

## PROPUESTA DE APLICACIÓN “MEDICIÓN DEL CONSUMO DE AGUA DOMICILIARIA” UTILIZANDO TECNOLOGIA INALÁMBRICA ZIGBEE

### Proposal to apply "measurements of water consumption at home" uses ZigBee wireless technology

#### RESUMEN

Este artículo presenta la introducción y una propuesta de aplicación a la tecnología inalámbrica ZigBee, que a pesar de sus grandes beneficios es poco conocida. Esta tecnología maneja velocidades de transmisión entre 20 y 250 Kbps, funcionando en la banda sin licencia de 2,4 GHz, para enlaces cuyo alcance supera los 50 metros.

La aplicación pretende automatizar el sistema de medición del consumo de agua a nivel residencial, proceso que en la actualidad se realiza de modo manual.

**PALABRAS CLAVES:** Efecto Hall, GHz, GPRS, Inalámbrica, Kbps.

#### ABSTRACT

*This article presents the introduction and implementation of a proposal to the ZigBee wireless technology, which despite its great benefits is little known. This technology handles transmission speeds between 20 and 250 Kbps, running in the banda unlicensed 2.4 GHz, for links whose scope exceeds 50 metres.*

*The application seeks to automate the measurement system of water consumption for residential level, a process which currently takes place in manual mode.*

**KEYWORDS:** Hall Effect, GHz, GPRS, Wireless, Kbps.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) ha desarrollado una cantidad de estándares para la industria, entre ellos se pueden encontrar, los que corresponden a aplicaciones de acceso a Internet de banda ancha 802.11 (para comunicaciones inalámbricas en área local o Wireless LAN) y 802.16 (comunicaciones en área metropolitana o WiMAX).

ZigBee es un protocolo que usa el 802.15.4 y es impulsado por ZigBee Alliance, un grupo de empresas, la mayoría fabricantes de semiconductores, que trabajan de manera conjunta en el desarrollo de este protocolo para aplicaciones comerciales e industriales de baja tasa de transferencia de datos y conectividad simple, teniendo en mente el uso de baterías en los dispositivos.

#### JOSÉ ANDRÉS CHAVES OSORIO

Ingeniero Electricista.  
Universidad Tecnológica de Pereira.  
Especialista en Pedagogía.  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia.  
Candidato a Magíster en Instrumentación Física.  
Universidad Tecnológica de Pereira.  
Profesor Asistente.  
Universidad Tecnológica de Pereira.  
jachaves@utp.edu.co

#### HUGO BALDOMIRO CANO GARZÓN

Ingeniero Electricista.  
Universidad Tecnológica de Pereira.  
Especialista.  
Convenio UTP - EAN.  
Candidato a Magíster en Instrumentación Física.  
Universidad Tecnológica de Pereira.  
Profesor Auxiliar.  
Universidad Tecnológica de Pereira.  
hbcano@utp.edu.co

#### ESTEBAN ELIAS GIRALDO

Tecnólogo en Electricidad.  
Universidad Tecnológica de Pereira.  
Profesor Auxiliar.  
Universidad Tecnológica de Pereira.  
estebang@utp.edu.co

Las bandas de frecuencia definidas para este estándar son aquellas clasificadas como de uso Industrial, Científico y Médico (ISM): 868-868,8 MHz; 902-928 MHz, ó también 2,4-2,4835 GHz. Si bien esta última (2,4 GHz) ha crecido en popularidad alrededor del mundo, el uso de las dos primeras es más frecuente en Europa, Estados Unidos y Canadá.

El ancho de banda definido por el estándar 802.15.4 es de 5 MHz en la banda de 2,4 GHz<sup>1</sup> (aunque en la práctica sólo se usan 2 MHz) y la tasa de transferencia de datos máxima es de 250 Kbps. Además, especifica el uso de "Direct Sequence Spread Spectrum" (DSSS) y el uso de modulación O-QPSK (Offset Quadrature Phase Shift

<sup>1</sup> www.digi.com/support/supporttype.jsptp=1 [1]

Keying) con forma de pulso de media onda sinusoidal para la modulación de la frecuencia portadora.

802.15.4 permite configuraciones "punto a punto" o "punto a multipunto". Una aplicación típica requiere un coordinador que se conecta con varios puntos remotos, como lo muestra la figura 1.

Algunos fabricantes de equipos permiten la comunicación P2P (peer-to-peer) sin requerir del coordinador, aún cuando 802.15.4 lo estipula como necesario.

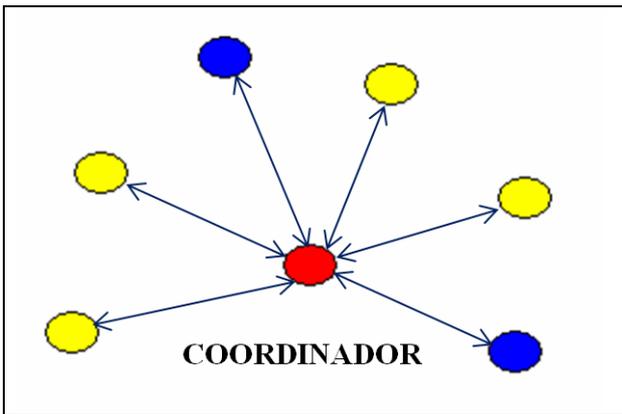


Figura 1. Configuración de comunicación típica

**2. TECNOLOGÍA ZIGBEE**

La tecnología ZigBee tuvo su primera aparición en la industria en el año 2004, y su puesta a punto se dió hasta el año 2006.

Al igual que Bluetooth (diente azul), el origen del nombre ZigBee es un poco rebuscado, pero la idea se generó al observar lo que sucede en una colmena, en donde los insectos se comunican mientras vuelan alrededor del panal. De acuerdo a los naturalistas una parte de la comunicación se produce a través del zumbido producido por las abejas.

ZigBee (zumbido de abejas) se define como el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, está basada en el estándar IEEE 802.15.4, acceso físico y capa de acceso a los medios de comunicación (Physical Layer (PHY) y Media Access Layer (MAC)) de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN)<sup>2</sup>. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

ZigBee además de tener un radio transmisor/receptor, tiene un microcontrolador que puede ser programado según las necesidades, evitando la construcción de interfaces con otros dispositivos, y la utilización de más hardware. Asimismo, incorpora la creación de redes en malla (Mesh Networking), que permiten el uso de los propios dispositivos de la red para traspasar información entre puntos que no tienen comunicación directa, como lo ilustra la figura 2.

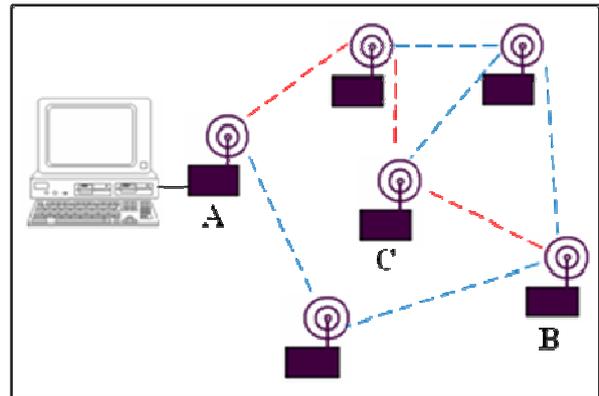


Figura 2. Mesh Networking

En el ejemplo de la figura 2, la distancia entre los puntos A y B es muy grande, quedando los equipos fuera del alcance propio del sistema de radio, por lo que, para establecer la comunicación entre A y B (camino rojo), se puede realizar la conexión a través del dispositivo C e inclusive otros dispositivos de ser necesario. Esto se hace en forma automática sin requerir la intervención del usuario, permitiendo, por ejemplo, que si se remueve el dispositivo C, el sistema buscará automáticamente otro camino.

Como la tecnología ZigBee fue diseñada para aplicaciones de bajo consumo, se enmarca con facilidad en los sistemas embebidos, mercado donde la versatilidad y confiabilidad son importantes, sin grandes requerimientos de ancho de banda.

La tabla 1 muestra una comparación entre ZigBee y otras tecnologías inalámbricas de uso común.

Tecnología	Ancho de Banda	Consumo de corriente
Wi-Fi	54 Mbps	400 mA transmitiendo, 20 mA en reposo
Bluetooth	1 Mbps	40 mA transmitiendo, 0,2 mA en reposo
ZigBee	250 kbps	30 mA transmitiendo, 3,0 uA

<sup>2</sup> Adams, Jon; Bob Heile (2005-10). Busy as a ZigBee. [IEEE] [2]

		en reposo
--	--	-----------

Tabla 1: Comparación de algunas tecnologías Wireless

## 2.1 Dispositivos dentro de una red ZigBee

Se definen tres tipos distintos de dispositivos ZigBee según su papel en la red:

*Coordinador ZigBee (ZC)*. Es el tipo de dispositivo más completo, debe existir uno por red. Entre sus funciones se destaca la de ser el encargado de controlar la red y los caminos o rutas que se deben seguir para la comunicación entre los dispositivos.

*Router ZigBee (ZR)*. Interconecta dispositivos separados en la topología de la red. Permite la ejecución de un código de usuario para su configuración, manejado como un nivel de aplicación

*Dispositivo final (ZED)*. Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos; de esta forma, este tipo de nodo puede permanecer en reposo la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

## 2.2 Configuración y características de la red

A continuación se indican las topologías más empleadas en las redes ZigBee:

*Topología en estrella*: el coordinador se sitúa en el centro.

*Topología en árbol*: el coordinador será la raíz del árbol.

*Topología en malla*: al menos uno de los nodos tendrá más de dos conexiones.

La topología más interesante (y una de las causas por las que parece que puede triunfar ZigBee) es la topología en malla; ya que esta permite que si, en un momento dado, un nodo del camino falla y se cae, pueda seguir la comunicación entre todos los demás nodos debido a que se rehacen todos los caminos. La gestión de los caminos es tarea del coordinador<sup>3</sup>.

Dentro de las topologías anteriores, se opta por implementar el diseño con la topología en malla por facilitar que el coordinador pueda reconfigurarse

automáticamente en cualquier parte de la red (esto depende de la conveniencia cuando se está haciendo mantenimiento en cualquier punto de la red, sin que se modifiquen sus parámetros).

Una red ZigBee puede constituirse hasta por 255 nodos, los cuales tienen la mayor parte del tiempo el transceiver ZigBee en reposo, con el objeto de disminuir el consumo, cosa que no ocurre con otras tecnologías inalámbricas. Un sensor equipado con un transceiver ZigBee puede alimentarse con dos pilas AA durante al menos 6 meses y hasta 2 años.

En comparación con Zigbee, que trabaja a 250 kbps en distancias de hasta 50 m y puede tener 255 nodos; la tecnología Bluetooth que llega a 1 Mbps en distancias de hasta 10 metros operando en la misma banda de 2,4 GHz, sólo puede tener 8 nodos por celda (un dispositivo maestro y 7 esclavos).

Los módulos ZigBee son transmisores inalámbricos de bajo costo, producidos de forma masiva, que disponen de una antena integrada, control de frecuencia y una pequeña batería. ZigBee ofrece una solución económica porque la radio se puede fabricar con muchos menos circuitos analógicos de los que se necesitan habitualmente.

Además ZigBee, al soportar transmisión de datos hasta 250 kbps, en la banda de 2,4 GHz, puede aumentar la capacidad de ahorro de la potencia del transmisor en comparación con redes que utilizan protocolos más lentos; por ejemplo, en redes de sensores donde la transmisión de datos está dentro de estos límites, la capacidad de ZigBee de completar la transacción de datos rápidamente permite mantener el transmisor apagado por periodos de tiempo más largos, como la potencia que transporta el transmisor es independiente de su velocidad de operación, ZigBee supone un ahorro de energía reduciendo el promedio de energía por bit.

En la actualidad ZigBee cumple con los estándares y normas para comunicaciones de su tipo, lo que garantiza su uso sin encontrar rechazos en aplicaciones industriales o comerciales.

## 3. PROPUESTA DE APLICACIÓN CON ZIGBEE

Actualmente la medición del caudal de agua para el servicio domiciliario y su posterior cobro, se realiza por medio de un contador, que indica el valor por medio de un mecanismo similar al de un odómetro. La lectura de este valor es realizada por un funcionario quien debe ir hasta la residencia y anotar los valores correspondientes del consumo.

Cuando hay ausencia de agua, o cuando hay baja o alta presión de la misma, el usuario es quien debe reportar la novedad a un centro de reclamos.

<sup>3</sup> [www.localeurope.net/seminario/downloads/fich\\_a1.pdf](http://www.localeurope.net/seminario/downloads/fich_a1.pdf) [3]

Una posible solución para resolver esta forma de medición, consiste en automatizarla, implementando una aplicación que usa la tecnología ZigBee

La propuesta incluye la medición del caudal de agua en los contadores, empleando un sensor de efecto hall que ofrece alto grado de exactitud; así como brinda la posibilidad de generar una señal en caso de ausencia de agua.

Igualmente se emplea una red GPRS para enviar toda la información a un centro de control. La unión del sensor con la red GPRS se realiza usando la tecnología ZigBee.

### 3.1 Red GPRS

General Packet Radio Service (GPRS) es un servicio de datos móvil orientado a paquetes; está disponible para los usuarios del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile Communications or GSM), así como para los teléfonos móviles que incluyen el sistema IS-136. Permite velocidades de transferencia de 56 a 114 kbps.

En el desarrollo de este proyecto, la red GPRS será la encargada de recibir por medio de un modem los datos de los sensores que están conectados, y mandarlos por la red a un centro de administración y control donde exista señal de celular.

De hecho el Centro de Control podría estar en otro país y operar a muy buenas velocidades de respuesta con respecto a cada dispositivo instalado en las residencias.

### 3.2. Sensor de efecto HALL

El efecto Hall consiste en la aparición de un campo eléctrico en un conductor cuando es atravesado por un campo magnético. A este campo eléctrico se le llama campo Hall. El efecto Hall es llamado así en honor a su descubridor Edwin Duntey Hall.

Este efecto se aprecia cuando por un material conductor o semiconductor, circula una corriente eléctrica, y estando este mismo material en el seno de un campo magnético, se comprueba que aparece una fuerza magnética en los portadores de carga que los reagrupa dentro del material, esto es, los portadores de carga se desvían y agrupan a un lado del material conductor o semiconductor, apareciendo así un campo eléctrico perpendicular al campo magnético y al propio campo eléctrico generado por la batería (FEM). Ligado al campo Hall aparece la tensión Hall; esta tensión, susceptible de ser medida varía con los cambios del campo magnético, lo que permite su aplicación en sensorica para la detección y medición de eventos.

Dentro de las aplicaciones relacionadas con el efecto hall vale anotar: Determinación de la variación de los campos magnéticos; implementación de medidores de campo

magnético (Teslámetro); detección de cambios en la intensidad de corrientes eléctricas (sensores de corriente de Efecto Hall); también permiten la elaboración de sensores o detectores de posición sin contacto, utilizados particularmente en el automóvil, para detectar la posición de un árbol giratorio (caja de cambios); se encuentran también sensores de efecto Hall bajo las teclas de los teclados de cierto instrumentos musicales modernos (órganos, órganos digitales, sintetizadores) evitando así el desgaste que sufren los contactos eléctricos tradicionales; se hallan sensores de efecto Hall en el codificador de un motor de CD; los motores de Efecto Hall (HET) son aceleradores de plasma de gran eficacia<sup>4</sup>.

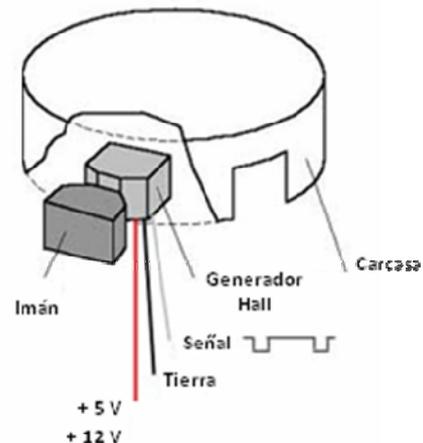


Figura 3, Sensor de Efecto Hall

### 3.3. Propuesta de diseño

El sensor de efecto Hall detecta la variación del campo magnético de un imán, que se produce cuando este último gira por la acción del flujo de agua a través de la tubería de entrada a la residencia. Entre más flujo haya, mayor será la velocidad de giro.

El sensor produce una señal de voltaje que cambia proporcionalmente con la variación del campo magnético que a su vez depende de la rapidez con que gira el imán; este hecho, ligado a la velocidad del agua a través de la tubería, se puede interpretar finalmente como la variación en el caudal de agua de entrada a la residencia.

Esta señal de voltaje entra a un sistema microcontrolado que acondiciona la señal (que incluye conversión de la señal analógica a una digital) y se la entrega al módulo ZigBee.

El módulo ZigBee se comunica con su coordinador (ya sea directamente o a través de otros módulos) enviándole información sobre el usuario al que representa.

<sup>4</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Campo\\_Hall](http://es.wikipedia.org/wiki/Campo_Hall)

El coordinador a través de la red GPRS se comunica con el centro de control quien recibe los datos, los interpreta y toma las acciones del caso, que pueden ir desde tasación cotidiana hasta generación de alarmas o alertas por fallas en la presión de agua, entre otras.

Se plantea que El tiempo de detección de fallas por el Centro de Control, sea del orden de los milisegundos.

En la figura 4, se presenta el esquema de conexión de los módulos ZigBee para esta aplicación<sup>5</sup>.

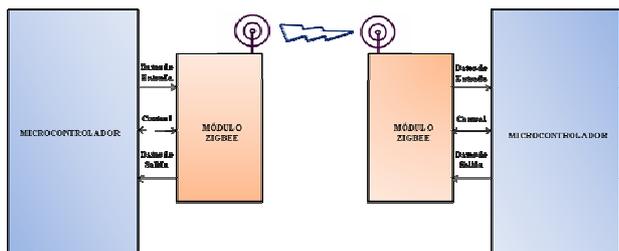


Figura 4, Esquema de conexión de los módulos Zigbee

En la Figura 5 se aprecia la forma que se propone para la interconexión entre las Redes ZigBee y GPRS para el intercambio de datos.

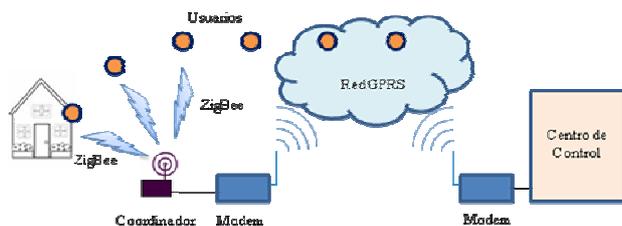


Figura 5, Esquema de Red propuesto

En el Centro de Control se miden los consumos individuales de cada usuario, y además siempre se tiene continuo monitoreo de detección de cualquier tipo de falla como pueden ser: tubos averiados o que tengan escape de agua, así como distribución poco equitativa de caudal a los usuarios, entre otras.

#### 4. CONCLUSIONES

La tecnología ZigBee es indicada para aplicaciones como monitorización médica de pacientes y cuidado personal, control de máquinas y herramientas y redes de sensores; para el control industrial de plantas de proceso, así como para la automatización del hogar, control de energía y medioambiente.

El sistema presentado en la aplicación de Zigbee se consigue en el mercado desagregado, es decir, cada etapa por separado, de hecho se pueden generar altos costos en

su implementación; sin embargo una masificación del producto justificaría la inversión.

La introducción de ZigBee no acabará con otras tecnologías inalámbricas ya consolidadas, como Wi-Fi y Bluetooth, sino que convivirá con ellas y encontrará sus propios nichos de mercado.

La propuesta presentada podría implementarse a bajo costo si realiza de manera masiva; a través de un sencillo análisis se observa que pueden manejarse más de 250 usuarios por cada coordinador ZigBee.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

[1] [www.digi.com/support/](http://www.digi.com/support/)  
Consultado el 02/05/08 a las 10:30 pm

[2] Adams, Jon; Bob Heile (2005-10). Busy as a ZigBee. [IEEE]

[3] [www.localeurope.net/seminario/downloads/fich\\_a1.pdf](http://www.localeurope.net/seminario/downloads/fich_a1.pdf)  
Consultado el 03/05/08 a las 9:45 pm

[4] [http://es.wikipedia.org/wiki/Campo\\_Hall](http://es.wikipedia.org/wiki/Campo_Hall)  
Consultado el 09/05/08 a las 12:45 m

[5] Product Manual v1.xAx - 802.15.4 Protocol For OEM RF Module Part Numbers: XB24-...-001, XBP24-001 IEEE® 802.15.4 OEM RF Modules by MaxStream

<sup>5</sup> Product Manual v1.xAx - 802.15.4 Protocol For OEM RF Module Part Numbers: XB24-...-001, XBP24-001