

Propuesta de un Sistema Embebido Inalámbrico para Monitoreo de un Sensor de Efecto Hall para Aplicaciones Domésticas

Eduardo J. Rodríguez-Alonso², Marco A. Aceves-Fernandez¹, Juan M. Ramos-Arreguín¹, Saúl Tovar-Arriaga¹, J. Carlos Pedraza-Ortega¹, J. Emilio Vargas-Soto¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México, CP. 76230

²CIDEC, Centro de Investigación y Desarrollo Carso, Palma Cocotera 2059, Fracc. Palmares, Querétaro, 76127.
marco.aceves@gmail.com

Resumen

El propósito de este trabajo es definir e implementar una propuesta de un sistema inalámbrico basado en módulos ZigBee para monitorear el nivel de un tanque de gas estacionario doméstico.

Se describió a detalle la implementación del sistema, y se analizaron el efecto de la distancia entre el transmisor y el receptor y la cantidad de paredes que la señal debía atravesar.

Mediante este trabajo, se demostró que el sistema propuesto cuenta con una mayor flexibilidad, facilidad de instalación y confiabilidad que los sistemas comunes, y se provee la base para integrarlo a un sistema domótico más completo como un anexo.

Palabras clave: monitor, gas, inalámbrico, ZigBee.

1. Introducción

Ante la creciente necesidad de integrar una mayor cantidad de información a los sistemas domóticos, se observa que algunos dispositivos domésticos no cuentan con un mecanismo adecuado para integrarse a los sistemas de control y monitoreo, los cuales son el fundamento de una casa inteligente.

Con este trabajo se busca confirmar si el uso de estándares de ultra bajo consumo de energía permite implementar sistemas de monitoreo de nivel de tanques de gas estacionario que ofrezcan múltiples ventajas respecto a sistemas similares existentes que no utilizan estas tecnologías de transmisión de datos.

En particular se determinarán las ventajas y desventajas de usar el estándar inalámbrico ZigBee para transmitir el nivel de gas medido por un sensor de efecto Hall, aplicando técnicas de diseño de experimentos para las mediciones y análisis requeridos.

Se analizarán aspectos relacionados con la integridad de los datos transmitidos, el alcance de la señal, la integración con sistemas domóticos, la facilidad de instalación y configuración, la duración de la batería, la relación del costo total del sistema respecto a las funcionalidades que ofrece, así como las características adicionales que se pueden integrar al sistema de captura y procesamiento de datos.

2. Generalidades de la investigación

2.1 Antecedentes

Se efectuó una investigación sobre sistemas domésticos comercialmente disponibles a nivel mundial para la medición del nivel de tanques de gas estacionario. Se encontraron algunos sistemas que transmitían el nivel de gas de manera alámbrica (Rochester Elga 3340-0001, MideGas-P, CuentaGas Digital), y sólo uno que lo hacía inalámbricamente (RobertShaw RS-228), aunque con reportes de pérdidas frecuentes del enlace inalámbrico.

No se encontraron sistemas que pudieran integrarse como módulos de un sistema domótico completo, o que utilizaran el estándar inalámbrico ZigBee para la transmisión del nivel de gas.

2.2 Arquitectura ZigBee

Zigbee es un estándar inalámbrico abierto, basado en IEEE 802.15.4 y publicado por ZigBee Alliance. Opera en las bandas de 868 MHz (Europa), 915 MHz (Australia y USA), y 2.4 GHz (mayor parte del mundo). Transmite a tasas máximas de 20 kbps (868 MHz), 40 kbps (915 MHz) y 250 kbps (2.4 GHz). Maneja 16 canales y tiene un alcance típico de 10 a 75 m. Incorpora un mecanismo de acceso de doble canal para prevenir puntos de falla dentro de las redes de malla (mesh networks), e implementa esquemas de seguridad en la transmisión. [4], [6]

Generalmente se requieren tres tipos de dispositivos en una red ZigBee: coordinador (coordinator), enrutador (router) y dispositivo terminal (end device). En la figura 1 se muestra una red ZigBee típica. [3]

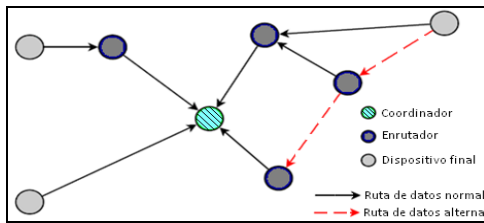


Fig. 1. Arquitectura de ZigBee, red de malla (mesh)[3].

La implementación de este sistema puede ser realizado con otras tecnologías inalámbricas. Sin embargo, la principal contribución de este trabajo es que para sistemas residenciales, el ultra bajo consumo de energía de ZigBee tanto de operación como de espera (standby) hace viable al sistema y barato de implementar. Su principal desventaja es la menor tasa de transmisión, pero en el ambiente doméstico la cantidad de datos que se requiere transmitir es poca, y no se requiere típicamente de actualizarla en tiempo real, por lo cual esta desventaja no es relevante[1].

Una de las características más interesantes de ZigBee es la posibilidad de formar redes de manera dinámica a partir de los nodos existentes (mesh networking), lo cual extiende el alcance de la red y provee mayor confiabilidad de operación en los casos de cambios en la configuración de la red. [3]

2.3 Seguridad en Redes ZigBee

Zigbee usa un esquema simétrico de cifrado con algoritmo de AES 128-bit para proporcionar confidencialidad durante la transmisión de datos. ZigBee también implementa un contador de frescura (freshness counter) para prevenir ataques de repetición, y chequeo de integridad de mensajes para prevenir su modificación. ZigBee no provee de capacidades para verificación de firmas digitales, pero mediante el uso de cifrado de clave pública se pueden implementar esquemas de autenticación. [4]

En el esquema de seguridad de ZigBee se utilizan tres tipos de claves: clave maestra, clave de conexión y clave de red. Una clave maestra es una clave de seguridad de largo plazo entre dos dispositivos, la cual puede registrarse manualmente, estar pre-instalada o ser enviada de manera inalámbrica. Se usa para envíos en la red y generación de claves de cifrado de conexión.

Una clave de conexión provee seguridad en el intercambio de información ente dos dispositivos. Una clave de red provee la seguridad en la red. Las claves de conexión y de red pueden ser pre-instaladas o registradas con apoyo de las claves maestras de red, y pueden ser actualizadas periódicamente. [4]

El centro de confianza ZigBee administra los miembros de la red y la distribución de las claves de cifrado. Opera en dos modos: residencial y comercial. En la figura 2 se muestra el número de claves en ambos modos. El nodo A es el coordinador de red y centro de confianza de red. Los nodos B, C y D son routers, mientras que los nodos E, F, G, H son end devices. [4]

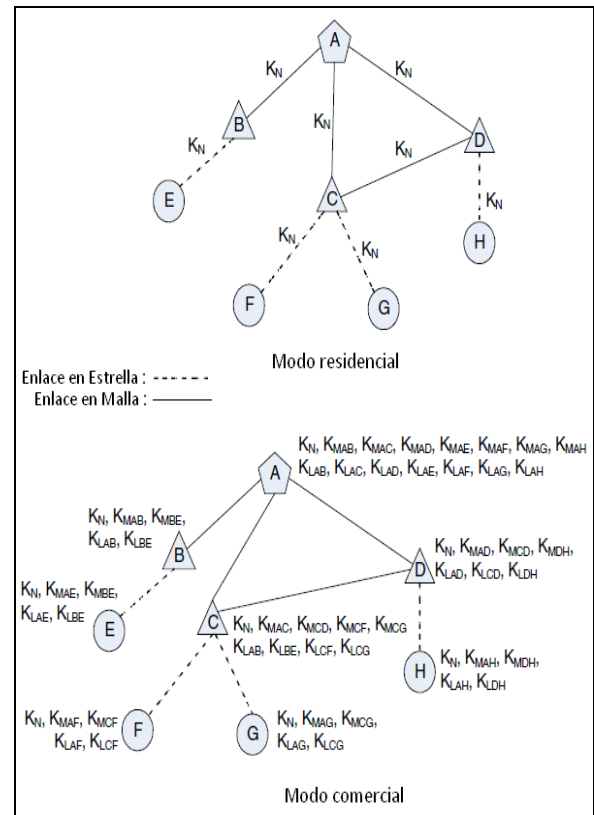


Fig. 2. Claves de cifrado ZigBee en modos residencial y comercial. [4]

En modo residencial sólo se usa una clave de cifrado de red K_N (figura 2), la cual es utilizada por todos los dispositivos de la red. Este esquema requiere pocos recursos del centro de confianza, pero no previene de ataques internos. El modo comercial ofrece mucha mayor seguridad y se emplea en aplicaciones críticas, pero requiere generar más claves y consume mucho más ancho de banda. [4]

3. Diseño e implementación

3.1 Tanques Estacionarios de Gas LP

Los tanques estacionarios domésticos de gas LP (Licuado de Petróleo) son recipientes de acero diseñados especialmente para contener gas LP a alta presión. En México los tanques estacionarios almacenan una mezcla de gas propano y butano (C₄H₁₀) surtida mediante pipas o autotanques. Esta mezcla de gas LP es distinta al gas natural (metano CH₄), el cual es más ligero y se distribuye por medio de tuberías subterráneas. El gas LP se encuentra en forma líquida en la parte inferior del tanque estacionario y en estado de vapor en la parte superior, como se observa en la figura 3. [5]

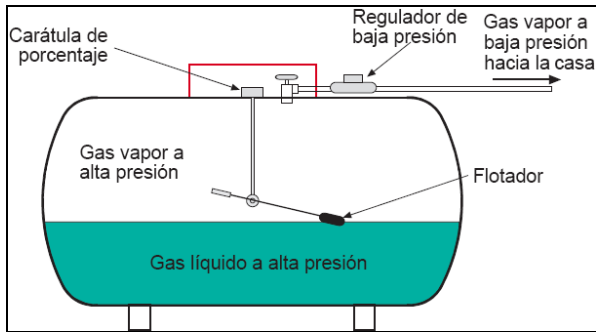


Fig. 3. Almacenamiento del gas LP en un tanque estacionario doméstico. [5]

Todos los tanques estacionarios cuentan con un flotador que descansa sobre la superficie del gas líquido. La varilla del flotador puede variar en tamaño, pues depende del diámetro del tanque estacionario, ya que los engranes deben situarse exactamente en la parte media del tanque estacionario. Los engranes cambian la dirección del movimiento del flotador y lo transmiten a través de una varilla de aluminio hacia la parte superior del tanque en donde un imán es posicionado por el giro de la varilla. Dicho imán se localiza exactamente por debajo de la base de la carátula de porcentaje. [5]

La carátula de porcentaje se atornilla en el exterior del tanque estacionario, sobre la base de la carátula. La cantidad de gas líquido al interior del tanque se indica mediante una aguja metálica que se posiciona por efecto del imán situado al interior del tanque. En la figura 4 se muestra el mecanismo del flotador de un tanque de gas LP estacionario. [5]

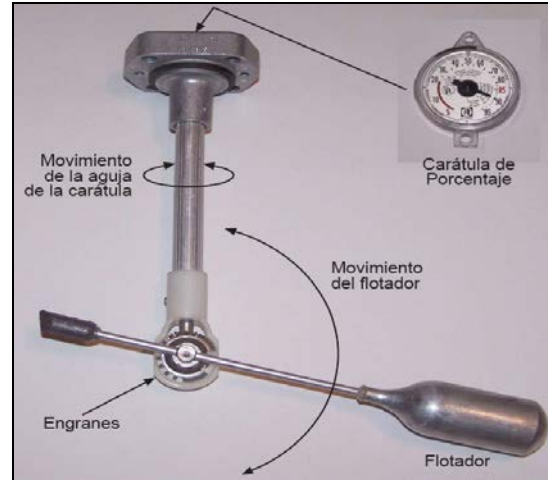


Fig. 4. Mecanismo del flotador de un tanque de gas LP estacionario [5]

3.2 Sensor de Efecto Hall

El efecto Hall es una tecnología de estado sólido que no emplea contactos móviles. La conexión magnética es más confiable que los sistemas que dependen de contactos deslizables y resistores variables. Se fundamenta en el hecho de que un imán desvía el flujo de electrones que se mueve a través de un semiconductor. Esta desviación puede ser detectada y convertida a un voltaje radiométrico de salida proporcional al nivel del gas líquido al interior del tanque [6].

El voltaje radiométrico de salida puede convertirse a frecuencia, a una señal de PWM, o puede ser enviado como un patrón de pulsos digitales, lo cual facilita el uso de sistemas basados en microcontroladores que utilizan transceivers de diversos protocolos para la transmisión de datos y su posterior procesamiento y despliegue.

3.3 Consideraciones del Diseño

Para el desarrollo de la propuesta del sistema de monitoreo del nivel de gas LP del tanque estacionario se deben tomar diversas consideraciones:

- Un tanque estacionario doméstico de gas LP típico tiene una capacidad de 300 lts.
- El ambiente alrededor del tanque es potencialmente explosivo debido a la volatilidad del gas LP. Por ello los sistemas colocados en o cerca del tanque deberán ser sellados y no generar chispas eléctricas al operar.
- Un tanque estacionario generalmente se ubica en lugares ventilados, típicamente en el techo de una casa, expuesto directamente a la acción del clima.
- Debido a que el tanque puede estar colocado en lugares de difícil acceso, el sistema debe ser

altamente confiable y no requerir mantenimiento frecuente. Asimismo, en caso de ser alimentado de manera autónoma, las baterías que alimenten al sistema deben durar varios años

- El nivel transmitido por el sistema no requiere ser actualizado a intervalos cortos, ni se requiere de alta precisión en las lecturas del nivel del tanque.
- Debido a que la distancia entre el tanque y el sistema que despliega las lecturas recibidas puede ser considerable, se deberán tomar en cuenta posibles pérdidas de señal e interferencia dependiendo del canal físico elegido para la transmisión.
- En los casos aplicables la información transmitida deberá incorporar esquemas de seguridad para prevenir lecturas no autorizadas.

3.4 Implementación del Sistema

En base a las consideraciones mencionadas en la sección 3.3, se propone el siguiente sistema:

- El sistema constará de dos partes, una parte de transmisión para generar las lecturas de nivel y transmitir las, y la parte recepción para recibir y desplegar las lecturas del nivel de gas LP.
- El sistema utilizará una carátula con sensor de efecto Hall y salida de voltaje radiométrico, por su confiabilidad y simplicidad de uso.
- El sistema convertirá el voltaje radiométrico de la carátula a señales digitales, mediante un convertidor ADC de 8 bits, el cual proporciona una resolución de alrededor de 0.4% por cada muestra.
- El sistema utilizará las lecturas digitales del nivel de gas LP para ser procesadas por un microcontrolador de 8 bits, elegido por su bajo costo.
- El microcontrolador programará la toma de lecturas y controlará el procesamiento digital y la posterior transmisión inalámbrica de los datos.
- El estándar a utilizar para la transmisión inalámbrica de datos será ZigBee, debido a que está orientado a la implementación de una red de sensores, cubriendo las necesidades de alcance, tasa de transmisión, robustez ante interferencias y seguridad de la información, aunado a un bajo consumo de energía.
- El sistema mostrará en un display LCD el nivel del gas LP del tanque estacionario, actualizando las lecturas a intervalos configurables.
- El sistema deberá estar en modo inactivo la mayor parte del tiempo, despertando a intervalos regulares de 2 horas para tomar lecturas y generar los mensajes apropiados dependiendo de la variación en la lectura.
- En el caso de que no haya variaciones en la lectura, el sistema optimizará la necesidad de transmitir la información de manera inalámbrica.
- La arquitectura del sistema facilitará que otros nodos puedan ser integrados con el fin de construir una red de sensores que permitan generar un sistema

de control más completo para cubrir diversos aspectos de las necesidades domésticas.

En la figura 5 se muestra un diagrama a bloques del sistema de monitoreo propuesto.

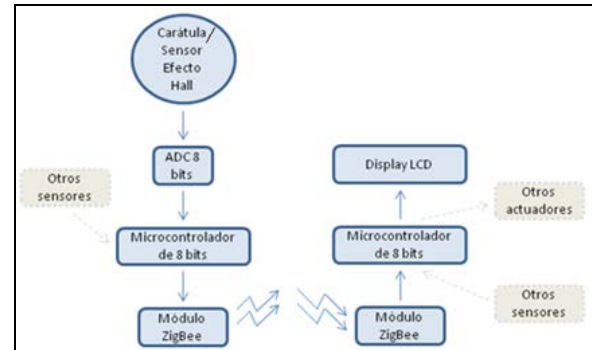


Fig. 5. Diagrama a bloques del sistema de monitoreo propuesto

El sistema se diseñó mediante un esquema de funciones distribuidas, empleando componentes comercialmente disponibles, que pudieran ser montados en un PCB sin usar maquinaria especial, así como programarse y configurarse de manera simple.

Para la medición del nivel de gas se eligió una carátula Rochester DS-1318 con sensor de Efecto Hall, el cual se alimenta típicamente con 5 VDC, para maximizar el rango de medición y la precisión. [7]

El sensor de efecto Hall en la carátula sólo debe energizarse por unos cuantos milisegundos para obtener la lectura del voltaje radiométrico, evitando variaciones en el voltaje de salida debido a la compensación de temperatura al interior del sensor. Para energizar al sensor de efecto Hall se probaron distintos diseños, como alimentación directa del pin del microcontrolador ó transistores. El esquema empleado usa un relevador SunHold MD-5 (cuyas dimensiones y consumo de corriente para la bobina son muy reducidos) directamente conectado a un pin del microcontrolador para suministrar 5 VDC al sensor de efecto Hall. [7]

Para el circuito transmisor se eligió el microcontrolador National COP8SAA720N9 (8-bit, 1KB OTP, 64B RAM, 10MHz, 16 pines I/O). Opera a 5 VDC, sin componentes externos. Su arquitectura Harvard modificada (en la que la memoria EPROM utiliza espacio y buses de direcciones independientes a la memoria RAM, y permite transferir datos de EPROM a RAM), su amplio set de instrucciones, modos de ahorro de energía, baja interferencia electromagnética (EMI), robustez y simplicidad de uso lo hacen ideal para un diseño en espacios reducidos. Para el circuito receptor se eligió el microcontrolador National COP8SGR728N8 (8-bit,

32KB OTP, 512B RAM, 15MHz y 24 pines I/O), suficientes para implementar un centro de control y despliegue de información que opcionalmente pueda incorporar señales provenientes de otros sensores. El diagrama a bloques de los microcontroladores COP8 usados en el sistema se muestra en la figura 6. [8-9]

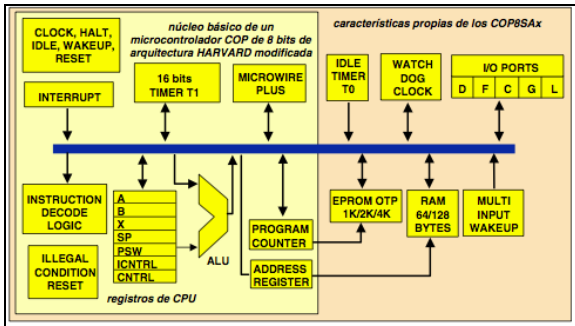


Fig. 6. Arquitectura de los microcontroladores COP8SAx/SGRx [8], [9]

Los módulos XBEE son pequeños y simples de conectar y utilizar. No requieren componentes externos y se comunican por UART con un microcontrolador. Se configuró a 9600 bps la velocidad de transmisión de UART debido a la pequeña cantidad de datos a transmitir, lo cual facilitó el procesamiento de los mensajes de UART. [10]

Un aspecto muy importante a considerar en la selección de módulo XBEE es el tipo de antena a utilizar, pues la recepción de la trama puede depender de la orientación física del transmisor y el receptor. La antena tipo whip fue elegida por su patrón de radiación toroidal que no requiere orientación especial, como puede observarse en la figura 7. [11]

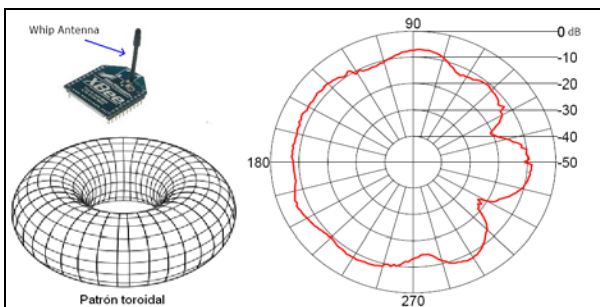


Fig. 7. Patrón de radiación. Antena XBEE tipo whip [7]

Para la transmisión inalámbrica se eligieron módulos ZigBee Digi XBEE-Pro XBP24-BWIT-004 con antena tipo whip, que transmiten en la banda de 2.4GHz a 250kbps y con una potencia de salida de 63mW. Requieren 3.3V para operar [10].

Los prototipos para el transmisor y el receptor se muestran en las figuras 8 y 9, respectivamente.

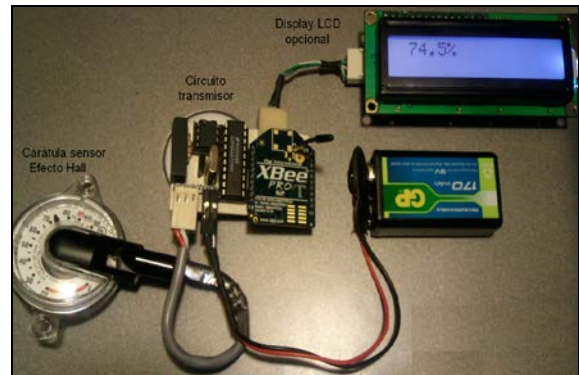


Fig. 8. Diseño del transmisor para el prototipo



Fig. 9. Diseño del receptor para el prototipo

Las tareas que el software embebido en el microcontrolador debe de realizar se listan en el diagrama de la figura 10.

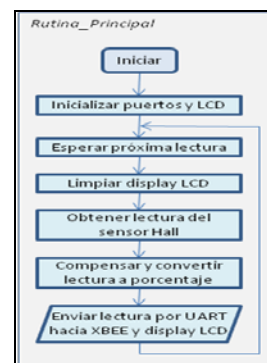


Fig. 10. Diagrama a bloques del software embebido en el transmisor

Las lecturas del UART medidas con un analizador lógico en el microcontrolador del receptor confirman que los bytes transmitidos son recibidos de manera correcta. Esto se observa en la figura 11.

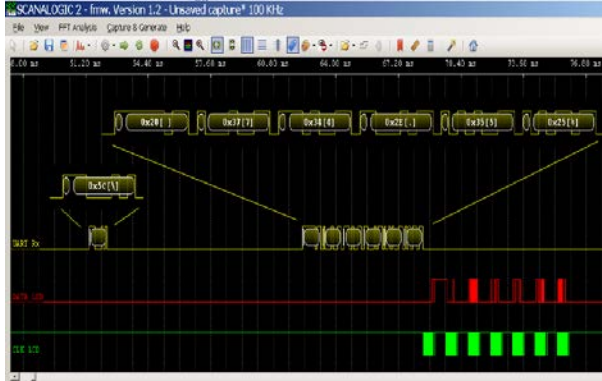


Fig. 11. Decodificación UART de los bytes recibidos del microcontrolador del receptor

3.5 Mediciones de Rendimiento

Se realizó un estudio piloto para caracterizar el rendimiento del sistema propuesto. Esto se realizó analizando el efecto de las variables clave para lograr una recepción exitosa de las lecturas del tanque de gas LP. Las variables clave para este sistema son:

- Distancia entre el transmisor y el receptor. Cuatro distancias fueron medidas (4, 8, 12 y 16 metros).
- Número de paredes/techos entre el transmisor y el receptor (0, 2 o 4).

4. Resultados

Los resultados del estudio piloto se muestran en la tabla 1.

Distancia (m)	Paredes/Techos	Desviación Estándar entre lecturas	
		Lectura 1 (ms)	Lectura 2 (ms)
8	2	9.86	12.32
4	4	28.90	11.02
12	4	3.52	8.59
12	2	12.77	9.12
12	0	7.24	8.74
4	2	114.73	8.62
8	0	9.06	8.75
16	2	3.63	9.32
16	4	67.76	12.35
8	4	8.7	10.75
4	0	8.67	9.53
16	0	3.46	11.12

Tabla 1. Resultados del estudio piloto

En las figuras 12 y 13 se muestra el análisis de los datos obtenidos del estudio piloto.

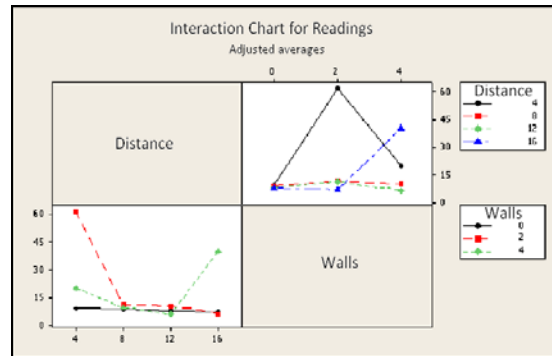


Fig. 12. Gráficos de interacción entre las lecturas medidas

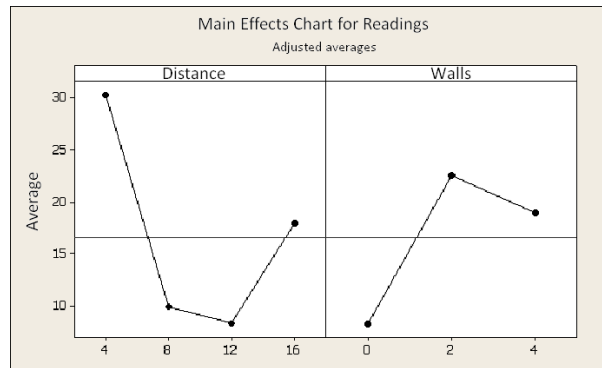


Fig. 13. Gráficos de de efectos principales para las lecturas medidas

De las gráficas anteriores se puede observar una tendencia creciente de la variación estándar del tiempo entre mensajes recibidos ante el incremento en la distancia y el número de muros que la señal debe atravesar para llegar al receptor.

El número de muros representa el factor más significativo debido a que aún a distancias cortas puede influir de manera decisiva en la pérdida de mensajes o el incremento de tiempo entre lecturas, lo cual es un indicativo de la eficiencia del proceso transmisión.

También pudo verificarse con las mediciones efectuadas que el sistema ofrece una gran confiabilidad en la transmisión de información, pues aunque pudiese variar ligeramente el tiempo de recepción del mensaje, para la aplicación deseada de monitoreo del nivel de un tanque de gas estacionario tal variación es no es significativa.

5. Conclusiones y trabajo futuro

De acuerdo a los resultados de la sección 4, es posible concluir que el efecto del número de muros y la distancia en el desempeño de la transmisión en el sistema propuesto no es un factor adverso en un ambiente doméstico típico, ya que las características de la mayoría de las casas-habitación se adecúan al rango de transmisión efectiva del sistema, lo cual garantiza una operación sin pérdida de información.

Se concluye también que el uso de un sistema inalámbrico embebido basado en el estándar ZigBee para monitorear los niveles de gas LP doméstico ofrece múltiples ventajas comparados con un sistema alámbrico tradicional como las siguientes:

- Flexibilidad para colocar el receptor/display en cualquier parte dentro de la casa.
- Facilidad de instalación pues no se necesita de cableado o de secuencias de sincronización complejas.
- Factibilidad de integrarlo a un sistema domótico más complejo.
- Posibilidad de adquirir y transmitir más señales utilizando el mismo módulo XBEE.
- Confiabilidad en la recepción de datos, como pudo ser confirmado en la sección 4.

Como trabajo futuro se propone lo siguiente:

- Diseñar módulos de adquisición de datos domésticos para integrarlo a sistema principal.
- Implementar configuraciones remotas del sistema para poder ser monitoreado desde una PC o un teléfono inteligente o tableta.
- Diseñar una celda solar y un esquema de batería recargable para mejorar la autonomía del sistema.

Referencias

- [1] J. Peng, H. He, P. Zhu, Y. Liu, X. Zhang and Y. Jin. “Zigbee-based new approach to smart home”, *Journal of Shanghai University (English Ed.)*, vol. 14(1). Feb. 2010, pp. 12-16. doi: 10.1007/s11741-010-0103-2.
- [2] H. Kim, B. Jarochoowski and D. Ryu. “A Proposal for a Home-Based Health Monitoring System for the Elderly or Disabled”. *Computer Science*, vol. 4061/2006, pp. 473-479. doi: 10.1007/11788713_71.
- [3] M. Osipov. “Home Automation with ZigBee”, *Computer Science*, vol. 5174/2008, pp. 263-270. doi: 10.1007/978-3-540-85500-2_26.

[4] S. Nguyen and C. Rong. “ZigBee Security Using Identity-Based Cryptography”, *Computer Science*, vol. 4610/2007, pp 3-12. doi 10.1007/978-3-540-73547-2_3.

[5] “Medidor de porcentaje MideGas P”. 2011, pp. 2-13. <http://www.gas-lp.com>.

[6] “Hall Effect Twinsite TS012 for LP Gas Service”. 2009, pp. 1-2. <http://www.rochestergauges.com>

[7] “DS-1318 Hall Effect Twinsites and R3D Hall Effect Module”. Feb. 2010, Rochester Gauges Inc.

[8] “COP8SA Family 8-Bit CMOS ROM Based and One-Time Programmable (OTP) Microcontroller with 1k to 4k Memory, Power On Reset, and Very Small Packaging”. DS012838. Nov. 2000, National Semiconductor Corporation.

[9] “COP8SG Family 8-Bit CMOS ROM Based and OTP Microcontrollers with 8k to 32k Memory, Two Comparators and USART”. DS101317. Oct. 2001, National Semiconductor Corporation.

[10] “XBee ZNet 2.5/XBee PRO Znet 2.5 OEM RF Modules - ZigBee - v1.x4x”. 90000866_C. Nov. 2008, MaxStream.

[11] “XBee & XBee PRO OEM RF Module Antenna Considerations”. XST-AN019a. Sep. 2005, MaxStream.