

# Revisión del estado del arte de Redes Zigbee en WSN.

(04 Junio 2014)

J. C. García<sup>1</sup>, A. Manotas, R<sup>2</sup>. Acosta<sup>3</sup> y A. Romero<sup>4</sup>  
 {juancamilo1013, aumant23, aromerodelahoz}@hotmail.com, rober15@live.com

**Resumen**— *Las redes de sensores en la actualidad han obtenido a través de los años una gran evolución y cada vez más vemos la importancia de esta en grandes campos de la ciencia. En este artículo conoceremos y tendremos información precisa por medio de la implementación de redes de sensores, del protocolo de comunicación Zigbee, sus características y la importancia del ZDO.*

**Palabras clave**— Redes de sensores inalámbricos, Zigbee, WSN, ZDO.

**Abstract**— *Sensor networks today have gained through the years a major change and increasingly see the importance of this in large fields of science. In this paper we will know and accurate through the implementation of sensor networks, ZigBee communication protocol, characteristics and importance of ZDO information.*

**Keyword**—Wireless sensor network, Zigbee, WSN, ZDO.

## I. INTRODUCCION

Los últimos avances tecnológicos han hecho realidad el desarrollo de unos mecanismos distribuidos, diminutos, baratos y de bajo consumo, que además, son capaces tanto de procesar información localmente como de comunicarse de forma inalámbrica [1]. La posibilidad de implementar este tipo de dispositivos de bajo costo y elevada duración sin mantenimiento capaces de obtener información del entorno y reenviarla de forma inalámbrica a un centro de coordinación ofrece posibilidades inimaginables en multitud de aplicaciones.

En el entorno de redes inalámbricas de sensores los mayores desafíos se encuentran en minimizar dos factores fundamentales: coste y consumo, maximizando el tiempo de servicio. Un nodo sensor generalmente es un sistema basado en microcontrolador que incorpora un módulo de Radio Frecuencia (RF), una unidad de sensorización, encargada de recoger los datos del entorno, todo ello alimentado mediante una batería. En la actualidad, asociaciones de empresas que trabajan en el desarrollo de estándares de calidad y productos rentables, trabajan con una tecnología basada en Zigbee la cual posee una amplia gama de aplicaciones y productos en la industria mundial, zigbee se basa en el estándar IEEE 802.15.4. El objetivo de este artículo conocer en profundidad los conceptos relacionados con las redes de sensores, la tecnología Zigbee y su desarrollo a través del ZDO.

## II. REDES DE SENSORES INALAMBRICOS

Es la comunicación de dos o más sensores que monitorean cooperativamente grandes entornos físicos, formando así una red de sensores inalámbrico (WSN). Los nodos de sensores se comunican no sólo entre sí, sino también con una estación base (BS) por sus radios inalámbricas, lo que les permite difundir sus datos de sensores para un procesamiento remoto, visualización, análisis y sistemas de almacenamiento.[2] Estas redes normalmente se encuentran desplegadas en zonas remotas e inaccesibles, en los cuales un conjunto de nodos sensoriales que se distribuyen en el terreno y lo que básicamente hacen es trabajar de manera coordinada y de esta forma poder monitorizar los parámetros elegidos. [3].

Componentes de una red de sensores inalámbricos: Una Red de Sensores Inalámbricos puede basarse en una estación base en la que se realiza la recogida de datos que se han censado en todos los otros dispositivos (nodos) que trabajan a su vez de una manera sincronizada y estructurada. La funcionalidad de la red, es decir, las rutas y protocolos de comunicación se implementan en software y se ejecuta generalmente en micro-controladores de gama baja.

Sensores y actuadores: Un sensor es un dispositivo físico que detecta y traduce parámetros o acontecimientos en el mundo físico en señales que pueden ser medidos y analizados, donde este tipo de traductor convierte la energía de dicho mundo físico en energía eléctrica que puede pasar a sistema de computación o controlador. Un actuador normalmente acepta una señal eléctrica y la convierte en una acción física para actuar sobre el medio en el que se encuentra.

Transceptor: En las redes de sensores cada uno de los nodos de un sistema de redes de sensores inalámbricos comprende una unidad de transceptor, que está a cargo de la comunicación inalámbrica con sus compañeros, el cual estará al tanto de envíos o recepciones de señales.

Microcontrolador: Un microcontrolador es un ordenador en un chip, autosuficiente y de bajo costo que contiene las tres unidades funcionales de un computador y se utiliza para controlar la funcionalidad y el flujo de datos de dispositivos electrónicos para almacenar y/o procesar datos.

Los dispositivos sensores de manera conjunta a la red detectan un cambio en la magnitud física que están midiendo, esa información será transmitida al transceptor de cada nodo quien a su vez envía la información al microcontrolador el cual básicamente contiene el programa de la red y este a su vez se encarga de decidir que sucede en la red, luego de que se procese

esta información, el microcontrolador envía la señal de respuesta al transceptor de cada nodo y éste a los dispositivos últimos que son los sensores y/o actuadores.

Administración de la energía: Existen técnicas para hacer buen uso de la energía y obtenerla a través de diferentes fuentes además de las baterías, estas son las siguientes:

- La primera es la transformación de las vibraciones en electricidad a través de efectos de inducción piezoeléctricos, electrostáticos y magnéticos, con la cual se puede proporcionar hasta 300uW/cm<sup>3</sup>.
- La segunda es la transformación de un flujo de calor en electricidad y puede proporcionar hasta 40uW/cm<sup>3</sup>.
- La tercera recupera la energía de la luz - a niveles de hasta 15000uW/cm<sup>3</sup> al aire libre y de interior a 10uW/cm<sup>3</sup> - o de la radiación de RF de hasta decenas de milivatios en el caso de una fuerte fuente como un lector de etiquetas RFID. [4]

Características de los sensores inteligentes: Que combina la función de detección y alguna de las funciones de procesamiento de la señal, logrando capacidades de medición y de comunicación. La relación que guardan es que la WSN estos nodos sensores son de mucha importancia ya que estos de manera conjunta y en un campo determinado serán los encargados de obtener y transmitir una serie de datos para que estos estén a disposición de un usuario el cual será recibida en una estación base.

Constitución de los nodos de sensores: Los nodos de sensores están constituidos por un sensor, un microcontrolador, una alimentación (Batería) y Conexión inalámbricas.

Tecnología de comunicación inalámbrica de los nodos sensores: Un fenómeno físico es desconocido, cuando la localización de este modelo permite que los nodos sensores estén mucho más cerca del evento de lo que estaría un único sensor, en varios casos, se requieren muchos sensores para evitar obstáculos físicos que corten la línea de comunicación. El medio que va a ser monitorizado no tiene una infraestructura, ni para el suministro energético, ni para la comunicación. Por ello, es necesario que los nodos funcionen con pequeñas fuentes de energía y que se comuniquen por medio de canales inalámbricos. Otro requisito para las redes de sensores será la capacidad de procesamiento distribuido. Esto es necesario porque, el principal consumidor de energía viene siendo la comunicación, un sistema distribuido significará que algunos sensores o ciertos tipos de sensores necesitarán comunicarse a través de largas distancias, con lo cual se traducirá en mayor consumo. Por ello, una buena idea sería el procesar localmente la mayor cantidad de energía, para minimizar el número de bits transmitidos.

Clasificación de las WSN según su estructura:

- Topología Física: Se refiere a la forma física o patrón que forman los nodos que están conectados a la red, sin especificar el tipo de dispositivo, los métodos de conectividad o las direcciones en dicha red. Está basada en formas básicas fundamentales como bus, anillo, estrella, malla e híbridas
- Topología Lógica: Describe la manera en que los datos son convertidos a un formato de trama específico y como los

pulsos eléctricos son transmitidos a través del medio de comunicación; se encuentra relacionada con la Capa Física y la Capa de Enlace del Modelo OSI (Ethernet, Token-Ring y ATM).

La arquitectura o topología de una red es una disposición física en la que dos o más nodos pueden compartir recursos mediante un la implementación de estándares y protocolos, lo que vendría siendo la parte física y lógica de la topología de red. [5]

### III. Las Capas de protocolo Zigbee

El protocolo Zigbee se basa en el modelo ISO para la interconexión de sistemas operativos OSI. ZigBee utiliza 4 de las 7 que conforma el modelo OSI, al trabajar con 4 se centra en simplificar la arquitectura y el armado de una red con baja tasa de transmisión simple y con un consumo bajo de energía es fundamental en este protocolo. En este estándar se definen dos capas, física (PHY) y Mac (capa de acceso al medio), ambos son las definidas por el Standar IEEE 802.15.4. Las capas de red y aplicación son definidas en Zigbee estas se conectan mediante una capa llamada (cervices Access point) SAP, define con un lugar por en donde una capa superior requiere un servicio de una capa inferior. [6]

La capa Física: Define las funciones y aspectos como potencia, transmisión y sensibilidad del receptor y se relaciona con la capa Mac

Canales: 802.15.4 en sus primeras versiones se definen canales estos representaban una frecuencia, en la banda de los 868 MHz había un límite de 27 canales con 1, cada canal se identificaba con un número en todas la paginas el canal 0. La frecuencia central en cada canal de la banda de 915Mhz se calcula.

Detección de la Energía: Primero el dispositivo mide el nivel de energía de ese canal, después se dispone a la transmisión. Para eso en modo recepción hace el valor medio de los valores medidos en un rango correspondiente al tiempo de 8 símbolos, estos datos nos indica si el canal está ocupado, pero no se puede saber si esa energía corresponde a otro dispositivo 802.15.4 ó no.

La energía mínima de la señal que permite detectar y demodulada con un error de 1% en los paquetes, el estándar puede admitir una diferencia 10db entre la sensibilidad del receptor y los niveles mínimos de energía, el rango de medición para este protocolo es de 40 dbm. [7].

La capa MAC: Determina la interfaz entre la capa física y la capa de red, el protocolo Zigbee se compone de las especificaciones para PHY Y MAC es por esto que la capa que sigue según el protocolo usado puede ser cualquiera.

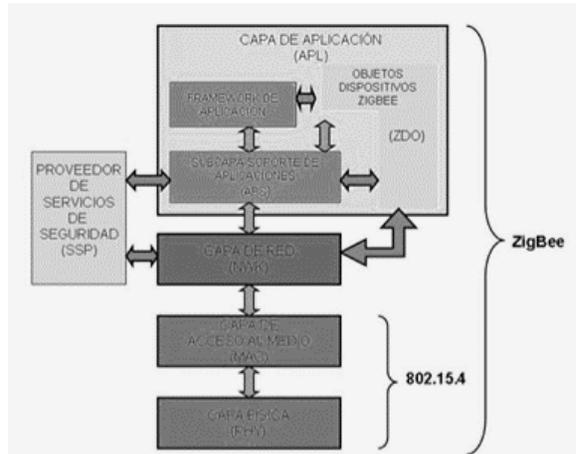


Figura 1.

En la figura 1 se observa el modelo de referencia con la subcapa MAC entre PHY y NWK. Aparece al igual que en otras capas 2 partes: una entidad de manejo de la capa MAC (MLME) la encargada de manejar los servicios y una unidad de datos. Esta MLME interactúa con sus vecinas NLME y PLME por medio de las SAP. La MAC tiene nada más que su propia base de datos llamada MAC-PIB. Todas las constantes y atributos están definidos en el estándar IEEE 802.15.4. [8]

Operación de la PAN usando balizas: Las balizas permiten disponer de ranuras de tiempo garantizadas (GTS). Las tramas de baliza son tramas especiales, es posible usar estructuras llamadas súper tramas cuando se está trabajando con balizas. [9]

#### IV. Capa de red Zigbee (NWK).

La capa ZigBee NWK (Network - Red) su trabajo es facilitar una interfaz al nivel superior para poder comunicarse con la MAC (Control de acceso al medio) de 802.15.4, está es necesaria para ofrecer servicios a la capa inmediatamente superior, la capa de Aplicación, permite realizar operaciones sobre la capa inmediatamente inferior a la misma, la subcapa de MAC, definida en el IEEE 802.15.4-2003. Es decir, la capa de red hace de interfaz entre la capa de Aplicación y la de MAC. Una de las características de la capa de red es que dispone una interfaz de dos servicios, con los que cubre las necesidades de la capa de Aplicación. Estos dos servicios son conocidos como Servicio de Datos y Servicio de Control.

La capa de Aplicación y la subcapa MAC obtienen una comunicación entre sí, se lleva a cabo en el SAP de la capa de Red. Esto se traduce de forma que, entre la capa de Aplicación y la de Red existen dos SAP, uno por cada servicio que la capa de Red oferta a la de Aplicación. De la misma forma que aparecen otros dos SAP más entre la capa de Red y la subcapa de MAC.

La capa de red (NWK) lo que hace a su vez es unir o separar los dispositivos a través del controlador de red, implementa seguridad, para luego encaminar las tramas a sus respectivos destinos. La capa de red del controlador de red es responsable de crear una nueva red y asignar direcciones a los dispositivos de la misma donde además, la red soporta múltiples configuraciones de red incluyendo estrella, árbol, y rejilla.

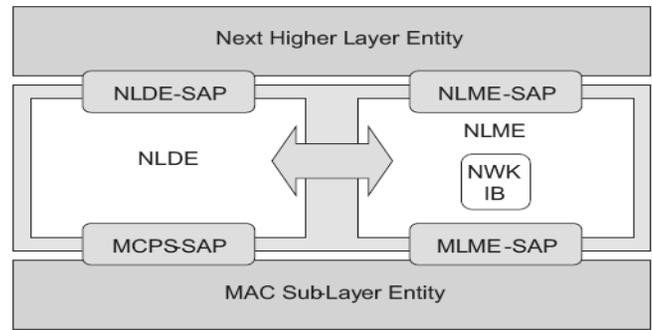


Figura 2.

Servicio de Datos: Conocido también con NLDE (Network Layer Data Entity) es un servicio de interfaz. Provee de un servicio de datos, la función de este es permitir a cualquier aplicación comunicarse con las mismas unidades de datos, o también con dos o más dispositivos.

Todos los dispositivos que intervengan en esta comunicación deberán estar en la misma red de interconexión. Esta interfaz dispone de los servicios de generación de las unidades de datos de protocolo, también llamadas PDU (NPDU) y la topología de encaminamiento con su especificación.

Servicio de Control: El también conocido como NLME (Network Layer Management Entity), este es el encargado de un servicio ofertado desde la capa de Red a la superior, lo cual permite a la capa de Aplicación interactuar o a su vez comunicarse con la pila directamente. Esta interfaz dispone de los siguientes servicios:

- Configuración de un nuevo dispositivo. Esto permitirá la inicialización de un dispositivo Coordinador, así como el descubrimiento de nuevos dispositivos dentro de la red de interconexión.
- Inicialización de una nueva red.
- Integración y salida de una red.
- Direccinamiento.
- Descubrimiento de vecinos.
- Descubrimiento de ruta

Seguridad NWK (Red): Cuando una trama en la capa de red necesita ser asegurada, ZigBee debe usar ciertos mecanismos de protección de los datos. Al igual que la capa MAC, este dicho mecanismo de protección de trama lo que hace en la capa de red NWK es usar de la encriptación Advanced Encryption Standard, es decir, AES. Sin embargo son las capas superiores las que deben indicar el nivel de seguridad que se tiene que aplicar. La capa de red (NWK) tiene una responsabilidad y es enrutar los mensajes sobre enlace multi-hop.

La capa de red tiene que enviar como broadcast sus peticiones de enrutamiento y recibir las respuestas. Se realiza de manera simultánea el enrutamiento de los mensajes de peticiones que se envían a los dispositivos cercanos y los que se reciben de ellos. Si la clave de enlace apropiada se indica, la capa de red usa esta clave de enlace para asegurar sus tramas de red. Si por el contrario no se indica, para poder asegurar los mensajes de la capa de red usa su propia clave de red para asegurar las tramas

de red. Por tanto en el formato de la trama se indica de manera explícita la clave que se ha usado para protegerla. [10]

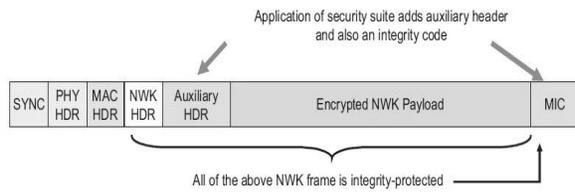


Figura 3.

## V. APLICACIONES DEL ZIGBEE CON EL ZDO

ZigBee es una especificación que se encarga de definir una solución para comunicaciones inalámbricas de bajo coste y consumo con vistas a constituir la base del desarrollo de redes ubicuas.

El estándar IEEE 802.15.4 es la base de la tecnología Zigbee, este no es más que un conjunto de protocolos de alto nivel, los cuales son abiertos y globales para la comunicación inalámbrica en las redes de área personal (PAN) y de sensores inalámbricos (WSN), que ha incurrido los últimos años con aplicaciones en campos diversos (militar, domótica, industria, salud, entretenimiento etc.) Una de las principales ventajas de esta tecnología está en su bajo consumo de energía y su fácil integración a través de nodos. En modo SLEEP su consumo es del orden de los microamperios, mientras para el modo ON, este alcanza las centenas de miliamperios aproximadamente. Como sensor solamente necesita encenderse cuando tenga que enviar el dato a otro dispositivo (modo SLEEP). Los routers y coordinadores son los únicos que necesitan estar encendidos todo el tiempo (modo ON). Estas consideraciones son según la topología de red escogida. [10]

**Forma de Comunicación:** Los objetos que conforma la red lo que hacen es que se comunican utilizando los servicios de APS, estos a su vez supervisado por las interfaces ZDO, en estos el nivel de aplicación sigue un diseño clásico de servicios estructurados en tipos petición-confirmación/indicación-respuesta. Donde además dentro de un dispositivo puede haber hasta 240 objetos, con números entre 1 y 240. 0 se reserva para el interfaz de datos de ZDO y 255 para broadcast; el rango 241-254 se reserva para usos futuros. [11]

**Aplicación del ZDO:** La funcionalidad que proporciona una interfaz entre los objetos de aplicación, el perfil del dispositivo y el APS. Los ZDO se encuentran entre el framework de aplicación y la subcapa de soporte de aplicación. Permite así que se cumplan todos los requisitos de las aplicaciones que operan con la pila de protocolo ZigBee. Los ZDO obtienen una responsabilidad que tienen que cumplir y es de: Inicializar la subcapa de soporte de aplicación (APS), la capa de aplicación (NWK), y los servicios de especificación (SSS). Las configuraciones de la información desde la aplicación para determinar e implementar el descubrimiento y la gestión de la seguridad, red y enlace. Los ZDO cumplen la función de proporcionar interfaces públicas para los objetos de aplicación en la capa del framework de aplicación para tener el control de dispositivo y realizar las funciones necesarias definidas por los objetos de aplicación.

Los interfaces de los ZDO tienen poca presencia en la pila de protocolo ZigBee. En el terminal 0, a través del ADSDE-SAP para datos y a través del APSME-SAP para los mensajes de control. Los interfaces públicos proporcionan la gestión de las direcciones de dispositivos, el descubrimiento, el enlace (binding) y las funciones de una aplicación ZigBee constan de un conjunto de Aplicación Objetos (PA), repartidos en varios nodos de la red. Una APO es una pieza de software (desde una aplicación de operación) que controla una unidad de hardware (transductor, switch, lámpara) disponible en el dispositivo. Cada APO se le asigna un localmente número de punto final único que sí los PA puede utilizar como una extensión a la dirección del dispositivo de red para interactuar con él.

El objeto de dispositivo ZigBee (ZDO) es un objeto especial que ofrece servicios a los profesionales asociados: se les permite descubrir dispositivos en la red y el servicio que implementan. También proporciona la red y gestión de la seguridad servicios. La aplicación Subcapa (APS) proporciona datos que transfieren los servicios para los PA y la ZDO.

ZDO no es más que una representación de una base predefinida sobre la cual son escritas todas las aplicaciones. Esta se encarga de crear una abstracción, así el desarrollador puede enfocarse en escribir el código de una aplicación específica en vez de preocuparse por los detalles de bajo nivel. El ZDO además también proporciona una interfaz entre los objetos de la aplicación, el perfil ZigBee Health Care y la subcapa de soporte de la aplicación (APS). El ZDO solo es responsable por la inicialización de las APS, la capa de red (NWK) y el proveedor de servicios de seguridad. Los objetos de dispositivos ZigBee ZigBee Device Objects, ZDO representan la clase base de las aplicaciones de seguridad incluidos en la capa del framework de aplicación de la pila de protocolo de ZigBee.

**Perfil de Aplicación:** Un perfil de aplicación especial, llamado el perfil del dispositivo, debe ser implementado por todos los nodos en una red ZigBee. El objeto responsable de este perfil es el ZDO. El perfil Device exige a sus objetos de aplicación (ZDOs) para apoyar los procedimientos de detección de dispositivos / servicios en el que un nodo intenta descubrir nodos existentes en la red, los puntos finales activos en algún nodo y / o los servicios que implementan (ids racimo disponible). Procedimientos de detección son fundamentales para hacer frente a APO. En el modo de direccionamiento directo de un mensaje se dirige a una dirección específica de destino (dirección de red de 16 bits) y el número de punto final y el nodo emisor es responsable de descubrir tanto a través de los servicios de descubrimiento ZDO. Sólo el modo de direccionamiento indirecto requiere el remitente para suministrar un ID de clúster, pero necesita el apoyo de un país vecino (o local) del router ZigBee (o coordinador) para localizar el nodo (s) de destino para el mensaje. [12]

**Arquitectura de Seguridad:** Existen unas claves de 128 bits que ZigBee en sus mecanismos de seguridad. Una clave puede asociarse a una red (utilizable por los niveles de ZigBee y el subnivel MAC) o a un enlace (en tal caso, adquirida por preinstalación, acuerdo o transporte). Estas claves de enlace se

establecen basándose en una clave maestra que lo hace es controlar la correspondencia entre claves de enlace. Como mínimo la clave maestra inicial debe obtenerse por medios seguros (transporte o preinstalación), debido a que la seguridad de toda la red depende de ella en última instancia. Los diferentes servicios usarán variaciones unidireccionales (one-way) de la clave de enlace para evitar riesgos de seguridad.

El nivel de aplicación ofrece servicios de establecimiento de claves al ZDO y las aplicaciones, y es responsable de la difusión de los cambios que se produzcan en sus dispositivos a la red. Los cambios realizados son causados por los propios dispositivos (un cambio de estado sencillo) o en el centro de confianza, que puede ordenar la eliminación de un dispositivo de la red. También encamina peticiones de los dispositivos al centro de seguridad y este propaga a su vez a todos los dispositivos las renovaciones de la clave de red realizadas por el centro.

ZigBee y sus aplicaciones se comunican usando el estándar de wireless IEEE 802.15.4 que especifica que hay dos capas, la capa física (PHY) y la capa de control de acceso al medio (MAC). ZigBee lo que hace es construir en estas capas una capa de red (NWK) y otra de aplicación (APL). La capa de MAC proporciona servicios de que lo que hacen es permitir la fiabilidad y la comunicación directa entre dispositivos. La capa de red (NWK) proporciona enrutamiento y funciones de multi-hop que se puedan necesitar para crear cada una de las topologías que se necesiten como la de estrella, malla, árbol, etc. La capa APL incluye la subcapa de soporte de aplicación (APS), los ZDO y las aplicaciones. El ZDO es responsable de absolutamente toda la gestión de dispositivos mientras que la capa APS lo que hace es solo proporcionar el servicio necesario para los ZDO y las aplicaciones ZigBee. [13]

#### Características Del ZDO

ZigBee posee un identificador de perfil de aplicación de 0x0000. Todos los dispositivos de ZigBee apoyan una. El punto final reservado llamó a los objetos de dispositivo ZigBee (ZDO) punto final. El punto final se elabora o ejecuta en ZDO endpoint 0 y soporta clusters en el perfil ZigBee dispositivos. Todos los dispositivos que admiten los dispositivos ZigBee Racimos del perfil apoyan endpoint 0.

ZDO contiene las siguientes características:

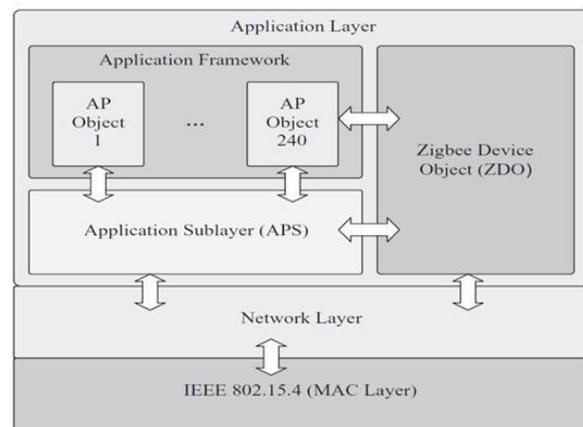
- Ve a la tabla de vecinos en cualquier dispositivo en la red
- Ve la tabla de enrutamiento en cualquier dispositivo en la red
- Observa los dispositivos finales niños de cualquier dispositivo de la red
- Obtiene una lista de extremos apoyados en cualquier dispositivo en la red
- Obliga a un dispositivo para salir de la red
- Activa o desactiva el atributo de permiso a participar en uno o más dispositivos. [14]

La tecnología ZigBee es un protocolo de comunicaciones inalámbrico afín al Bluetooth, y basado en LR-WPAN. Este estándar inalámbrico proviene de la asociación de más de 200 empresas, la mayoría de estos fabricantes de semiconductores, con el objetivo de conseguir el desarrollo e implantación de una

tecnología inalámbrica de bajo costo.

El estándar fue planteado pensando en la sencillez de la implementación y el bajo consumo, sin disipar potencia ni posibilidades. ZigBee amplía el estándar IEEE 802.15.4, aportando una capa de red NWK, Network Layer que tramita la tareas de enrutamiento y de mantenimiento de los nodos de la red; además maneja un entorno de aplicación que lo que hace es proporcionar una subcapa de aplicación (APS, Application Sublayer) la cual establece una interfaz para la capa de red, y los objetos de los dispositivos tanto de ZigBee como del diseñador.

ZigBee posee características fundamentales y dentro de estas está su operación en las bandas libres ISM de 2.4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (Estados Unidos). Tiene una velocidad de transmisión de 250 Kbps y un rango de cobertura de 10 a 75 metros. Pese a coexistir en la misma frecuencia con otro tipo de redes, como WiFi o Bluetooth, su trabajo no se ve afectado, esto debido a su baja tasa de transmisión y a características propias del estándar IEEE 802.15.4. Obtiene la capacidad de operar en redes de gran densidad, esta característica ayuda a acrecentar la confiabilidad de la comunicación ya que entre más nodos existan dentro de una red, mayor número de rutas alternas existirán para garantizar que un paquete llegue a su destino. [15]



#### CONCLUSIONES

Las redes de sensores en la última década se han convertido en tal vez uno de los avances más significativos con multitud de útiles aplicaciones.

Por ello, el principal objetivo de este artículo ha sido la realización de una revisión general a las redes de sensores donde conocimos el funcionamiento, características, componentes, la tecnología con la cual se está trabajando como Zigbee y la importancia para los desarrolladores de esta tecnología la herramienta ZDO, centrándonos primeramente en su descripción conceptual básica, sus características, así como también en los principales retos que supone tanto su desarrollo, como su implantación y mantenimiento, esbozando algunas aspectos de Zigbee con otros estándares como IEEE802.15.4 para sus capas inferiores y algoritmos clásicos.

En el artículo se detalla como existe todo un campo o especificación de aplicaciones en sistemas de baja transferencia de datos y baja energía y bajo costo en el cual ZigBee compete favorablemente, por lo cual su uso en las redes de sensores es de mucha importancia y además concibe muchos beneficios.

## REFERENCIAS

- [1] J. Serna, "Redes de sensores inalámbricas" Disponible en: <http://www.uv.es/~montanan/ampliacion/trabajos/Redes%20de%20Sensores.pdf>
  - [2] LÓPEZ, Sergio Aldea; CUADRILLERO, Miguel Ángel Jiménez; YAGÜEZ, Álvaro García. Redes de Sensores.
  - [3] W. Dargie, C. Poellabauer, Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice. John Wiley & Sons, 2010.
  - [4] N. Chio Cho, et al, Redes de sensores inalámbricos. En Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica-UNAB. 2011.
  - [5] J. Yick, B. MUKHERJEE, D.GHOSAL, Wireless sensor network survey. Computer networks, vol. 52, no 12, p. 2292-2330, 2008.
  - [6] J. Ďurech, M. Franecková, Applications of control in intelligent house via ZigBee technology.
  - [7] E. O. Sosa, Contribuciones al establecimiento de una red global de sensores inalámbricos interconectados (Doctoral dissertation, Facultad de Informática), 2011.
  - [8] J. Dignani, Análisis del protocolo ZigBee, Tesis Doctoral, Facultad de Informática, 2012.
  - [9] S. Quiroz, Telecomunicaciones-Upb, Estudiante Especialización. Redes De Sensores Inalámbricos Utilizando Zigbee/802.15. 4.
  - [10] S. A. A. Quiroz, & Telecomunicaciones-UPB, E. E. REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS UTILIZANDO ZIGBEE/802.15. 4.
  - [11] P. Barontí, et al. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. Computer communications, vol. 30, no 7, p. 1655-1695, 2007.
  - [12] J. Martín Moreno, & D. Ruiz Fernández, ZigBee (IEEE 802.15. 4), 2007.
  - [13] "Supporting ZDOs with the XBee API" [http://ftp1.digi.com/support/images/APP\\_NOTE\\_XBee\\_ZigBee\\_Device\\_Profile.pdf](http://ftp1.digi.com/support/images/APP_NOTE_XBee_ZigBee_Device_Profile.pdf)
  - [14] D. Valencia, S. Serna, Seguridad del hogar mediante integración de una red de área personal ZigBee con la red de telefonía móvil celular GSM
  - [15] A. SWAMI, et al. Wireless Sensor Networks. Signal Processing and Communication Perspectives, p. 102-114, 2007.
  - [16] J. LI, et al. Study on ZigBee network architecture and routing algorithm. En Signal Processing Systems (ICSPS), 2010 2nd International Conference on. IEEE, p. V2-389-V2-393, 2010.
  - [17] M. Zhou, Nie, Zhang-Long. Analysis and design of ZigBee MAC layers protocol. En Future Information Technology and Management Engineering (FITME), 2010 International Conference on. IEEE, p. 211-215, 2010.
  - [18] J. Blumenthal, et al. Weighted centroid localization in zigbee-based sensor networks. En Intelligent Signal Processing, WISP 2007. IEEE International Symposium on. IEEE, 2007. p. 1-6, 2007.
  - [19] D. Gislason, ZigBee wireless networking. Newnes, 2008.
-