

# Estado del Arte: La red ZigBee aplicada a la domótica.

Sandro René González González.  
sgonzalezg@est.ups.edu.ec  
David Fernando Romero Guaycha  
dromerog@est.ups.edu.ec  
Universidad Politécnica Salesiana

**Abstract**—A través de los tiempos el ser humano ha venido sintiendo la necesidad de crear métodos que disminuyan en desgaste físico y agiliten procesos que son indispensables para la vida misma, por este motivo surgen tecnologías que ayudan a satisfacer dichas necesidades. Por esta razón la industria busca cada vez crear sistemas de automatización más eficientes de casas y edificios, pero desafortunadamente muchos protocolos privados fueron desarrollados con una interoperabilidad muy compleja, lo que limita su manipulación. Aquí es donde surge la tecnología ZigBee que es un protocolo de comunicaciones inalámbricas basada en el estándar IEEE para solucionar problemas de interoperabilidad, reduciendo costos y consumo de energía bajo, óptimo para aplicaciones en domótica.

**Index Terms**—Domótica, Protocolo ZigBee.

## I. INTRODUCCIÓN

Una vivienda domótica es aquella capaz de a través de la tecnología brindar mejor calidad de vida y menor esfuerzo para el control y automatización de una casa, brindando de esta manera mayor seguridad y confort a sus habitantes. Esta palabra viene del griego domus “casa” y tica “automática” o también llamada casa inteligente. Debido a la necesidad de facilitar e incrementar conocimientos en este campo surgen nuevas tecnologías como comunicaciones inalámbricas en este caso el protocolo ZigBee el cual está basado en el estándar IEEE 802.15.4 con el fin de solucionar problemas de interoperabilidad, costos, entre otros, teniendo un mayor campo en la aplicación domótica donde es mínima la capacidad de transferencia de información. [2], [1], [3]

ZigBee es una alianza de más de 100 empresas, donde la mayoría de estas empresas son fabricantes de semiconductores. Es un conjunto estandarizado de soluciones, las cuales pueden ser implementadas en cualquier tipo de proceso que requiera de envío de datos.[3], [4]

## II. DOMÓTICA

La tecnología encuentra en el hogar un campo de posibilidades apasionantes, y la Domótica es una de ellas, es una disciplina técnica, que tiene una faceta social no menos importante. Como primera aproximación afirmaremos que la Domótica consiste en introducir infotecnología en los hogares para mejorar la calidad de vida de sus habitantes y ampliar sus posibilidades de comunicación, automatizando procesos domésticos e intercomunicando tanto estos procesos como los

residentes del hogar entre sí y con el exterior. La infotecnología es pues la herramienta, las personas sus destinatarios, la satisfacción de determinadas necesidades suyas su objetivo. [11], [13], [19]

la Domótica se aplica a los sistemas y dispositivos que proporcionan algún nivel de automatización dentro de la casa, pudiendo ser desde un simple temporizador para encender y apagar una luz o aparato a una hora determinada, hasta los más complejos sistemas capaces de interactuar con cualquier elemento eléctrico del hogar. La vivienda domótica es por tanto "aquella que integra un conjunto de automatismos en materia de electricidad, electrónica, robótica, informática y telecomunicaciones, con el objetivo de asegurar al usuario un aumento del confort, la seguridad, el ahorro energético, las facilidades de comunicación y las posibilidades de entretenimiento". Se pretende con ello integrar todos los aparatos del hogar a fin de que funcionen de la forma más eficaz posible y con la necesidad de una intervención mínima o inexistente por parte del usuario.[11], [13], [19]

### A. Comunicaciones y Estándares

La manera de como intercomunicar los dispositivos dentro del hogar inteligente son varias

- WiFi
- Bluetooth
- ZigBee
- 6LoWPAN
- Z-Wave
- Insteon
- EnOcean
- ONE-NET

Siendo las más utilizadas a nivel mundial WiFi, Bluetooth y Zigbee, para muchos, estas 3 están todas agrupadas en la misma categoría, cuando en realidad representan muy diferentes etapas de desarrollo y ofrecen varios niveles de funcionalidad. De manera superficial se especificarán los estándares de éstas 3 a continuación:[20], [5], [10]

1) *Wi-Fi*: Wi-Fi, o 802.11b, es un estándar robusto y bien establecido que continúa creciendo y evolucionando. En el año de 2004 se certificaron dos nuevas versiones de especificaciones: 802.11a y 802.11g, mostrando este último un crecimiento dramático.

Entre las ventajas de la tecnología 802.11g es que es totalmente compatible con los productos desarrollados en la versión anterior 802.11b, y la visión a un futuro cercano es la de incluir a los sistemas 802.11a, de modo que si usted cuenta con una infraestructura de 802.11g, soportara todos los equipos antiguos y modernos.

Wi-Fi es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basado en las especificaciones IEEE 802.11.

Wi-Fi es una marca de la Wi-Fi Alliance (anteriormente la Wireless Ethernet Compatibility Alliance), la organización comercial que prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares IEEE 802.11x.

Hoy en día el estándar 802.11 Super G, con una banda de 2.4 Ghz y 5 Ghz, alcanza una velocidad de transferencia de 108 Mbps. De la empresa D-Link.[14], [8]

2) *Bluetooth*: La nueva versión 1.2, incorpora la función de salto de frecuencia adaptiva, la cual minimiza la interferencia mutua con sistemas de frecuencia estática (802.11) y hace posible la coexistencia de diferentes sistemas inalámbricos en el mismo entorno. Esta función permite a los dispositivos Bluetooth, operarse de manera más efectiva en donde existan redes inalámbricas, como por ejemplo en los grandes supermercados y almacenes grandes. La versión 1.2 también ha corregido los problemas asociados con la transmisión de voz haciendo un mejor trabajo con los audífonos inalámbricos, teléfonos celulares y los sistemas basados en voz.

Bluetooth es la norma que define un estándar global de comunicación inalámbrica, que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia. [14], [8]

3) *ZigBee*: IEEE 802.15.4 es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (low-rate Wireless personal area network LR-WPAN). El grupo de trabajo IEEE 802.15 es el que se encarga de su desarrollo. También es la base sobre la que se define la especificación de ZigBee, cuyo propósito es ofrecer una solución completa para este tipo de redes construyendo los niveles superiores de la pila de protocolos que el estándar no cubre.[3], [14]

## B. ZigBee

ZigBee es la especificación de un conjunto de protocolos de comunicación inalámbrica de alto nivel que utilizan radios digitales de consumo bajo, este protocolo se basa en el estándar IEEE 802.15.4 de redes de tipo inalámbricas de tipo personal (Wireless personal area network) WPAN, donde su principal objetivo son las aplicaciones para redes Wireless que requieran comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y mucha más vida útil de las baterías.[5], [4]



Figure 1. Sistemas de transmisión-ZigBee.[4]

Bandas en las que opera: 2.4 Ghz, 915 MHz y 868 MHz. Métodos de transmisión: DSSS, se focaliza en las capas inferiores de red (Física y MAC). Velocidad de transmisión: 20 kbit/s por canal. Rango: 10 y 75 metros.[3], [14], [10]

Table I  
PROPIEDADES DEL IEEE 802.15.4.[5], [3]

Propiedades	Rango
Rango de transmisión de datos	868 MHz:20kb/s; 915MHz
Rango de transmisión de datos	40kb/s; 2.4GHz: 250kb/s
Alcance	10-20m
Latencia	Por debajo de 15ms
Canales	868/915MHz; 11 canales.
Canales	2.4GHz: 16 canales
Banda de frecuencia	Dos PHY: 868/915MHz y 2.4GHz
Direccionamiento	Cortos de 8 bits o 64 bits IEEE
Canal de acceso	CSMA-CA y CSMA-CA ranurado
Temperatura	-40 a +85 grados centígrados

1) *Funcionalidad*: : Basándose en su funcionalidad, puede plantearse una clasificación:

Dispositivo de funcionalidad completa (FFD): También conocidos como nodo activo. Es capaz de recibir mensajes en formato 802.15.4. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como Coordinador o Router ZigBee, o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interfaz con los usuarios. Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD): También conocido como nodo pasivo. Tiene capacidad y funcionalidad limitadas (especificada en el estándar) con el objetivo de conseguir un bajo coste y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores/actuadores de la red.

Un nodo ZigBee (tanto activo como pasivo) reduce su consumo gracias a que puede permanecer dormido la mayor parte del tiempo (incluso muchos días seguidos). Cuando se requiere su uso, el nodo ZigBee es capaz de despertar en un tiempo ínfimo, para volverse a dormir cuando deje de ser requerido. Un nodo cualquiera despierta en aproximadamente 15 ms. Además de este tiempo, se muestran otras medidas de tiempo de funciones comunes: Nueva enumeración de los nodos esclavo (por parte del coordinador): aproximadamente 30 ms. Acceso al canal entre un nodo activo y uno pasivo: aproximadamente 15 ms. [15], [17], [19]

2) *Ventajas*:

- Son ideales para la realización de conexión punto a punto y punto a multipunto
- Operan en la banda libre de ISM 2.4GHz para conexiones inalámbricas.

- Menor tiempo de tiempos de espera en envío y recepción de datos o paquetes.
- Hasta 65000 nodos en una red.
- Tiene un diseño para el direccionamiento de información de la red.
- Alojamiento de 16 a 64 bits de dirección extendida.
- Detección de energía.
- Son de menor costo y su construcción es más sencilla.
- Es óptimo para redes con baja tasa de transferencia de datos.
- Larga duración de batería debido a su bajo ciclo de trabajo.
- Soporte para múltiples topologías de red: Estática, dinámica, estrella y malla.
- Provee conexión segura entre dispositivos. [15], [16], [17]

### 3) Desventajas:

- Tasa de transferencia de datos es muy baja.
- Manipulación de textos pequeños a comparación con otras tecnologías.
- No es compatible con bluetooth debido a su baja tasa de transferencia de datos y por la capacidad de soporte de nodos.
- Tiene menor cobertura debido a que pertenece a las redes inalámbricas de tipo WPAN.[15], [16], [17]



Figure 2. Incompatibilidad entre ZigBee y Bluetooth.[4]

4) *Arquitectura:* Como podemos observar en la figura 3 tenemos la estructura en capas siguiendo el estándar del modelo de referencia OSI (8) (Open Systems Interconnection).



Figure 3. Arquitectura de la red ZigBee.[3]

Como se observa, tenemos las primeras dos capas las cuales son la física (PHY) y la del acceso al medio (MAC) están definidas por el estándar IEEE 802.15.4. Las capas superiores en cambio están definidas por la Alianza ZigBee como la capa de red (NWK) y de aplicaciones las cuales contienen los perfiles de uso, ajustes de seguridad y la mensajería.[6]

*La capa de red:* La función principal de la capa de red es unir o separar dispositivos por medio del controlador de red, encamina ramas a sus respectivos destinos e implementa seguridad. Además permite el correcto uso del subnivel MAC y ofrece un interfaz adecuado para el uso por parte del nivel inmediatamente superior.

Por una parte, la entidad de datos es la encargada de crear y gestionar las unidades de datos del nivel de red a partir del payload del nivel de aplicación y realiza el ruteo a la topología de la red. Por otra, las funciones de control del nivel controlan la configuración de nuevos dispositivos y el establecimiento de nuevas redes.[5], [6], [7]

*La trama general de operaciones (GOF) :* La GOF es una capa que esta entre la de aplicaciones y el resto de capas. Esta capa suele cubrir varios elementos que son comunes a todos los dispositivos como los modos de direccionamiento, el tipo de dispositivo, potencia, modos de dormir y coordinadores de cada uno.[4], [6]

*La capa de aplicación:* Es el más alto definido por la aplicación y, por lo tanto, la interfaz efectiva entre nodo ZigBee y sus usuarios, En esta capa se ubican la mayor parte de los componentes definidos por la especificación: tanto los objetos de dispositivo ZigBee como los procedimientos de control y como los objetos de aplicación.[5], [7]

### C. Tipos de dispositivos

Se tiene tres tipos de dispositivos ZigBee según su papel en la red.

- ZigBee coordinador de red: hay un solo coordinador en cada network, este es el que mantiene en todo momento el control del sistema, requiere memoria y capacidad de computación.
- Dispositivo de función completa (FFD): es un router intermediario que transmite datos desde otros dispositivos, necesita menos memoria que el ZigBee coordinador y requiere de menos costo de manufactura. Este puede operar en todas las topologías y también puede actuar como un coordinador.
- Dispositivo de función reducida (RFD): Estos son los sensores o actuadores de la red de capacidad y funcionalidad limitada.[8], [16]

### D. Topologías de red soportadas por ZigBee:

1) *Topología de estrella:* En la topología en estrella todos los dispositivos en la red sólo pueden comunicarse con el coordinador PAN. Un uso en la formación de una red en estrella es que un dispositivo FDD programado para ser un coordinador PAN se activa y comienza a establecer su red. Lo primero que hace el coordinador PAN es seleccionar un identificador único el cual no es utilizado por cualquier otra red dentro del radio de cobertura de ese dispositivo, es decir,

se asegura que el identificador no sea utilizado por cualquier otra red cercana, implementando seguridad. [14], [15], [16]

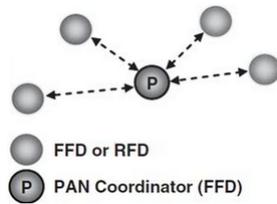


Figure 4. Topología Estrella.[16]

2) *Topología de malla*: : En una topología de punto a punto, cada dispositivo puede comunicarse directamente con cualquier otro dispositivo, siempre y cuando los demás dispositivos estén lo bastante cerca como para establecer un vínculo de comunicación con éxito. Cualquier dispositivo FFD en una red de punto a punto puede tomar el papel de coordinador PAN, una forma de decidir cual dispositivo será el coordinador PAN es tomar el primer dispositivo FFD que empiece una comunicación como coordinador PAN. En una red de punto a punto, todos los dispositivos que participan en la transmisión de mensajes son del tipo FFD, ya que los RFD no son capaces del envío de mensajes, sin embargo los RFD pueden ser parte de la red y comunicarse sólo con un dispositivo en particular (un coordinador o un router) en la red. [15], [16], [19]

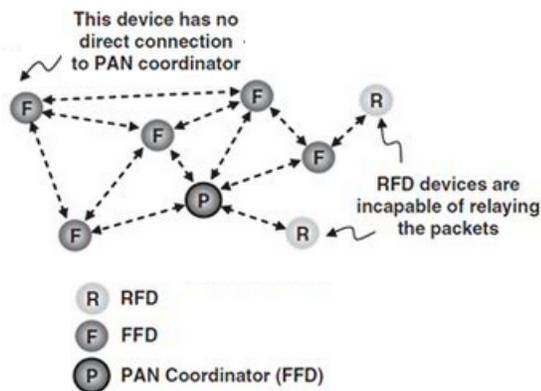


Figure 5. Topología Malla.[16]

Una red punto a punto puede tomar diferentes formas mediante la definición de las restricciones de los dispositivos que pueden comunicarse entre sí. Si no hay ninguna restricción, la red punto a punto es conocida como una topología de malla. [15], [16], [19]

3) *Topología de árbol*: : Otra forma de red punto a punto que ZigBee soporta es una topología de árbol. En este caso, un coordinador de ZigBee (coordinador del PAN), establece la red inicial. Los routers ZigBee son los encargados de formar las ramas y transmitir los mensajes. Los dispositivos finales ZigBee (ZigBee end devices) actúan como hojas del árbol y no participan en el enrutamiento de mensajes. [16], [17], [20]

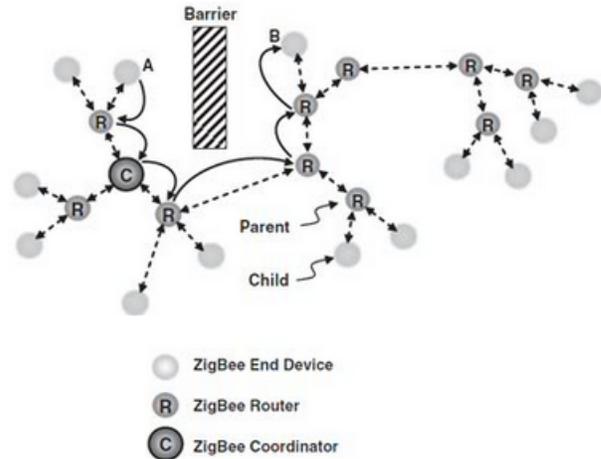


Figure 6. Topología Árbol.[3]

En la figura 3 se muestra un ejemplo de cómo transmitir un mensaje puede ayudar a ampliar el alcance de la red e incluso esquivar las barreras que se presentan en el camino. Por ejemplo, el dispositivo A tiene que enviar un mensaje al dispositivo B, pero hay una barrera entre ellos que es difícil de penetrar para la señal. La topología de Árbol ayuda a transmitir el mensaje alrededor de la barrera y poder llegar al dispositivo B. Esto se conoce como salto múltiple (multihopping) debido a que un mensaje realiza saltos de un nodo a otro hasta llegar a su destino. [16], [17], [20]

### III. ANÁLISIS

- Debido a la necesidad de contar con dispositivos que faciliten la comunicación y el envío de datos de forma inalámbrica, que además cuenten con un software libre que permita el fácil acceso y configuración de los mismos y que solucionen problemas de interoperabilidad, es que surge la red ZigBee, la cual está basada en el estándar IEEE 802.15.4 que cubre con todas las especificaciones antes mencionadas, se convierte en una herramienta óptima para aplicaciones en domótica debido a su baja tasa de envío y recepción de datos.
- En el mercado nacional todavía no se hace un uso en grandes cantidades, la razón principal es por la incompatibilidad que tiene el protocolo con Wi-Fi y con Bluetooth que son los 2 más usados, pero la gran promesa que se establece por parte de los creadores es que a partir de sus próximas actualizaciones la compatibilidad será absoluta con estos otros dos protocolos.

### IV. CONCLUSIONES

- Usar el protocolo Zigbee en domótica nos pareció el método más viable por el bajo consumo de energía cuando están en reposo, que será la mayoría del tiempo en un hogar, logrando con esto un ahorro significativo con respecto a otros métodos u otro tipo de implementaciones como por ejemplo bluetooth o Wi-Fi, los dispositivos que usan este protocolo como los Xbee usan 3.3V de alimentación y consumen 295mA, la potencia de salida es de 63mW y el rango de alcance es de 1.6Km, y el

consumo en reposo es de 12pA, todo estos valores son aproximados, como nos damos cuenta son características muy buenas para ser implementado ya sea en un hogar, empresa, almacén, supermercado, etc.

- La velocidad de transferencia de datos máxima es de 250Kbps, velocidad que es suficientemente apropiada para la comunicación, ya que no se necesitan enviar datos extensos o pesados para la comunicación y funcionamiento de los diferentes dispositivos, ya que en la programación se usan cadenas de texto simples como comandos cortos, haciendo de esta programación una manera sencilla de implementarla.
- El uso de arduino facilita aún mas la implementación de Xbee, ya que podemos mediante éste usar un modo sleep en los Xbee, que es un modo en el que el consumo es prácticamente nulo, ahorrando más energía todavía. Además la programación en arduino es muy sencilla y fácil de interpretar e implementar.

#### REFERENCES

- [1] SL, D. (3 de Septiembre de 1999). Domodesk. Obtenido de <http://www.domodesk.com/>
- [2] S.A., E. (s.f.). Electrocomponentes S.A. Obtenido de <http://www.electrocomponentes.com/>
- [3] Paper publicado *ÍZigBee como una aplicación a la domótica*, Alverca Maza Yohana Elizabeth, Berrezueta Solórzano Freddy Javier, Escuela Politécnica Nacional, Disponible hasta 7 julio 2015, disponible en: [http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/Oct05Marzo06/In-alambricas/Trabajo1/Paper/Proyecto1\\_g2.pdf](http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/Oct05Marzo06/In-alambricas/Trabajo1/Paper/Proyecto1_g2.pdf)
- [4] ZigBee Alliance. (2015). Obtenido de <http://www.zigbee.org>
- [5] Eady, F. (2007). *Embedded Technology : Hands-on ZigBee : Implementing 802.15.4 with Microcontrollers*. Newnes.
- [6] Hersent, O. B. (2011). *Internet of Things : Key Applications and Protocols* (2nd Edition). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons.
- [7] Tutorial-Reports.com. (s.f.). Obtenido de <http://www.tutorial-reports.com/wireless/zigbee/zigbee-characterstics.php>
- [8] Tutorial-Reports.com. (s.f.). Obtenido de <http://www.tutorial-reports.com/wireless/zigbee/zigbee-device-types.php>
- [9] Rybczynski W. (1989): *La casa: historia de una idea*, Editorial Nerea, Madrid.
- [10] Lorente Arenas S. (2004): *Domótica integral. Análisis del entorno, Máster en Domótica*, UPM
- [11] Alahuhta P., Heinonen S. (2003): *Ambient Intelligence in Everyday Life: Housing*, Technical Research Centre of Finland, Building and Transport, Research report RTE 2223/03.
- [12] García-Pedraja, F. (2004): *Implementación de servicios, Máster en Domótica*, UPM.
- [13] Institut Cerdà (2000): *La vivienda domótica: ahorro, confort, seguridad y comunicaciones*, Institut Cerdà, Barcelona.
- [14] Metrologic Mexico.(7 julio de 2015). Obtenido de <http://www.metrologicmexico.com>.
- [15] *Zigbee Wireless Networking* - Drew Gislason.
- [16] *Zigbee Wireless Networks and Transceivers* - Shahin Farahani.
- [17] Hernández de León J.M., Trachana A. (1997): *La Domus: introducción a la arquitectura de la casa*, Editorial Marea, Madrid.
- [18] *Digital Living Network Alliance* (2004): *White paper: overview and vision*, Digital Living Network Alliance, Portland.
- [19] *IEEE 802.15 Web Site* – <http://www.ieee802.org/15>
- [20] *Instalaciones de telecomunicaciones para edificios-Falcone Lanás*, Francisco Javier-Editorial Maracombo,2013



Sandro Rene González González: Nació en la ciudad de Azogues el 5 de octubre de 1991, graduado de bachiller en Sistemas Informáticos en la Unidad Educativa Franciscana San Diego de Alcalá, actualmente cursando el quinto ciclo de la carrera de Ingeniería Electrónica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.



David Fernando Romero Guaycha: Nacido en la ciudad de Machala el 28 de julio de 1991, graduado de bachiller en Ciencias en el colegio militar “Heroes del 41” en el año 2009. Actualmente estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica cursando el quinto ciclo en la universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.