

**INFORME DE SEMINARIO**

# **MONITOREO Y TRATAMIENTO DE SEÑALES BIOMÉDICAS**

**Expositor(es):**

**Juan Gonzalo Zuluaga Botero**

**Lugar y fecha:**

**Medellín, Colombia (Instituto Tecnológico Metropolitano)**

**7 de junio de 2016**

**Dione Arias Palacios**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas**

**Ingeniería Biomédico**

**24 de octubre de 2016**

## MONITOREO Y TRATAMIENTO DE SEÑALES BIOMÉDICAS

### 1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento y monitoreo de señales biomédicas, cuenta con avances tecnológicos en cuanto al hardware y software en áreas de integración en electrónica, telecomunicaciones y sistemas, estas tienen como sub-áreas más influyentes a la nanotecnología, las comunicaciones inalámbricas y las aplicaciones en el manejo de información y tratamiento de señales.

El software brinda un aporte tecnológico como lo es Matlab, una herramienta con diversas utilidades, para este curso (monitoreo y tratamiento de señales biomédicas) se implementó en el tratamiento de señales ECG y el diseño de filtros de las mismas.

Uno de los parámetros físicos y fisiológicos más comunes y prácticos de tomar es la temperatura, debido a que existen diferentes sensores que captan esta en cuestión de pocos segundos/milisegundos, en la práctica esta señal fue adquirida y enviada por módulo GSM (Sistema global de comunicaciones móviles) denominado estándar de segunda generación (2G) uno de los más usados en Europa que permite transmisiones de voz y de datos digitales de volumen bajo, este sistema utiliza la tecnología móvil celular con el fin de conocer el tratamiento y monitoreo remoto de señales biomédicas.

La tecnología ZigBee, es un subsistema en la parte de comunicaciones inalámbrica la cual en el estado del arte es la más apropiada para la implementación de WSN (redes de sensores inalámbricos) que puede integrarse en el módulo XBee (Hardware que utiliza el protocolo ZigBee) por medio del puerto serial/USB al computador y de esta manera intercambiar datos en tiempo real, esta implementación puede potencializar grandes aplicaciones en la

biomedicina y amplias aplicaciones en otras áreas, alguna de ellas descritas en este trabajo, ejem, seguridad, industria (registra control de proceso y ambiental, así como el consumo de energía, potencia y velocidad a la que gira el motor de una maquina), control de temperatura, humedad, iluminación y acceso, en domótica sirve para integrar equipos como los del televisor, DVD y controles remotos en una sola red, así como pasar computadores, mouse y teclado de alámbricos a inalámbricos. Aplicaciones en el área de la salud, donde se tiene el monitoreo remoto de signos vitales en pacientes internos, este mide señales fisiológicas como ECG ,latido, y temperatura corporal, también se puede medir el ambiente que rodea a un paciente en la habitación (temperatura y humedad), estos parámetros pueden ser enviados a través del protocolo ZigBee de una clínica a otra, además ZigBee es utilizado en rehabilitación, adecuación de lugares y bienes de hogar haciendo de ellos zonas asequibles a personas discapacitadas.

ZigBee es una herramienta inalámbrica que a pesar de su corto tiempo en haber surgido (año 2003), abre un campo amplio para la investigación en la ingeniería biomédica en la rama de la salud, debido a que tenido un gran número de casos de éxito en el monitoreo y envío remoto de señales fisiológicas, facilitando a pacientes y profesionales de la salud su movilidad cuando se requiera un procedimiento.

Teniendo en cuenta que el monitoreo remoto de señales biomédicas hace parte de lo que actualmente se trabaja como innovación biomédica y que esta forma de trabajar se está imponiendo actualmente gracias al uso de las redes, siendo ZigBee una puerta al campo de la telemedicina de bajo costo, en comparación a tecnologías similares como Bluetooth y Wi-Fi, ZigBee que administra una mayor cantidad de redes con una batería de poco tamaño, consumo de corriente de hasta 30 mA y envía datos a distancias iguales o mayores a las tecnologías mencionadas anteriormente.(100m hasta aprox. 1500m dependiendo de la antena que tenga el módulo).

## 2. ESTADO DEL ARTE

**2.1 Objetivo:** Buscar en diferentes bases de datos artículos de investigación y escritos sobre el uso de tecnología ZigBee en aplicaciones biomédicas, considerando a este una herramienta computacional para el monitoreo remoto y tratamiento de señales y una tecnología reciente en comunicaciones inalámbricas en redes de sensores que permite la accesibilidad en lugares apartados incursionándose como una nueva alternativa en el área de la telemedicina.

**2.2 Metodología:** Teniendo como referencia el material de apoyo brindado en el seminario (*monitoreo y tratamiento de señales biomédicas*), tanto explicación y apuntes brindados por el expositor del mismo, se elige un tema y posteriormente se realizará una investigación en distintos documentos (artículos) para sustentar este escrito. Principalmente se tendrá en cuenta las aplicaciones biomédicas que se han realizado en base a las tecnologías inalámbricas tomando el protocolo ZigBee como un desarrollo que se ha ido incursionando rápidamente en el entorno social y de salud. Nos apoyamos en las siguientes bases de datos, en su mayoría proporcionas por el ITM (Instituto Tecnológico Metropolitano). IEEE, Scielo, Science Direct y Google Académico, todas ellas acreditadas y contienen información de investigaciones realizadas en diferentes países alrededor del mundo por diferentes autores.

Palabras claves: ZigBee, biomédica, salud, tecnología inalámbrica, sensores y telemedicina.

## 2.3 Estado del arte

### 2.3.1 Tecnología ZigBee y sus aplicaciones biomédicas en diferentes áreas

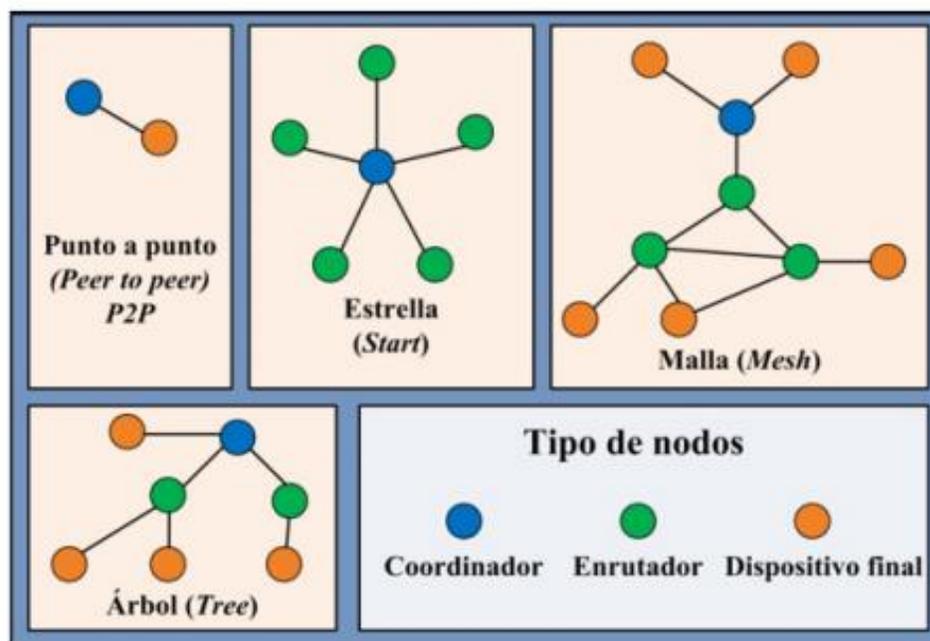
Actualmente, una de las principales tecnologías inalámbricas que se utilizan para intercambiar rápidamente información en redes de área local es ZigBee. Esta tecnología fue estandarizada como IEEE 802.15.4 (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica), en mayo de 2003 [1], desde entonces, se ha venido utilizado para crear las WPAN (Wireless Personal Area Network) [2].

El protocolo ZigBee, se caracteriza principalmente por tener bajo consumo de potencia (menor de 10uA), bajo costo de energía, alta seguridad, con alcances de 30 a 300 metros (puede llegar hasta 1,6Km dependiendo del tipo de antena) en LOS (Línea de vista) y velocidades de transmisión que son del orden de 250kbps [3].

Estas características han reconocido a ZigBee a nivel mundial como una de las más importantes aplicaciones en WSN (Wireless Sensor Network) utilizados especialmente para seguimiento y control [4]. Así como también se plantea que esta tecnología llegará hacer el reemplazo del Bluetooth debido a sus características, además pueden crear redes de hasta 64000 nodos en una misma red [5]. Otra de las características principales es el rango de potencia, que funciona entre 2.7 voltios a 3.6 voltios, siendo 3.3 voltios (V) el estándar o valor medio recomendado. Tiene un consumo de corriente de 220mA en la transmisión y 62mA en recepción y un nivel de bajo consumo de 4uA a 25°C, esto en modo Sleep (descanso). Puede trabajar normalmente en un rango de temperatura entre

los  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $+85^{\circ}\text{C}$  y una humedad de máximo 95% no condensable [6]. Además la relación de la tasa de transmisión y la velocidad de datos difiere de 20 Kbit/s (banda de 868 MHz) a 250 Kbit/s (banda de 2,4 GHz) [7].

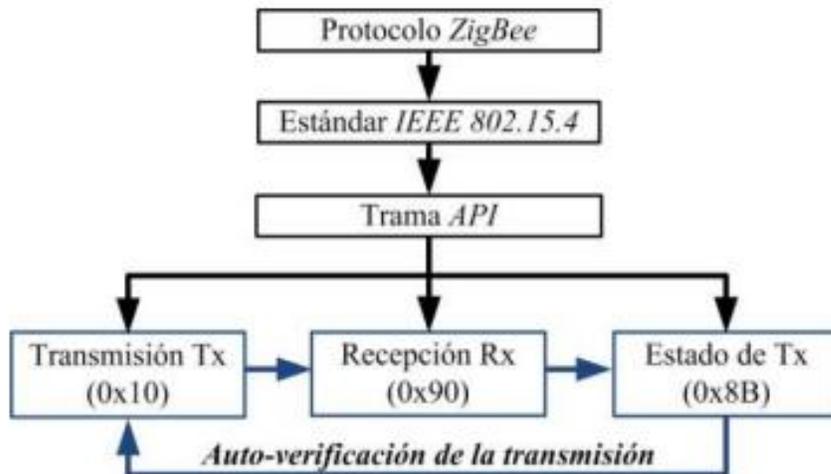
Para el diseño de una red de sensores inalámbricos (WSN), basada en el protocolo ZigBee se debe definir el trazado de la conexión de los dispositivos o topologías que estructuran la red, en la cual cada dispositivo cuenta con una función predeterminada como: nodo coordinador (administra la red), router (enrutador de la red) y end device (dispositivo final de la red). De esta manera en la Fig. 1 Se presentan gráficamente las principales topologías de la tecnología ZigBee, a saber: Punto a punto, Estrella, Malla y Árbol [8].



**Fig. 1** Topología ZigBee. Este tipo de topologías nos permite diseñar nuestra estructura de red más conveniente al sistema de comunicaciones requerido.

*Tomado de [8].*

El protocolo ZigBee, se debe atribuir una ventaja en el modo de comunicación API (Application Programming Interface), donde se trasmite la información que se observa en el esquema (Figura. 2), el requerimiento (0x10), recibe paquetes (0x90) y Tx status (0x8b), [4].



**Fig. 2** Estructura de comunicación en modo API. Muestra la estructura de comunicación API para módulo ZigBee. Tomado de [4].

En la (figura 3) se determinan los parámetros de la trama de transmisión (Tx) y de recepción (Rx) en modo API [9]

Tx	7E	00	0F	10	01	00	00	00	00	00	00	FF	FF	FF	FE	00	00	FF	F4
	SD	MSB	LSB	FT	FID	Dirección de destino 64 bit						16 bit		R	O	Dato	CK		
Rx	7E	00	0D	90	00	13	A2	00	40	6F	44	5E	00	00	02	FF	68		
	SD	MSB	LSB	FT	Dirección de quien envia 64 bit						16 bit		O	Dato	CK				

**Fig. 3** Trama de comunicación en modo API Tx y Rx. El texto en color morado describe la trama para el envío de datos (Tx) y el texto en color rojo la recepción de la información (Rx), de esta manera la trama Tx envía en este caso el Dato **FF** en código hexadecimal de 8 Bits y se puede apreciar que en la trama Rx se recibe el mismo Dato **FF**, por lo tanto el envío del dato no cambia entre Tx y Rx, pero las tramas si son diferentes. Tomado de [9].

### 2.3.2 Comparaciones y beneficios de la tecnología ZigBee (Autores)

En la Tabla I., se toman tres tecnologías inalámbricas Wi-Fi (rojo), Bluetooth (Negro) y ZigBee (azul), en diferentes artículos [5], [10] y [11] todos coincidieron con las características del ZigBee para soportar sus escritos.

**Tabla I.** Comparación de tecnologías inalámbricas

<b>Autor</b>	<b>Estándares</b>	<b>Wi-Fi (802.11)</b>	<b>Bluetooth (802.15.1)</b>	<b>ZigBee (802.15.4)</b>
<b>[5]</b>	Ancho de banda (Megabits/seg)	11.0	1.0	0.25
	Duración de la batería	1-3 horas	4-8 horas	1-2 años
	Rango de transmisión (metros)	1-100	1-10	1-100
<b>[10]</b>	Rango de transmisión (m)	1-100	1-10	1-100
	Duración de batería (días)	0,5 - 5	1 – 7	100 - 100
	Tamaño de red (número de nodos)	32	7	>64000
	Aplicación	Web, E-mail, video	Sustituto de cables	Monitoreo y control
	Tamaño de pila en (KB)	1000	250	4 - 32
	Tasa de transferencia (kb/s)	11000	720	20 - 250
	Costo del chip (USB)	4	3	1
	Consumo de corriente (mA)	350	65 - 170	30
	Capacidad de red	7	30	65000

<b>[11]</b>	(nodos)			
	Vida útil de la batería (días)	1	7	>365
	Velocidad de transmisión RF (Kbps)	54000	1000 - 3000	250
	Potencia de transmisión (mW)	40 - 200	1 - 100	1 - 2
	Frecuencia de radio (GHz)	2.4	2.4	0.868; 0.915; 2.4
	Rango de trabajo (metros)	30 - 100	1 - 100	1 - 100

De acuerdo a lo expuesto en la Tabla I, el más cercano competidor es la tecnología Bluetooth y Wi-Fi. Sin embargo, redes ZigBee puede admitir un mayor número de dispositivos y de más largo alcance en comparación con dispositivos Bluetooth. Además, ZigBee está diseñado para responder rápidamente, mientras que la tecnología Bluetooth y Wi-Fi tardan mucho más tiempo, esto hace referencia a que el tiempo de respuesta y de negociación de paquetes es más fácil en establecer una comunicación con el protocolo ZigBee.

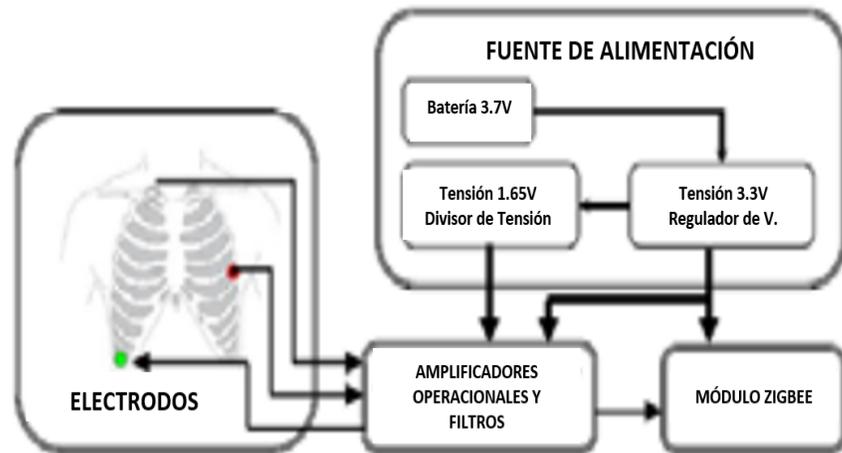
### **2.3.3 TECNOLOGÍA ZIGBEE EN APLICACIONES BIOMÉDICAS**

En las aplicaciones biomédicas, la transmisión de señales fisiológicas en el cuerpo humano, se compone de un cierto número de sistemas por ejemplo el aparato respiratorio, el sistema circulatorio, digestivo, entre otras. Cada uno de estos sistemas, también se compone de varios subsistemas que llevan a cabo numerosos procesos fisiológicos [12] , de allí que por medio de sensores se puedan captar una gran cantidad de estas señales para estudios y diagnósticos,

La señal típica en ser enviar por medio del protocolo ZigBee es la señal ECG (electrocardiograma), aunque no se descarta el monitoreo de otras señales fisiológicas.

Se han comparado diferentes tecnologías inalámbricas para la transmisión de señales como temperatura y ECG, debido a que regularmente las conexiones alámbricas reducen la movilidad de los pacientes sobre todo cuando se les debe realizar procedimientos médicos, de las tecnologías ZigBee obtuvo las mejores calificaciones en costo y valores medios en BER (Tasa de Error Binario), capacidad de transferencia, distancia de operación y potencia [13]. Además [13], en relación a la precisión de las medidas en la señal electrocardiográfica y la temperatura corporal, se determinó que el error promedio es del 2,65% con desviación estándar de 0,47% para la señal ECG y 1% para la señal de temperatura.

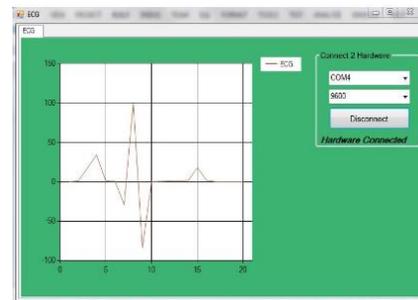
Las siguientes imágenes (*Figura 4 (a), (b) y (c)*) muestran el diagrama de bloques de la transmisión de las señales de ECG y la pantalla de visualización de los resultados de un paciente tomados de [10] y [13], donde se pueda apreciar que la señal obtenida está libre de interferencias. Las pruebas realizadas por [10] fueron comprobadas por cardiólogos que manifestaron que los resultados obtenidos son aptos para monitorización de pacientes, de esta manera esta aplicación nos garantiza una implementación viable para este tipo de exámenes médicos, que proporcionan al paciente mayor autonomía sin estar conectado directamente a un equipo de ECG [13].



**Fig. 4 (a)** Diagrama de bloques para la toma de las señales de ECG enviadas vía ZigBee. El bloque de la fuente de alimentación esta alimentado por una batería de celular de 3.7V, luego tiene dos etapas una en la cual mediante un divisor de tensión obtiene 1.6V para alimentar el bloque de amplificadores y filtros, y la otra parte con un regulador de voltaje obtiene 3.3V para alimenta el módulo ZigBee y a su vez la etapa de amplificadores y filtros, las señales tomadas por los electrodos son tratadas por el bloque de amplificadores y filtros para luego ser enviadas mediante el módulo ZigBee, posteriormente estas señales son recibidas por otro módulo ZigBee conectado al PC mediante el puerto USB-Serial y de esta manera se obtiene los resultados en **Fig. 4 (b)**. Tomado de [10].



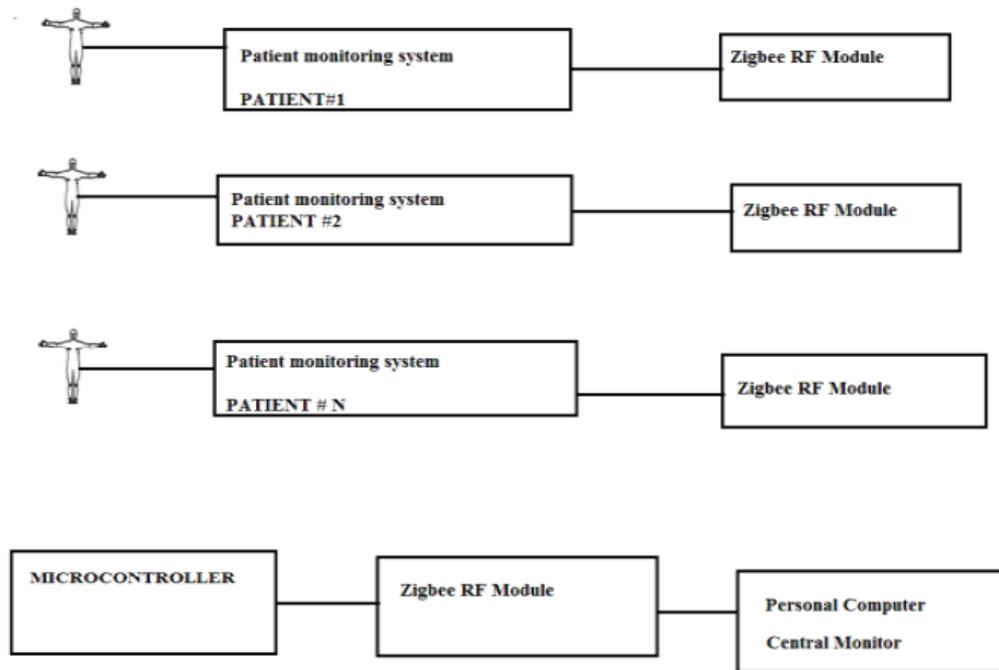
**Fig. 4 (b)** Muestra de resultados en tiempo real. Tomado de [10].



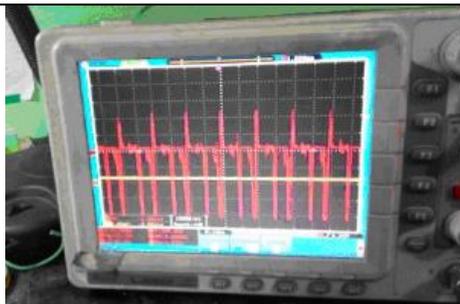
**Fig. 4 (c)** Muestra una señal de ECG enviada por módulo ZigBee. Tomado de [13].

En cuanto a la temperatura, ECG y latido, en [14] se ha utilizado la transmisión inalámbrica ZigBee para enviar los múltiples parámetros fisiológicos de varios pacientes en tiempo real. De esta manera los datos del paciente en cada nodo, se transfiere al nodo central que se configura en los hospitales y así detectar anomalías clínicas que sirven para tomar medidas oportunas (*Figura 5 (a), (b) y (c)*).

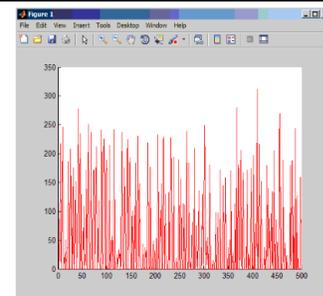
Además en [14] el autor plantea como trabajos futuros utilizando un microcontrolador de alimentación dual y obtener la forma de onda negativa del eje del ECG y otros sensores vitales no invasivos se pueden configurar fácilmente. Posibilitar la medición de la presión arterial, la humedad, dióxido de carbono, SpO2, frecuencia respiratoria y el pH de la sangre mediante el diseño especial de circuitos con sensores. También podemos enviar una notificación a los médicos que utilizan la aplicación Android vía celular. Por otra parte, si el médico o la clínica no están presentes durante una emergencia, un robot puede ser diseñado para tomar las medidas necesarias de forma automática y en particular proporcionar las atenciones para el paciente con respecto a un problema particular.



**Fig. 5 (a)** Diagrama de bloques de la aplicación. Muestra la conexión de módulos y procesos que se hicieron para transmitir datos de ECG y Temperatura de un paciente al módulo ZigBee, este modelo integra un microcontrolador para el procesamiento de las señales adquiridas del paciente y luego ser transmitidas por el módulo de radio frecuencia ZigBee. *Tomado de [14].*



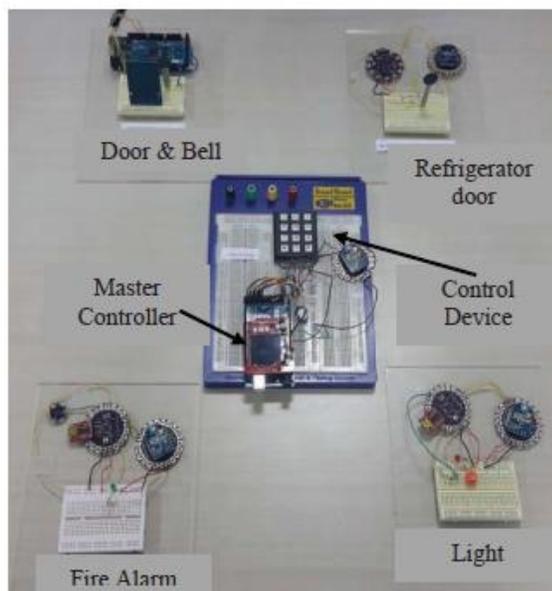
**Fig. 5 (b)** La muestra de resultados en tiempo real mediante un osciloscopio. *Tomado de [14].*



**Fig. 5 (b)** La muestra de resultados en tiempo real mediante el software de Matlab. *Tomado de [14].*

En **Rehabilitación** [15] crea un sistema que transforma la salida del sistema basado en las necesidades especiales del usuario. Este sistema proporciona a los invidentes salidas con voz- y vibraciones, a los sordos con luces y vibraciones y a los discapacitados mudos salidas con luces y vibraciones.

El usuario puede controlar el encendido de luces presionando el botón '1' en el teclado, cuando el usuario presiona la tecla '2', la luz se apaga, además para abrir la nevera presiona la tecla '3' (*Figura 6*) [15].

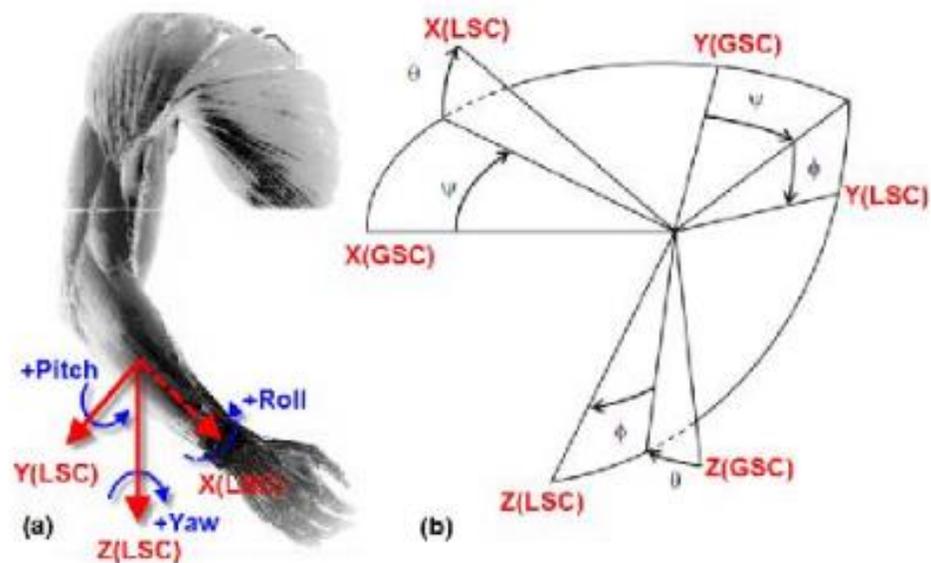


**Fig. 6** Prototipo del sistema. La imagen muestra el diseño del control y los diferentes tipos de sensores diseñados para suplir funciones básicas de personas discapacitadas *Tomado de* [15].

En [16], se introduce una nueva herramienta en biomecánica, que se obtiene un registro de la cinemática en los movimientos de los pacientes en rehabilitación, que tuvieron secuelas causadas por accidentes cerebro-vasculares. El diseño y desarrollo de sensores portables de bajo costo y comunicación en telemetría, permite la adquisición de datos cuantitativos que pueden utilizarse como

realimentación durante las rutinas de terapia de rehabilitación convencional y/o asistida por robótica.

En la *Figura 7*, se presenta el esquema de rehabilitación de un paciente con trauma en el brazo, de esta manera se implementa un sistema de sensores IMU (Unidad de Medición Inercial) que consiste en; Magnetómetro (mide la fuerza y la dirección Yaw), Giroscopio (mide los movimientos rotacionales Pitch y Roll) y Acelerómetro (mide la velocidad de los movimientos), ubicados en el punto de eje coordenado (0,0,0) en (a), el cual nos envía los datos a través del módulo ZIMUED basado en el protocolo ZigBee, esta aplicación también es utilizada en el campo deportivo de alto rendimiento para perfeccionar los movimiento en el atleta [16].



**Fig. 7** (a) Sistema de ejes coordenadas del segmento. (b) Sistema Coordenadas Local (LSC) y Sistema Coordenadas Global (GSC). Tomado de [16].

En [16] la implementación del sistema inalámbrico para uso portable en rehabilitación mediante el módulo ZigBee es una fuente confiable de adquisición de datos cinemáticos, lo que sumado a las ventajas ya descritas del sistema promete constituir un importante avance en rehabilitación robótica con biofeedback. La continuación de esta investigación a través de la adquisición de señales electromiográficas y la continuación de la validación del sistema en pacientes permitirán ponderar mejores perspectivas del aporte real de esta innovación en el campo de la rehabilitación de miembro superior.

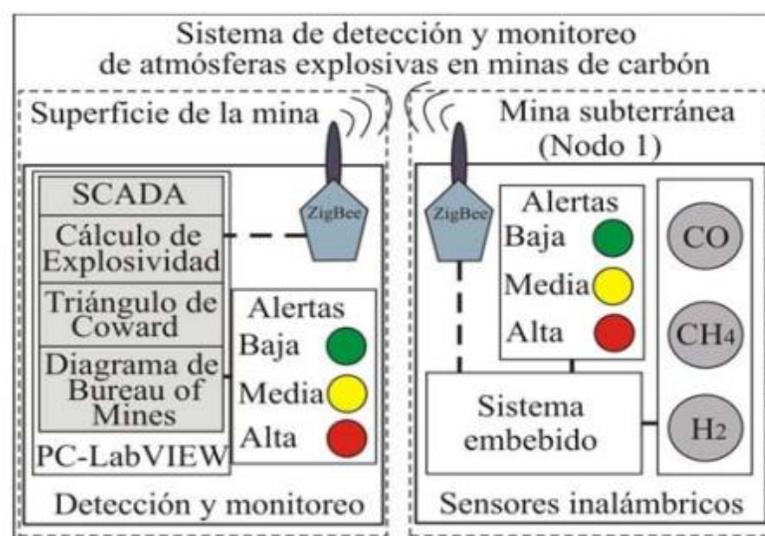
Es importante abordar el concepto de telemedicina quedaría circunscrito a la atención médica en un ámbito institucional, mediante la interrelación de los hospitales entre sí para el desarrollo de cirugías, diagnósticos u otros procedimientos remotos. Adicionalmente a las falencias en la infraestructura de los centros de salud, hay que agregar las dificultades en la comunicación con las regiones remotas (incluso con los anillos urbanos marginales) y la escasa formación en transmisión de datos y manejo de computadoras que sufre un sector importante de los profesionales de la salud en América Latina [17].

ZigBee tiene aplicaciones biomédicas en el control de pacientes, y medidores de alarma en terapia intensiva. En el caso de hoteles: para controlar el acceso a las habitaciones, también en el monitoreo ambiental: en aplicaciones de redes de sensores como temperatura, humedad, presión, redes de protección de incendio, etc. La tendencia es que en un futuro cercano se tendrá la “Internet of things” en donde todas las cosas estarán conectadas. Más aún se habla hoy de BAN (Body Area Network), en donde hay una red de sensores dentro del cuerpo de una persona. Así, por ejemplo, un paciente puede medir su nivel de glucosa, ritmo cardíaco, temperatura y enviar los datos a un servidor, o alertar en una red por una situación de emergencia médica [18].

### 2.3.3 APLICACIONES ZIGBEE EN OTRAS ÁREAS

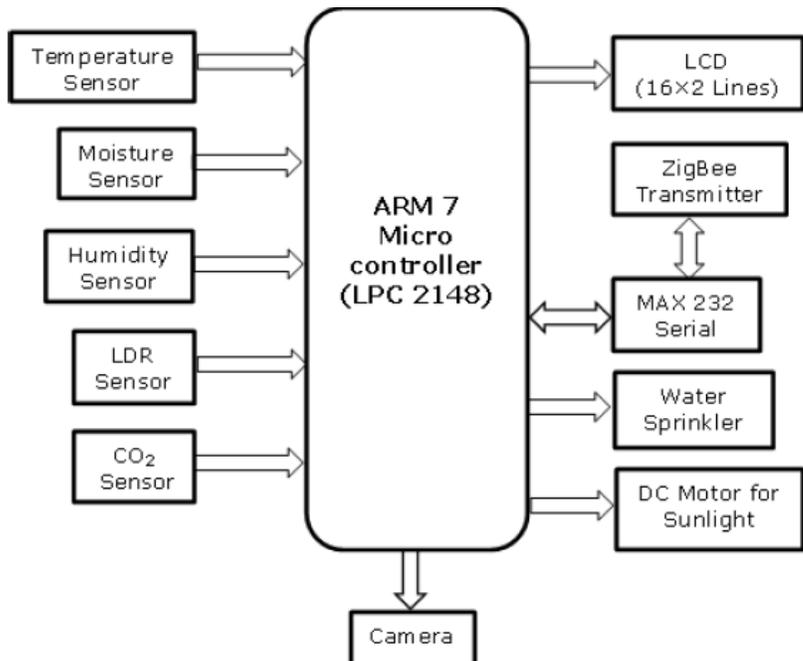
En **educación**, [19] se propone un modelo de aprendizaje que integre las áreas de aplicación en la robótica, a través de redes inalámbricas basadas en el protocolo ZigBee y la programación en lenguaje gráfico LabVIEW.

En **Seguridad Minera**, [20] este sistema sirve para calcular los índices de atmósferas explosivas en minas subterráneas de carbón, mediante la adquisición de datos de forma inalámbrica, usando en el protocolo ZigBee (*Figura 8*).



**Fig. 8** Esquema del sistema de detección y monitoreo SCADA basado en el protocolo ZigBee. *Tomado de [20].*

En la **agricultura**, [21] se diseña un uso eficiente de la energía basada en ZigBee, alerta y vigilancia ambiental del sistema de control para la agricultura, como se muestra la implementación del nodo transmisor (*Figura 9*).



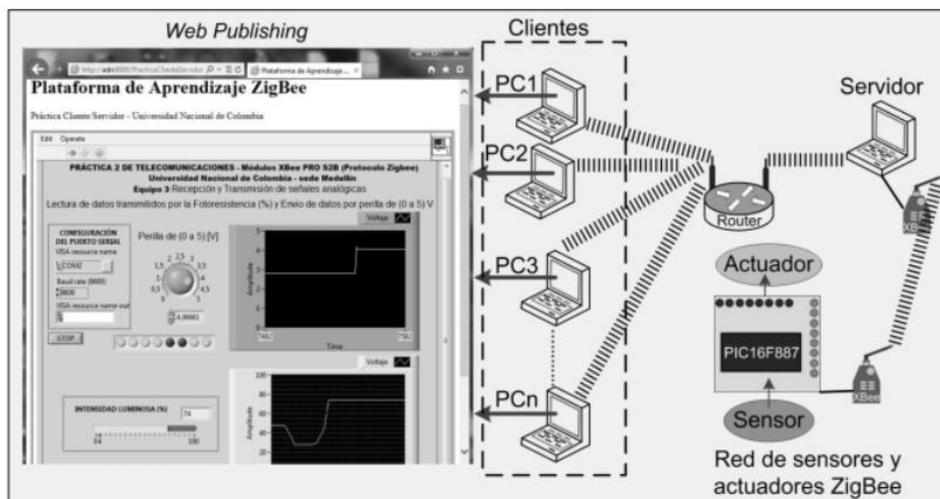
**Fig. 9** Nodo de transmisión arquitectura Microcontrolador y ZigBee. Tomado de [21].

En **Sistemas de iluminación** [22], se desarrolla en la vía con detección vehicular para detectar la baja intensidad de luz basado en la tecnología ZigBee, para el ahorro de iluminación.

En **Sistemas de Transportes Inteligentes** (ITS), en [23] el diseño y el control de robot auto-balanceado sobre dos ruedas es constituido como un importante avance tecnológico para la movilidad de transporte urbano del futuro, por lo tanto, es una alternativa viable de solución al sistema de transporte inteligente, de esta manera se elabora un sistema realimentado de monitoreo y de control en tiempo real, basado en una red inalámbrica, para sintonizar su punto de equilibrio y verificar el funcionamiento del sistema, por medio de la integración del protocolo ZigBee (estándar IEEE 802.15.4), con el entorno gráfico de programación LabVIEW, con un modelado 3D, que permite visualizar la dinámica del movimiento en el robot.

En el uso de **recursos industriales**, como lo es el caso de vehículos de carga (montacargas), en [24] se implementa el uso de la tecnología ZigBee con el propósito de monitorear la actividad de desempeño de los vehículos, los cuales brindan información sobre su estado, utilización tiempo de trabajo y tiempos muertos.

En **sistemas interconectados ZigBee – red LAN** [25] se presenta una plataforma de comunicación inalámbrica, de bajo costo, basada en el protocolo ZigBee. Se ha diseñado con el propósito de fortalecer el uso de las tecnologías de la información en el aula de clase. Las guías de las prácticas de laboratorio a desarrollar están enfocadas a estudiantes de pregrado en ingeniería para el área de las telecomunicaciones. La estructura de la plataforma se compone de: Prácticas de laboratorio diseñadas a medida, herramientas web, sistema embebido de comunicación inalámbrica con adquisición de datos en tiempo real, e interface gráfica Human Machine Interface (HMI) en LabVIEW, la cual registra los datos de señales analógicas y digitales (*Figura 10*).



**Fig. 10** Sistema interconectado ZigBee - red LAN cliente/servidor. *Tomado de [25].*

En **Sistemas de variables ambientales**, se presenta un caso de éxito local (Medellín, Colombia) la implementación del SIATA (Sistema de Alerta Temprana), un proyecto del Área Metropolitana del Valle de Aburrá que tiene como objetivo **alertar** de manera oportuna a la comunidad sobre la probabilidad de ocurrencia de un evento hidrometeorológico extremo que pueda generar una situación de emergencia y así **reducir** los impactos ante una amenaza, por esto se debe tener conocimiento del comportamiento de las lluvias, la temperatura, la humedad relativa del ambiente, la dirección y velocidad del viento, el nivel de las quebradas y el nivel de saturación del suelo, para generar alertas mucho más confiables para la comunidad [26].

### 3. CONCLUSIONES

Los resultados de la búsqueda por diferentes bases de datos dieron muestra de los beneficios del protocolo ZigBee estandarizado por IEEE 802.15.4 como una tecnología confiable del área de sensores de redes inalámbricas (WSN) de corto alcance en el ámbito de la salud, teniendo efectos positivos y reales en la transmisión de señales como ECG, temperatura, latido, medición de la biomecánica de las extremidades superiores e implementaciones de sensores en el área de rehabilitación para facilitar el quehacer de personas con capacidades diferentes, lo que lleva a este protocolo a ser una nueva herramienta en el ámbito de la telemedicina de bajo costo y duradero, facilitando a los profesionales de la salud un rápido acceso a la información de sus pacientes y la movilidad de los mismos. En resumen, los artículos mencionados en este documento describen la tecnología ZigBee como una de las red inalámbrica de área personal que consta de un modelo robusto, flexible, económico y de baja potencia que permite ser aplicable a diferentes areas debido a su principal característica, funcionar con batería durante varios años en cualquier lugar del mundo.

ZigBee puede llegar a formar una red inalámbrica que permita enviar parámetros fisiológicos debido a que una gran mayoría de estos son datos numéricos, además encontramos un gran número de clínicas y laboratorios que trabajan u operan en una misma área, lo cual facilitaría por medio de esta red inalámbrica la lectura de exámenes médicos y comodidad a los pacientes debido a que no tendrán que trasportarse para reclamar sus resultados.

#### 4. REFERENCIAS

- [1] A. A. Altun and N. Bascifci, "A wireless sensor network based on zigbee for ECG monitoring system," *2011 5th Int. Conf. Appl. Inf. Commun. Technol.*, pp. 1–5, 2011.
- [2] Motorola lab, "Low Power Consumption Features of the IEEE 802.15.4/ZigBee LR-WPAN Standard," 2003.
- [3] "ZigBee Alliance." [Online]. Available: [www.zigbee.org](http://www.zigbee.org).
- [4] A. Romero, C. Marín, J. A. Jiménez, and J. Orozco, "Integration in wireless sensor networks (WSN) IEEE 802.15.4-802.11 for industrial automation," *2013 2nd Int. Congr. Eng. Mechatronics Autom. CIIMA 2013 - Conf. Proc.*, vol. 2, 2013.
- [5] X. Hu, J. Wang, Q. Yu, W. Liu, and J. Qin, "A Wireless Sensor Network Based on ZigBee for Telemedicine Monitoring System," *2008 2nd Int. Conf. Bioinforma. Biomed. Eng.*, pp. 1367–1370, 2008.
- [6] Digi, *XBee®/XBee-PRO S2C ZigBee®*. 2015.
- [7] J. H. Biddut, N. Islam, R. S. Sultana, A. Sarker, and M. M. Rahman, "A New

- Approach of ZigBee MAC Layer Design Based on Security Enhancement,” 2015.
- [8] A. Romero, A. Marín, and J. Jimenez, “Adquisición De Datos Para La Identificación De Atmósferas Explosivas En Minas Subterráneas De Carbón Mediante WSN,” *Boletín Ciencias la Tierra*, vol. 0, no. 34, pp. 34–41, 2013.
- [9] J. R. A. A. M. C. A. & Jiménez Builes, “Red de sensores inalámbricos para el monitoreo de alertas tempranas en minas subterráneas: una solución a la problemática de atmósferas explosivas en la minería de carbón en Colombia,” *Ing. y Desarro.*, vol. 31, no. 2, pp. 227–250, 2013.
- [10] I. L. T. F. O. A. M. L. S. Víctor Fabián Zena Giménez, “Monitor Electrocardiográfico con Tecnología Inalámbrica ZigBee,” *Bioingeniería*, vol. I, no. 36, pp. 50–56, 2008.
- [11] F. Perez, E. Valdés, and O. Arias, “Sistema de adquisición de datos con comunicación inalámbrica,” *Rev. Ingeniería Electrónica, Automática y Comun.*, vol. 34, no. 3, pp. 63–73, 2013.
- [12] O. Abiodu and A. Francis, “Wireless transmission of biomedical signals using the Zigbee technology,” *2nd Int. Conf. Emerg. Sustain. Technol. Power ICT a Dev. Soc. IEEE NIGERCON 2013 - Proc.*, pp. 187–190, 2013.
- [13] D. Ballesteros, H. Melo, and A. Maya, “Sistema de transmisión inalámbrica de señales ECG y de temperatura para ambientes hospitalarios (SINHO),” vol. 4, no. 7, pp. 55–63, 2010.
- [14] S. Sharma and R. Vashisth, “Zigbee Based Centralised Patient Monitoring System,” pp. 212–217, 2016.
- [15] R. Aburukba, A. R. Al-Ali, N. Kandil, and D. Abudamis, “Configurable ZigBee-based control system for people with multiple disabilities in smart homes,”

*2016 Int. Conf. Ind. Informatics Comput. Syst. CIICS 2016*, 2016.

- [16] M. Frisoli, C. Cifuentes, A. Frizera, A. Santiago, and A. Braidot, "Sensor Portable para Registro Cinemático por Comunicación ZigBee," 2012.
- [17] S. Litewka, "Telemedicina: Un Desafío Para América Latina," *Acta Bioeth.*, vol. 11, no. 2, pp. 127–132, 2005.
- [18] J. Dignani, "Análisis del protocolo zigbee," p. 42, 2011.
- [19] A. Romero, A. Marín, and J. Jimenez, "Modelo de Aprendizaje basado en Robótica Educativa en Lenguaje de Programación Gráfico," pp. 1–5, 2013.
- [20] A. Romero, A. Marín, and J. A. Jiménez, "SCADA system for detection of explosive atmospheres in underground coal mines through wireless sensor network," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 12, no. 8, pp. 1398–1403, 2014.
- [21] J. Madhhuri, K. L. Krishna, and K. Anuradha, "A ZigBee based Energy Efficient Environmental Monitoring Alerting and Controlling System," 2016.
- [22] V. S. P. Nayak, A. V. Krishna, A. Rangari, B. Sammunayak, and K. Madhukar, "Development Of Street Lighting System With Vehicular Sensing At Low Light Intensity Based On Zigbee Intelligence," *2016 Fifth Int. Conf. Recent Trends Inf. Technol.*, 2016.
- [23] A. Romero, M. Alejandro, and J. Jovani, "SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA UN ROBOT AUTOBALANCEADO SOBRE DOS RUEDAS MODELADO EN 3D MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR A TWO-WHEELED SELF- BALANCING ROBOT MODELED IN 3D," 2014.
- [24] T. Kobayashi, H. Yamamoto, and K. Yamazaki, "ZigBee network system for observing operating activities of work vehicles," *2016 Int. Conf. Comput. Netw. Commun. ICNC 2016*, 2016.

- [25] A. Romero, A. Marín, and E. Arango, “Plataformas de Laboratorio de Bajo Costo Basadas en el Protocolo ZigBee,” *TecnoLógicas*, pp. 411–423, 2013.
- [26] Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo DAGRED, EPM, and ISAGEN, “Sistema de Alerta Temprana en Medellín,” 2000. [Online]. Available: <http://siata.gov.co/newpage/web/nosotros.php>.