ruteador. Su función es convertir la señal de RF recibida desde el sensor remoto de gas a una señal serie digital y entregarla al microcontrolador. La salida DOUT del Puerto Serie del Circuito XBee se conectó a la entrada RXD del Puerto Serie del microcontrolador.

El microcontrolador usado fue un PIC 16F887, el cual cuenta con los siguientes recursos principales: CPU de 8 bits, memoria de programa flash de 8 KBytes, 4 puertos paralelo, un puerto serie EUSART, un módulo PWM de 10 bits y tres temporizadores [9]. Estos recursos fueron suficientes para la programación realizada y conectar al microcontrolador el transceptor ZigBee y la interface de usuario. Su costo es relativamente bajo comparado con otros microcontroladores.

La programación del microcontrolador se realizó de manera tal que continuamente se encuentra realizando dos tareas principales: lee periódicamente la información de su Puerto Serie y atiende la interface de usuario.

Al leer el valor de concentración de gas enviado por el sensor, lo compara con un umbral establecido por el usuario, Al leer el valor de concentración de gas enviado por el sensor, lo compara con un umbral establecido por el usuario, generando una alerta audible y almacenando en una memoria del tipo MicroSD el valor de concentración,

fecha y hora. El umbral recibido desde la interface de usuario es almacenado en la memoria EEPROM del microcontrolador.

La programación del microcontrolador también atiende a la interface de usuario usando un menú de opciones explicadas a continuación

### La interface de usuario

Este módulo está compuesto por un teclado, un display LCD de 4x16, una bocina y un circuito de lectura/escritura a una memoria Micro SD.

En el display LCD se le muestra al usuario un menú de opciones mediante el cual puede realizar dos tareas básicas: establecer el nivel de umbral de la concentración de gas y revisar las alertas registradas históricamente en memoria Micro SD.

Finalmente, el circuito de lectura/escritura a una memoria Micro SD utilizado fue el módulo microSD Card, como el que muestra en la Fig. 8, el cual se conectó al puerto SPI (Serial Peripheral Interface) del microcontrolador.

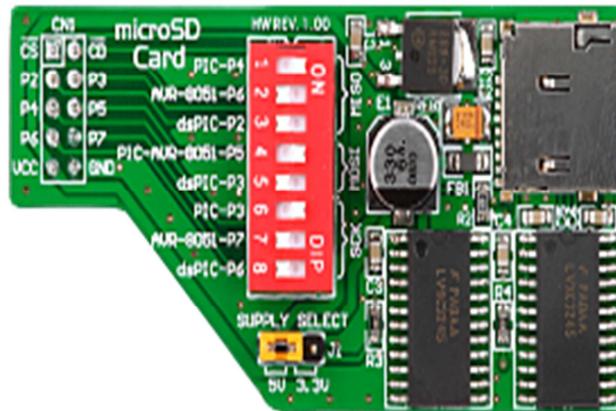


Fig. 8. Módulo microSD Card.

### **3. Resultados**

En la implantación de este trabajo se realizaron cinco módulos sensores remotos de gas. Se llevaron a cabo un conjunto de pruebas de funcionalidad las cuales consistieron en lo siguiente: se localizaron los módulos sensores en diferentes posiciones de cada departamento del edificio para variar la distancia al controlador central; se establecieron diferentes umbrales de concentración permisible de gas y se configuraron los circuitos XBee Serie para que usaran diferentes velocidades de transmisión serie. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: la distancia del controlador central al módulo sensor más lejano fue de 65 metros sin presentarse problemas de comunicación, considerando como obstáculos entre ellos las paredes del edificio. Esta distancia fue un poco menor a los 70 metros especificados por el fabricante del circuito XBee Serie 2. Para probar que se genera una alarma al rebasar los diferentes umbrales de concentración de gas, se abrió la llave de paso del gas para permitir que este sea detectado por los sensores, generándose oportunamente la alarma, este tipo de pruebas fue de riesgo y peligrosa y tuvo que hacerse rápidamente para evitar un accidente. Las velocidades configuradas en las pruebas de transmisión inalámbrica de información fueron de 9600 bps y 250 Kpbs., ésta última es la máxima especificada por el fabricante.

### **4. Discusión**

Para un óptimo funcionamiento del sistema es necesario realizar constantes mantenimientos y pruebas de comunicación entre los miembros del sistema para detectar fallas y corregirlos a tiempo. Una posible extensión de este trabajo es conectar la salida serie del circuito XBee del controlador central a un gateway XBee, esto permitiría enviar la información enviada por el sensor de gas a una red Ethernet conectada a la Internet y desde una computadora personal ubicada remotamente monitorear el nivel de gas medido por el sensor, esto necesitaría realizar una interface de usuario en la computadora para recibir y mostrar la información transmitida por el circuito XBee.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se alcanzó el objetivo planteado, el cual fue crear un dispositivo para monitoreo de gas en el ambiente causado por una fuga o descuido brindando seguridad en el lugar donde se instale el sistema, contando con un sistema de alerta efectivo bajo el estándar IEEE 802.15.4, comercialmente conocido como ZigBee, proporcionando una solución de bajo costo, compacta, de baja complejidad y mínimo consumo de energía para redes con bajas tasas de transmisión en comunicaciones inalámbricas. ZigBee opera en la banda de frecuencia ISM de 2.4 GHz, misma que se encuentra saturada por la utilización de otros dispositivos inalámbricos; sin embargo, las aplicaciones desarrolladas bajo esta tecnología no requieren una comunicación constante, por lo cual los 16 canales con los que cuenta son suficientes para comunicarse apropiadamente.

## 6. Referencias

- [1] D. Ching-Liang, L. Mao-Chen, "Nanoparticle "SnO<sub>2</sub> Gas Sensor with Circuit and Micro Heater on Chip Fabricated Using CMOS-MEMS Technique". NEMS '07. 2<sup>nd</sup>". IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems. Conference Location: Bangkok. No. DOI: 10.1109/NEMS.2007.352177. 16-19 Jan 2007. 959-963 pp.
- [2] V. Jelcic, M. Magno, G. Paci, D. Brunelli, L. Benini, "Design, characterization and management of a wireless sensor network for smart gas monitoring". 4th. IEEE International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces. Conference Location: Savelletri di Fasano. No. DOI: 10.1109/IWASI.2011.6004699. 28-29 June 2011. 115-120 pp.
- [3] L. Haitao, M. Xiaoyi, Y. Yuning, A. J. Mason, "Low Power Multimode Electrochemical Gas Sensor Array System for Wearable Health and Safety Monitoring Sensors". IEEE Journal. Vol. 14. No. 10. 2014. 3391-3399 pp.

- [4] M. Shan, X. Li, Ch. Zhu, J. Zhang, "Gas concentration detection using ultrasonic based on wireless sensor networks". 2nd. International Conference on Information Science and Engineering (ICISE). Conference Location: Hangzhou, China. No. DOI: 10.1109/ICISE.2010.5691425. 4-6 Dec. 2010. 2101-2106 pp.
- [5] C. Kyung, Y. Minjung, "An enhanced key management using ZigBee Pro for wireless sensor networks". International Conference on Information Networking (ICOIN). 2012. 399-403 pp.
- [6] D. A. Vişan, I. Liţă, "Wireless measurement system based on ZigBee transmission technology". 33rd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE). 2010. 464-467 pp.
- [7] MQ-2 Gas Sensor Data Sheet. Hanwei Electronics Co., Ltd. <http://www.hwsensor.com>. 2015.
- [8] ZigBee RF Modules Documentation. Digi International Inc. <http://www.digi.com>. 2015.
- [9] PIC16F887 Data Sheet. Microchip Technology Inc. <http://www.microchip.com>. 2007.

## **7. Autores**

M. en C. José Ignacio Vega Luna obtuvo su título de Maestría en Ciencias de la Computación en la UAM-Azcapotzalco. Sus áreas de especialización y trabajo son: aplicaciones de microcontroladores, UNIX y sistemas de alta disponibilidad. Desde 1985 es Profesor Titular de carrera en la UAM-Azcapotzalco.

Ing. Mario Alberto Lagos Acosta es Ingeniero en Electrónica por la UAM-Azcapotzalco. Sus áreas de especialización y trabajo son: aplicaciones con microprocesadores y microcontroladores. Actualmente es Profesor Asociado en la UAM-Azcapotzalco.

Ing. Gerardo Salgado es Ingeniero en Electrónica por la UAM-Azcapotzalco. Sus áreas de especialización y trabajo son: aplicaciones con microprocesadores y microcontroladores. Actualmente es Profesor Titular en la UAM-Azcapotzalco.

Ing. Víctor Noé Tapia Vargas es Ingeniero en Electrónica por la UAM-Azacapotzalco, cuenta con el 100% de créditos de la Maestría en Ciencias de la Computación en la UAM-Azacapotzalco. Sus áreas de especialización y trabajo son: aplicaciones con microprocesadores, microcontroladores y robótica. Actualmente es Profesor Titular en la UAM-Azacapotzalco.