

**AUTOMATION OF A DRINKING WATER SUPPLY THROUGH OF ZIGBEE
TECHNOLOGY****AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE
A TRAVÉS DE LA TECNOLOGÍA ZIGBEE****PhD. Cristhian Manuel Durán Acevedo, Ing. Ali Xavier Iturriago****Universidad de Pamplona**

Km. 1, Vía Bucaramanga, Pamplona, Colombia, Tel.: +57-7-5685303.

Tel.: +57-7-5685303, Fax: +57-7-5685303, Ext. 164.

E-mail: {cmduran, almartinez}@unipamplona.com

Abstract: This article consists of an industrial application, for the control of process automation through of wireless technology. The system used for the development of the wireless system was based on the ZigBee protocol, which is a powerful tool for optimization of industrial applications. For testing and operation of prototype a process water supply was performed, which performs actions such as: Supply and fill the water tank manually and automatically, acquire data, perform measurements, measured volumes of water and generate historical. The LabView software tool was used for process control and monitoring.

Keywords: Automation, wireless communication, ZigBee, drinking water.

Resumen: Este artículo consiste de una aplicación industrial, para el control y automatización de procesos a través de una tecnología inalámbrica. El sistema utilizado para el desarrollo del sistema inalámbrico fue basado en el protocolo ZigBee, y consiste en una potente herramienta para la optimización de aplicaciones industriales. Para la prueba y el funcionamiento del sistema se realizó un prototipo para un proceso de suministro de agua potable, donde se llevan a cabo acciones como: Suministrar y llenar el tanque de abastecimiento de agua en forma manual y automática, adquirir datos, realizar mediciones de nivel, mediciones de volúmenes de agua y generar históricos. La herramienta computacional LabView fue utilizada para el control y monitoreo del proceso.

Palabras Claves: Automatización, comunicación inalámbrica, *ZigBee*, agua potable.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día las tecnologías inalámbricas han adoptado en el transcurso del tiempo una manera más sencilla y cómoda de utilizar toda clase de dispositivos, con el fin de mejorar los procesos y/ó las aplicaciones en general. Por ejemplo: Para la telefonía móvil, informática casera, sistemas de seguridad, controles de iluminación, automatización de viviendas (Domótica), aparatos domésticos, alarmas de Incendio/CO₂,

monitorización de sistemas remotos, adquisición de datos de un sensor en sistemas embebidos, etc. (Gnad *et al.*, 2008), (Cha., 2010), (Gill *et al.*, 2009), (Seo *et al.*, 2011).

En cuanto a las tecnologías actuales se destacan principalmente las que pertenecen al protocolo IEEE 802.15, las cuales son redes inalámbricas de área personal ó *Wireless Personal Area Networks* (WPAN), que incluyen a *Bluetooth* y *ZigBee* como sistemas que pueden ser usados en aplicaciones de

seguridad y control de procesos (Durán *et al.*, 2011), (Huanga *et al.*, 2011), (Laoudias *et al.*, 2010). En el uso de la tecnología Zigbee se ha llegado al punto que en la actualidad se han realizado aplicaciones en diferentes sectores como en el caso del sector de la automatización industrial (Caro *et al.*, 2005) en sistemas de posicionamiento (Longkang *et al.*, 2011) y hasta en redes inalámbricas, haciendo uso de dispositivos sensoriales (Somov *et al.*, 2011).

El presente trabajo va dirigido a diseñar e implementar un sistema automático a través de tecnología inalámbrica *ZigBee*, para la optimización de un sistema de suministro de agua potable simulado, la cual por su tipo de funcionamiento, justifica la implementación de un sistema para el mejoramiento del proceso del suministro del preciado líquido.

En este sentido, el control por computadora es la herramienta fundamental para poder establecer la comunicación de todo tipo de instrumento y realizar el continuo monitoreo del proceso. En este trabajo, el software utilizado para el desarrollo de la interfaz gráfica fue el LabView 8.6, el cual se acopló con la tecnología *Zigbee* y el proceso a controlar.

2. TECNOLOGÍA ZIGBEE

El protocolo *ZigBee* es un estándar de las comunicaciones inalámbricas diseñado por la empresa *ZigBee Alliance*. Es un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante. El *ZigBee* está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de las redes inalámbricas WPAN, que tiene como objetivo ser implementada en aquellas aplicaciones donde se requieren comunicaciones seguras, confiables, de bajo consumo y coste.

Algunas características del protocolo *ZigBee* son:

- *ZigBee* opera en las bandas libres ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) de 2.4 GHz, en la frecuencia de 868 MHz en Europa y 915 MHz en Estados Unidos.
- Tiene una velocidad de transmisión de 250 Kbps y un rango de cobertura de 10 a 300 metros.
- Es de bajo costo por ser un protocolo simple.
- El consumo de potencia es muy bajo en el momento de transmitir y recibir datos.

- Cada red *ZigBee* tiene un identificador de red único, lo que permite que coexistan varias redes en un mismo canal de comunicación.
- Es un protocolo de comunicación multi-salto, es decir, que se puede establecer comunicación entre dos nodos, aún cuando estos se encuentren fuera del rango de transmisión, siempre y cuando existan otros nodos intermedios que los interconecten. De esta manera se incrementa el área de cobertura de la red.
- Su topología de malla (*mesh*) permite a la red auto recuperarse de problemas en la comunicación, aumentando su confiabilidad.

Existen varias alternativas inalámbricas asequibles a los diseñadores, comparando *ZigBee* con *Bluetooth* y *Wi-Fi*, y que comparten a su vez la banda de 2.4 GHz. Los parámetros mostrados en la Tabla 1 incluyen el estándar que debe seguirse a nivel de la capa dos (es decir el formato de la trama), la máxima velocidad de transmisión, el consumo de corriente típica en transmisión y en “*standby*”, los requisitos de memoria de programa para un dispositivo típico, aplicaciones y opciones de conexión de la red, entre otras características (Chun., 2004). A continuación se muestra una comparación de tecnologías inalámbricas.

Tabla 1: Tecnologías Inalámbricas

Tecnologías Características	ZigBee	Bluetooth	Wi-fi (WLAN)
Estándar	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11
Alcance	70 - 300 m	10 - 100 m	50 - 100 m
Máx. velocidad de TX	250 Kbps	1 Mbps	Hasta 54 Mbps
Consumo de corriente	TX = 35 mA Standby = 3µA	TX = 40 mA Standby = 200mA	TX = >400 mA Standby = 20mA
Memoria de Programa	32-60 KB	>100 KB	>100 KB
Complejidad	Simple	Complejo	Muy complejo
Latencia	30 ms	10 s	3s
Aplicaciones	Sensores, Automatización	WPAN	WLAN
Tipos de Red	Malla, punto a punto, punto a multipunto	Punto a multipunto	Punto a multipunto
Ventajas	Larga duración	Interoperable	Gran ancho de Banda

Tal y como se observa en la tabla, por ejemplo, en cuanto a la tecnología *Zigbee* en términos más exactos, tiene un menor consumo de corriente en modo “*Standby*” de 3 µA, frente a los 200 mA que tiene el *Bluetooth* y a los 20 mA que consume el *Wi-Fi*. Dentro de las características similares entre

Zigbee y *Bluetooth*, se pueden destacar que operan en la misma banda de frecuencias (2.4 GHz), pero con diferencias marcadas en velocidades de transmisión desde 250 Kbps para el *Zigbee* y 1 Mbps para el *Bluetooth*.

3. METODOLOGÍA

Tal y como se observa en la Fig.1, los módulos inalámbricos utilizados para realizar la comunicación bidireccional (es decir, transmisión y recepción de los datos a ser adquiridos), fue mediante dispositivos *XBee* de la Serie 1 modelo IC: 4214A-*XBee*, con capacidad de hasta de 8 entradas y salidas digitales. Los módulos cuentan con la ventaja de tener gran flexibilidad en la configuración del sistema.

Los dispositivos *XBee* utilizados en las pruebas son del fabricante DIGI, el cual es un dispositivo que se comunica con un Microcontrolador PIC16F877A de la casa fabricante Microchip mediante comunicación UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), en español, Transmisor-Receptor Asíncrono Universal. El dispositivo permite eliminar el cable de comunicación entre el PC y dispositivos a controlar.

Dentro de las especificaciones del dispositivo podemos destacar las siguientes:

- Potencia de transmisión: 1mW +0dBm.
- Tasa de datos: 254 Kbps
- Rango de línea de visión: 100 metros.
- Rango de recinto interior: 30 metros.
- Interfaz de datos serial: 3.3 V CMOS UART
- Banda de frecuencia: 2.4 GHz.
- Tasa de comunicación: 120bps a 250 Kbps.
- Control de flujo CTS/RTS, DTR/DSR para ciclos y transferencia completa.
- Voltaje de alimentación: 2.8 a 3.4 Vdc.
- El alcance máximo en campo abierto de los dispositivos es de aproximadamente 100 m, usando la antena con referencia. Este adaptador fue el adecuado para la aplicación, puesto que la distancia necesaria requerida era de 60 mts en campo libre.
- El módulo *XBee* de la Serie 1 también fue escogido por no necesitar muchos componentes externos para su correcto funcionamiento, por su bajo costo en comparación a otros tipos de tecnologías, y por la flexibilidad de utilizar el software para su configuración y programación.



Fig.1: *XBee Serie 1*.

3.1 Configuración de los módulos *XBee*

Inicialmente se realizó la configuración de los módulos *XBee*, mediante el programa X-CTU que hace parte del módulo inalámbrico. Fue necesario configurarlo en el modo transparente con los siguientes parámetros: Sin paridad, sin bit de parada y sin control de flujo.

A continuación se describe la configuración mediante la programación de los dos módulos inalámbricos (Guía de usuario *XBee*, 2005):

a) Para el módulo # 1:

[C] CH - Canal "C".
 [3332] ID - PAN ID (Dirección de la PAN "3332").
 [5678] DL - Dirección Destino Baja (Dirección de destino "5678").
 [1234] MY - Dirección Origen 16-bit (Dirección origen "1234").
 Baud: 9600.

b) Para el módulo # 2:

[C] CH - Canal "C".
 [3332] ID - PAN ID (Dirección de la PAN "3332").
 [1234] DL - Dirección Destino Baja (Dirección de destino "1234").
 [5678] MY - Dirección Origen 16-bit (Dirección origen "5678").
 Baud: 9600.

Para el correcto funcionamiento del sistema inalámbrico, fue necesario cambiar el UART de comunicaciones, a la misma velocidad a la que fueron configurados los microcontroladores.

3.2 Comunicación entre el PC y los dispositivos

Para establecer la comunicación por USB (*Universal Serial Bus*) con los dispositivos inalámbricos se utilizó la transferencia

bidireccional masiva de información (*Bulk Transfer*). La transferencia bidireccional permite la transmisión de datos de alta velocidad de 12Mb/s, y están diseñadas para soportar aquellos dispositivos que precisan enviar o recibir grandes cantidades de datos.

Debido a que toda la información se trasmite y recibe entre los módulos *Xbee*, e interactúan con el PC a través del puerto USB, se consideró que el software *LabView* fuera acondicionado con los drivers necesarios, disminuyendo de esta forma los problemas de comunicación y asegurando el enlace con el módulo inalámbrico. Para realizar el enlace entre el software *LabView* y el microcontrolador fue necesaria la instalación de un paquete de drivers, donde se tradujeron las instrucciones al lenguaje gráfico y se acondicionaron las variables de entrada y salida.

En *LabView* una función manejaba la librería suministrada por la empresa Microchip (es decir, la *mpusbapi.dll*) de manera directa y sin intermediarios, utilizando la instrucción “*Call Library Function Node*”; con esto se generaría la comunicación entre el *LabView* y el microcontrolador en forma adecuada. En la Fig. 2 se ilustra el diagrama donde se ilustra la comunicación del PC con el software *Labview*, el microcontrolador, una tarjeta de adquisición de datos y los dispositivos inalámbricos.

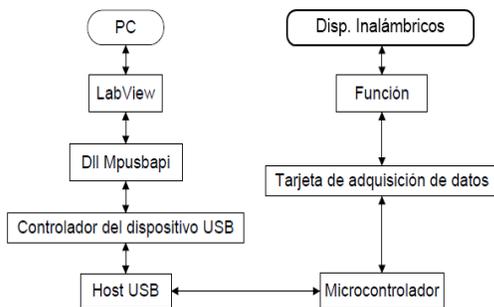


Fig.2: Comunicación del PC con los dispositivos Inalámbricos.

3.3. Control del proceso de llenado del tanque

Para el control de suministro de agua en el tanque se emplearon dispositivos de control y automatización, con el objetivo de mantener en funcionamiento el sistema sin necesidad de la intervención humana, utilizando la interfaz grafica en *LabView* asociado al control manual y automático.

Tal y como se observa en la Fig.3, el proceso consiste de un tanque que interactúa con un sensor de nivel analógico y digital, una electrobomba, una electroválvula y otros componentes esenciales para el buen funcionamiento del sistema.

El tanque fue construido totalmente en vidrio, cuyas medidas fueron las siguientes: 19 cm de ancho, 19 cm de ancho y 16.5 cm de altura. El sensor de nivel de tipo analógico para la detección de nivel bajo y alto, fue desarrollado a partir de un potenciómetro lineal de 10 kΩ, el cual fue acondicionado como un eje a una polea, donde una cuerda en un extremo sostenía a un flotador de plástico dentro del contenedor y en el otro extremo un contrapeso.

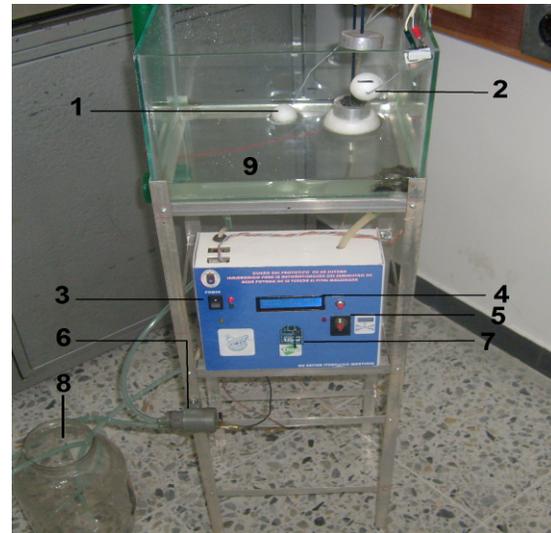


Fig.3: Proceso simulado (Suministro de agua potable).

El sensor digital compuesto de un final de carrera fue ubicado como indicador y control del nivel alto, para protección contra posibles fallos (es decir, rebose del líquido).

Para el llenado del tanque contenedor se utilizó una bomba rotatoria de 12 VDC y una electroválvula tipo *ON/OFF*, fue ubicada para evacuar el contenido del tanque una vez se haya llenado completamente. La electroválvula fue alimentada con 24 VDC, por lo que fue requerido un circuito de potencia.

A continuación se relacionan los elementos que hacen parte del proceso:

1. Sensor de nivel 1 (análogo)
2. Sensor de nivel 2 (digital)
3. Power.

4. LCD.
5. Electroválvula.
6. Bomba.
7. Modulo inalámbrico XBee.
8. Recipiente de abastecimiento de agua.
9. Tanque contenedor.

La Fig.4 ilustra el esquema general del sistema inalámbrico, con todos los componentes que realizan el respectivo control y supervisión del proceso de suministro de agua potable, a través de los dispositivos *XBee*.

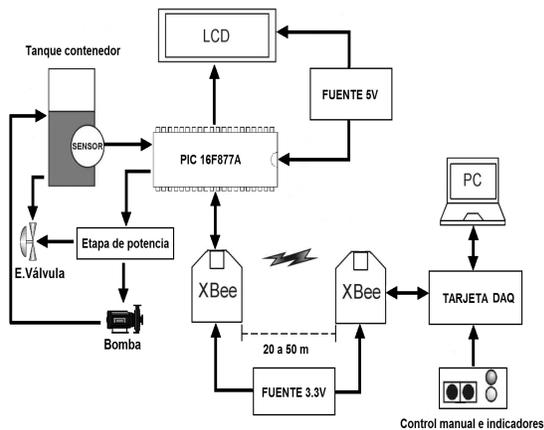


Fig.4. Esquema general del sistema inalámbrico.

Este esquema básico fue basado de un proceso real de suministro de agua potable (Es decir, de la Vereda "El Pital" del Municipio del Magdalena en Colombia), el cual consiste principalmente de un tanque contenedor, donde al iniciar el proceso se activa la bomba en forma automática ya que los sensores registran que el recipiente se encuentra en un nivel bajo, por que a medida que se va aumentando el nivel de agua, el mecanismo de la polea enviará una señal análoga al microcontrolador PIC16F877A.

Así de esta forma el microcontrolador permite digitalizar esta señal análoga de datos, para poder enviarla al módulo inalámbrico por comunicación serial USART (*Universal Synchronous/Asynchronous Receiver Transmitter*) en español Transmisor y Receptor Sincrónico/Asincrónico Universal.

El otro microcontrolador PIC16F877A, el cual es integrado al módulo receptor *XBee*, transmite la señal a otro dispositivo que recibe la información para ser capturada a través de una pequeña tarjeta de adquisición, el cual registra la información a la interfaz grafica de *LabView*.

3.4 Proceso de suministro de agua

En condiciones iniciales el tanque está vacío, y el llenado se realiza directamente desde un tanque de abastecimiento de agua. Luego, para realizar el suministro de agua, la electroválvula (V1) se activa por medio de temporizaciones para dejar pasar el fluido de agua. Cuando el sensor de nivel del tanque superior detecta su máximo nivel, envía una señal que indica la desactivación de la bomba (P1), y de esta forma realiza el llenado correspondiente.

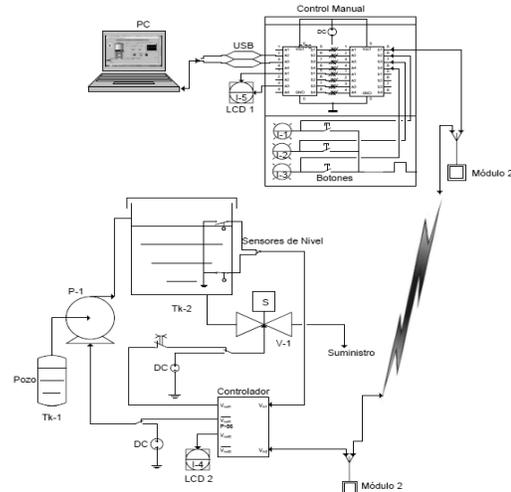


Fig.5: Diagrama de control general
Del proceso y módulos *Xbee*.

En el control manual, el sistema lo integra un pequeño panel de control como se muestra en las Figuras 5 y 6, donde tiene una serie de accionamientos (Es decir, pulsadores) para ejecutar las acciones de control que el usuario requiera, ya sea para la activación de la bomba el cual realiza el llenado del tanque, para la activación de la electroválvula que da el paso del agua y también para detener el sistema en caso de alguna emergencia. Estos pulsadores también se pueden accionar desde la interface, donde también se adquieren y se registran los datos referentes al proceso.



Fig.6: Control manual del sistema.

3.5 Instrumentación virtual para el monitoreo

Los sistemas de supervisión y control son aplicaciones de software, diseñados con la finalidad de adquirir información, controlar, monitorear y supervisar procesos industriales desde sitios remotos. La herramienta utilizada para el control del proceso fue el *Labview* versión 8.6 de *National Instruments*.

4. RESULTADOS

La función principal de la interfaz de usuario fue monitorear y controlar constantemente el proceso, realizar los cálculos con la información proveniente de los sensores, almacenar los datos y a su vez observar las mediciones del proceso (Ver Figuras 7, 8 y 9).

Para asegurar el correcto funcionamiento de los módulos de radiofrecuencia *XBee* se utilizó el programa *X-CTU*, donde se verificó la configuración de los dispositivos y el puerto del ordenador, estableciendo la comunicación entre los módulos, para la comprobación de la transmisión/recepción de datos en forma inalámbrica, la potencia y calidad de la transmisión. El programa se acondicionó con todas las funciones necesarias, donde se observaron en forma adecuada las respuestas de cada una de las variables del proceso.



Fig.7: Implementación y funcionamiento del control manual con la interfaz de usuario.

La manera de comprobar el funcionamiento de la interfaz de usuario y la comunicación inalámbrica, fue a través de la ejecución de la plataforma *LabView*, el cual proporcionó flexibilidad al

usuario y sobre todo brindó una visión general del proceso adecuadamente, representando la información a través de los datos en forma óptima. La compilación de la programación basada en lenguaje gráfico, al mismo tiempo aseguró el manejo de las variables provenientes de los sensores.

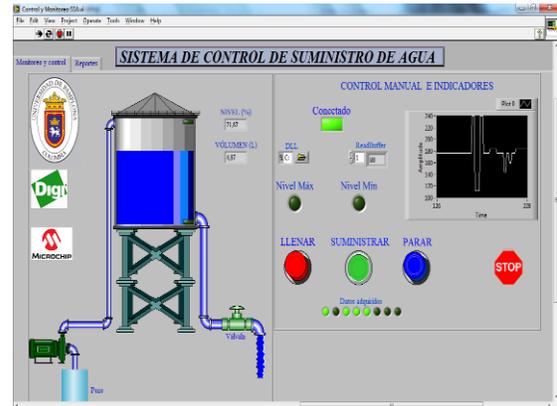


Fig.8: Ventana del proceso.

El control manual del sistema fue llevado a cabo mediante pulsadores que realizaron las interrupciones para ejecutar las acciones de control, con el fin de que el usuario tuviera el privilegio de llevar a cabo dicha acción en caso que fuese conveniente. Además el control realizado por el usuario, daba la posibilidad de realizar acciones en el proceso desde el control manual y la interfaz gráfica.



Fig.9: Ventana del registro de históricos.

Tal y como lo ilustra la figura 9, otra función que fue importante en la interfaz gráfica y para el proceso, fue el registro de históricos y alarmas ya que facilitó al usuario una visión más clara del comportamiento de cada una de las variables de Entrada/Salida, que hacen parte del proceso de suministro de agua potable.

5. CONCLUSIONES

En el desarrollo de este trabajo fue introducido el estándar basado en tecnología *Zigbee*, como una herramienta versátil para la automatización de procesos desde un sitio remoto, en donde se describieron las generalidades asociadas a este estándar, sus limitaciones y comparación con otros tipos de tecnologías disponibles.

Se logró identificar que los módulos con tecnología *Zigbee*, son dispositivos que tienen una funcionalidad variada, a pesar del tamaño reducido que presentan permitiendo un ahorro significativo de energía.

Los módulos *XBee* de la serie 1, tienen una capacidad limitada en comparación con una serie posterior, sin embargo para el desarrollo de este proyecto no hubo la necesidad de implementar otra y se obtuvieron resultados importantes.

Todas las etapas realizadas en el control automático, en la medición de nivel, para el control del volumen de agua, la adquisición de datos y la utilización de la herramienta computacional *LabView*, permitieron en forma confiable la integración de todo el sistema inalámbrico, proporcionando un fácil manejo para el monitoreo y el control del proceso de suministro de agua.

La aplicación simulada demostró una muy buena adaptabilidad a los módulos inalámbricos, comprobando que ésta tiene posibilidad de aplicarse en procesos reales y logrando la implementación posterior a una escala real, llegando a alcanzar una distancia de comunicación de 100 metros a campo libre.

El uso de varias herramientas como los microcontroladores, módulos inalámbricos y la interfaz gráfica, abre en un futuro un abanico mayor de posibilidades en cuanto a realizar aplicaciones con estos sistemas más flexibles y robustos.

REFERENCIAS

- Gnad. A et al. "Relevant influences in wireless automation". WFCS 2008. IEEE International Workshop, 2008, pp. 341 – 348.
- Cha. H.K. "Agent-Based Factory Level Wireless Local Positioning System With ZigBee Technology". IEEE Systems Journal, Vol. 4, no. 2, pp. 179 – 185, 2010.
- Gill. K. S. Yang, F. Yao and X. Lu. "A zigbee-based home automation system, IEEE Transactions on". Vol. 55, no. 2, pp. 422 – 430, 2009.
- Seo. H, C.Kim, H. Kim. "ZigBee security for Home automation using attribute-based cryptography". Consumer Electronics (ICCE), 2011 IEEE International Conference on, 2011, pp. 367 – 368.
- Durán. C. y Castro. R, "Comunicación Inalámbrica basada en Tecnología Bluetooth para la Automatización de Procesos Industriales". Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación (SAAEI'11), Badajoz, 6 de Julio, 2011.
- Huanga, L.C. et al. "ZigBee-based monitoring and protection system for building electrical safety". Energy and Buildings, Vol. 43, pp. 1418–1426, June 2011.
- Laoudias. C. and C. Psychalinos, "Filtro complejo con espejos de corriente de baja tensión Bluetooth / ZigBee". Circuitos y Sistemas (ISCAS) 2010, pp.1268-1271.
- Caro. D et al. "Wireless Networks for industrial Automation", 2nd Edition, ISA–The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2005. pp. 112.
- Longkang.W et al. "Zigbee-Based Positioning System For Coal Miners". Procedia Engineering, Vol. 26, pp. 2406-2414, December 2011.
- Somov. A et al. "Development of wireless sensor network for combustible gas monitoring". Sensors and Actuators A: Physical. Vol. 171, pp.398– 405, July 2011.
- Chun. J. Xiaoyu, L.Zuqiu. "Analysis and Comparison of ZigBee and Bluetooth". Information Technology & Standardization, 2004, pp.17-20.
- Microchip Inc, <http://www.microchip.com>.
- Guía de usuario XBee. Series 1 y 2, 2005. <http://www.olimex.cl>.