

Diseño de un Sistema Biométrico para la Gestión de Alertas Médicas

Milton Ortega Obando y Antonio González Torres

Escuela de Ingeniería,
Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología,
ULACIT, Urbanización Tournón, 10235-1000
San José, Costa Rica
mortegao430@ulacit.ed.cr
<http://www.ulacit.ac.cr>

Resumen La interacción entre dispositivos tecnológicos de diversas características y funciones, propicia que exista una mejora en la calidad de vida de las personas. Lo cual permite llevar mejores controles sobre ellas, se utilizando dispositivos más robustos, con una vida útil más extensa, y consumos de energía reducidos, se cumplen funciones de monitoreo y alertas, obteniendo al instante datos en tiempo real. Estos se toman para generar resultados y futuras mejoras a los dispositivos, los cuales envían paquetes inferiores a los 53 kbytes, por medio de redes (e.g, 3G, 4G o Ethernet) y protocolos, con características de fácil uso y aplicación. Al utilizar este escenario se propone el diseño de un sistema biométrico para la gestión de alertas médicas, mediante la implementación de una arquitectura para el reporte de incidentes, con base en el uso del protocolo 6LoWPAN en IPv6, propuesto por IETF en el 2004, bajo el estándar de IEEE 802.15.4-2003, proponiendo una solución integral para un problema de comunicación y monitoreo.

Palabras clave: 6LoWPAN, IEEE302.15.4, Internet de las Cosas

1. Introducción

Los avances tecnológicos tienen como fin facilitar la vida de las personas, aumentar su productividad y mejorar los procesos de las organizaciones. Lo que lleva al diseño y desarrollo de nuevos dispositivos, los cuales en muchos casos tienen la habilidad de recoger información de su entorno (e.g., lectura del nivel de azúcar en la sangre o la presión arterial o el movimiento de personas en zonas restringidas), pero también de actuar con base en la información recogida. Un ejemplo sencillo es el uso de sensores para recoger información sobre la intensidad de la luz en las diferentes áreas de un edificio, cuya información es utilizada por un conjunto de actuadores para adaptar la luminosidad de las lámparas y bombillos. De forma similar a este ejemplo, se puede controlar la apertura de puertas, y el encendido de luces, cámaras y aires acondicionados al paso de las personas.

La recolección de datos por parte de estos dispositivos no solo se hace para ser utilizada por otros dispositivos, sino también para efectuar su análisis, en tiempo real o procesamiento por lotes, y así realizar la toma de decisiones o generar alertas.

Estos dispositivos (i.e., pequeños, con poca capacidad de procesamiento y almacenamiento) tienen la capacidad de enviar alertas y cambios de estados en tiempo real, usando paquetes cuyo tamaño con frecuencia es inferior a los 53 Kbytes. Las redes que utilizan para transmitir la información son diversas (e.g., 3G, 4G o Ethernet), al igual que los protocolos. Una característica de un gran número de estos dispositivos es la facilidad de uso, bajo costo y consumo energético, y además por lo general tienen una vida útil prolongada, durante la cual se les da poco o ningún tipo de mantenimiento.

El diseño de una solución integral para un problema determinado requiere el uso de dispositivos con la capacidad para interconectarse con otros dispositivos, tanto para enviar como recibir información. Por lo cual en este escenario conviene considerar al protocolo 6LoWPAN¹ (Kushalnagar, Montenegro, y Schumacher, 2007). Este puede usarse en arquitecturas de bajo costo y consumo energético en redes de área personal (WPAN). 6LoWPAN, es un protocolo que surge como una iniciativa de IETF en el 2004 (Mulligan, 2007), utiliza IPv6 y la versión actual se basa en el estándar 802.15.4-2003.

Como consecuencia, el objetivo de este trabajo consiste en proponer el diseño de un sistema biométrico para la gestión de alertas médicas, utilizando el diseño de una arquitectura para el reporte de incidentes, mediante el uso del protocolo 6LoWPAN. Para eso se lleva a cabo la revisión de varios estándares y protocolos de bajo consumo (sección 2), se realiza una propuesta de diseño (sección 4), se explica un escenario de uso (4.1) y lleva a cabo una discusión de los resultados en las conclusiones (5).

2. Estándares y protocolos para dispositivos de bajo consumo

IEEE 802.15.4-2003 (IEEE, 2003) es un estándar para redes inalámbricas de área personal que permite la conexión de múltiples tipos de dispositivos, y sobre el cual se basan los protocolos Zigbee y 6LoWPAN. Las características específicas de este estándar se muestran en la tabla 1, y las propiedades generales de los dispositivos que lo implementan son las siguientes:

1. Facilidad de implementación.
2. Bajas tasas de transferencia de datos.
3. Bajo consumo de energía.
4. Costos bajos.
5. Medios de comunicación inalámbricos y cableados.

¹ 6LoWPAN se deriva de IPv6 Over Low Power Wireless Personal Área Networks y se puede traducir como IPv6 para Redes de Área Personal Inalámbricas de Bajo Consumo.

Propiedad	Rango
Rango de transmisión de datos	868 MHz: 20kb/s 915 MHz: 40kb/s 2.4 GHz: 250 kb/s
Alcance	10 – 20 m.
Latencia	Abajo de los 15 ms.
Canales	868/915 MHz: 11canales. 2.4 GHz: 16 canales.
Frecuencias	Dos PHY: 868/915 MHz y 2.4 GHz.
Direccionamiento	Cortos de 8 bits o 64 bits IEEE
Canales de acceso	CSMA-CA y rasurado CSMA-CA
Temperatura	El rango de temperatura industrial: -40° a +85° C

Cuadro 1. Tabla de características del estándar IEEE 802.15.4

2.1. 6LoWPAN

6LoWPAN es un protocolo basado en IPv6, funciona en las capas de enlace de datos y red (ver figura 1) para ser utilizado por dispositivos inalámbricos de bajo consumo y procesamiento en redes de área personal². Este protocolo surge por iniciativa de IETF en 2004, después de 10 años de trabajo y se encuentra definido en las especificaciones RFC 4919(Kushalnagar y cols., 2007) y RFC 4944(Montenegro, Kushalnagar, Hui, y Culler, 2007).

La arquitectura de las redes que utilizan 6LoWPAN se puede clasificar como sencilla, extendida o ad-hoc (Cepero López, 2016). La arquitectura de red sencilla es la más utilizada, porque se conecta a otra red IP, para ello usa un enrutador de frontera, mientras la arquitectura de red extendida permite conectar varias redes sencillas utilizando los enrutadores de frontera como medio de conexión y la arquitectura ad-hoc no ofrece la posibilidad de conectarse a Internet.

Las redes que emplean 6LoWPAN están compuestas por nodos, los cuales desempeñan el papel de dispositivos anfitriones o enrutadores. Los enrutadores a su vez cumplen el rol de enrutadores internos o de frontera, en donde los nodos se registran en un enrutador de frontera, como parte del proceso para el descubrimiento de redes cercanas o vecinas.

Los equipos anfitriones de una red se registran con los enrutadores de frontera, y comparten un prefijo de red de 64 bits. El registro tiene por fin facilitar el proceso de establecimiento de conexiones entre dispositivos y efectuar el mantenimiento de esas conexiones (Cepero López, 2016), así como realizar su interconexión con otros dispositivos externos a la red, los cuales pueden utilizar IPv6 o incluso IPv4. Cabe mencionar que los dispositivos de una red pueden estar registrados con más de un enrutador de frontera.

Las redes internas pueden interconectarse a otras redes usando de forma simultánea más de un enrutador de frontera, esto permite la tolerancia a fallos e

² Las redes de área personal son conocidas en inglés como Wireless Personal Area Network (WPAN).

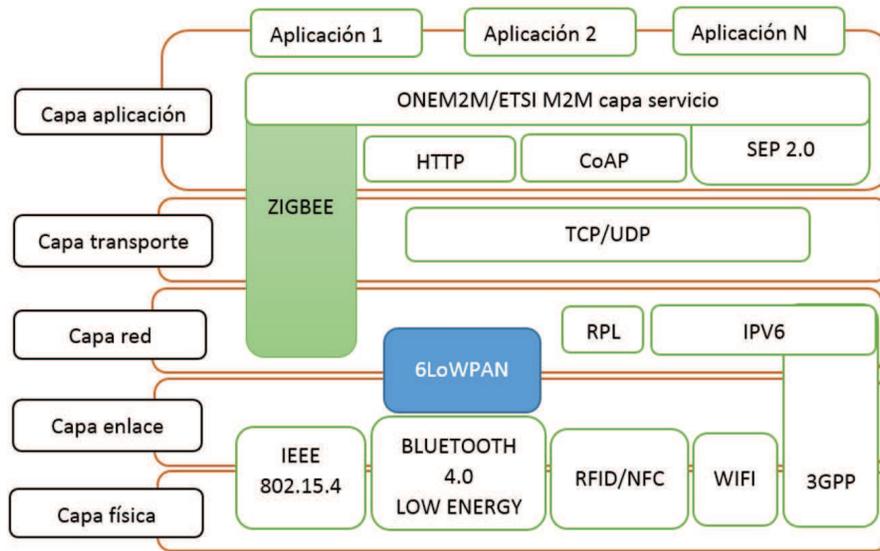


Figura 1. Ubicación del protocolo 6LoWPAN, entre capa de enlace y de red

implica que cuando un enrutador de frontera deja de funcionar, se puede emplear cualquier otro enrutador para efectuar la comunicación.

Cabe mencionar que 6LowPAN utiliza una trama con una longitud máxima de 127 bytes, eso permite que el procesamiento y enrutamiento de la información sea más eficiente y rápido, porque se requiere menos capacidad de almacenamiento caché para las colas y el proceso de recepción y reenvío se puede realizar con mayor rapidez. La carga útil de datos de las tramas es de 53 bytes, mientras los restantes 74 bytes se utilizan para direccionamiento y campos de control, lo cual puede ser una desventaja, pues la carga útil es menor al exceso por encabezados.

3. Comparación de 6LoWPAN en IPv6 con otros protocolos de comunicación

Existen múltiples protocolos de comunicación para Internet de las cosas y la mayoría utilizan IPv4. La tabla 2 muestra una comparación entre algunos de los principales protocolos, como 6LoWPAN, Zigbee (ZigBee Alliance, 2006), Z-Wave (Z-Wave Alliance, 2015), Bluetooth Low Energy (Decuir y cols., 2010) y 802.11n (IEEE, 2009; Perahia, 2008). Varios protocolos mencionados en la tabla 2 son de bajo consumo eléctrico y funcionan de forma inalámbrica, de forma similar a 6LoWPAN. Sin embargo, casi todos estos protocolos utilizan IPv4.

Entre los detalles más importantes a resaltar de la tabla 2 se encuentran:

1. 6LoWPAN utiliza la frecuencia la 2.4GHz, al igual que ZigBee, BLE y 802.11n, donde solo Z-Wave trabaja en la frecuencia de 900 MHz

2. 6LoWPAN tiene un rango de alcance inferior a los 200 metros, es superado por ZigBee.
3. En consumo de energía, BLE es inferior a 6LoWPAN, dejando al 802.11 n con la tasa más alta.
4. Todos los protocolos con excepción de Z-Wave, poseen un estándar de referencia, comparten 6LoWPAN con ZigBee, el mismo estándar.
5. Bajo el mismo estándar, la velocidad de transferencia que utiliza 6 LoWPAN es superada por ZigBee.

Característica	6LoWPAN	ZigBee	Z-Wave	BLE ³	802.11n
Estándar	802.15.4-2003	802.15.4	Sin estándar	Bluetooth 4.0	IEEE 802.11
Frecuencia	2.4 GHz	2.4 Ghz 915 MHz 866 MHz	900 MHz	2.4 GHz	2.4 GHz 5 GHz
Distancia máxima	-200 Mtrs	-500 Mtrs	-100 mtrs	-50 mtrs	-100 mtrs
Velocidad máxima	200 Kbps	250 Kbps	40 Kbps	-1 Mbps	-600 Mbps
Máximo de nodos	-100	65.538	232	N/A, 8 por defecto	N/A
Consumo promedio energía	Tx: 20-35 mA Rx: 12-25 mA	Tx: 25-35 mA Rx: 20-30 mA	Tx: 30-40 mA Rx: 20-30 mA	Tx: 15-20 mA Rx: 15-20 mA	Tx: 220+ mA Rx: 215+ mA
Compatibilidad con salto múltiple	Si	Si	Si	No	No
Interoperabilidad	Baja	Alto	Alto	Medio	Alto
Confiabilidad	Baja	Baja	Bajo	Medio	Medio
Uso industrial	Baja	Baja	Bajo	Alto	Alto

Cuadro 2. Comparación de protocolos

3.1. Proceso de comunicación entre dispositivos con 6LoWPAN

La figura 2 muestra el proceso de comunicación entre dispositivos 6LoWPAN. Los pasos que sigue este proceso cuando un dispositivo realiza una conexión son los siguientes:

1. El dispositivo realiza una solicitud a un enrutador.
2. El enrutador confirma la conexión al dispositivo.
3. El dispositivo envía una petición de registro de nodo al enrutador.
4. El enrutador envía una petición de registro de nodo al enrutador de frontera.
5. La confirmación del registro de nodo es enviada por el enrutador de frontera al enrutador, y este a su vez envía la confirmación al dispositivo.
6. Una vez que la conexión ha sido establecida, el dispositivo puede enviar y recibir información.

En cuanto a seguridad, el principal algoritmo que utiliza 6LoWPAN es AES⁴, el cual se usa en la capa de transporte. Pero además, también permite el empleo de IPSec⁵, el cual proporciona seguridad de extremo a extremo.

⁴ AES se refiere a Advanced Encryption System y utiliza claves de cifrado de 128, 192 y 256 bits.

⁵ IPSec hace referencia al término “Internet Protocol security” que significa Protocolo de Seguridad de Internet.

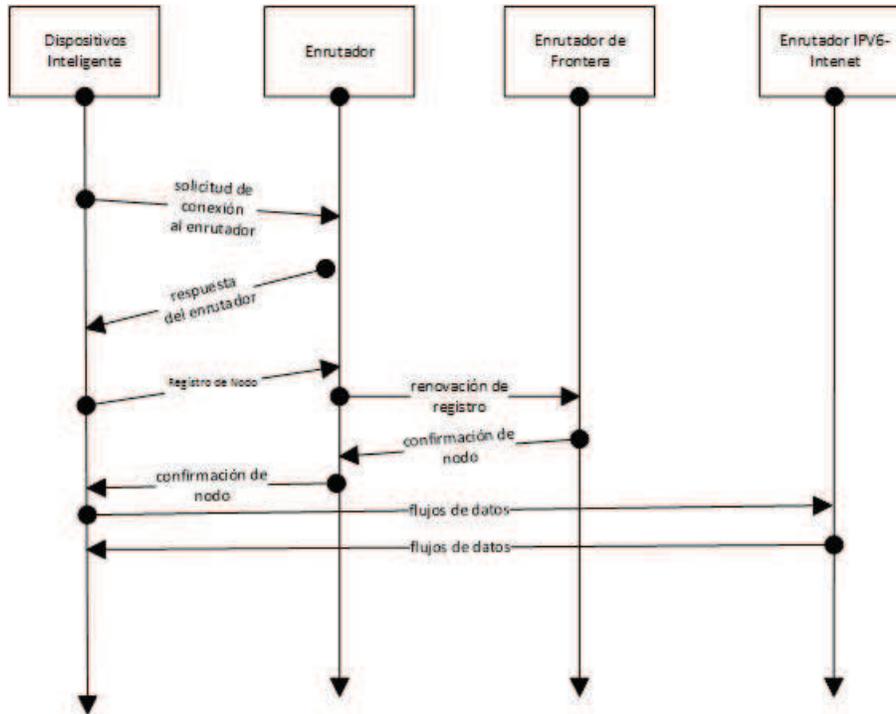


Figura 2. Comunicación entre dispositivos que utilizan 6LoWPAN (Shelby y Bormann, 2011)

4. Propuesta de Diseño

EL uso de dispositivos para facilitar el diario vivir de las personas, y mejorar con esto su calidad de vida, toma más fuerza con el avance de la tecnología, y el concepto de Internet de las Cosas revoluciona el uso de los aparatos tecnológicos. Bajo este concepto, los dispositivos se pueden conectar a una red de área personal, ejecutan órdenes y funciones según las necesidades de las personas, al mismo tiempo recopilan y transmiten datos sobre el comportamiento y preferencia del usuario. La información que se obtiene durante el proceso, se analiza para ofrecer mejores soluciones o ayudar en situaciones de emergencia. Dicho análisis se puede llevar a cabo en localidades cercanas, remotas o en la nube.

Con base en lo anterior, se propone utilizar el protocolo 6LoWPAN con IPv6 para contribuir con la atención de eventos y emergencias relacionadas con la salud de las personas. En concreto, la propuesta consiste en el diseño de un sistema biométrico, contempla el uso de dispositivos para dar seguimiento, por ejemplo, al estado de los signos vitales, aumentos de presión arterial, estados de ánimo, niveles de estrés y cambios de temperatura corporal de las personas.

El diseño contempla el envío de información básica sobre la condición actual del usuario a un centro de monitoreo y respuesta, el cual se puede encontrar de

forma local en grandes edificios o campus, o de forma remota. El fin del diseño es enviar alertas al centro de monitoreo, familiares y médicos, cuando ocurren cambios drásticos en los parámetros normales de salud de la persona. Los tipos de alerta y nivel de respuesta dependen de tres categorías:

1. *Verde*: Este tipo de alerta se asocia a un evento, que no es una emergencia, pero activa un aviso que le llega a los miembros designados en la familia. Por ser un evento leve, no es necesario notificar al sistema de urgencias médicas.
2. *Amarillo*: Esta categoría de evento requiere de atención, pero dispara una señal que le llega a los miembros designados de la familia para que tomen la decisión de las acciones por seguir, las cuales pueden comprender suministrarle un medicamento, llamar al médico o el servicio de urgencias.
3. *Rojo*: Esta categoría de suceso requiere atención inmediata de parte del personal de urgencias. Cuando sucede un evento de esta naturaleza, se activa una alarma que alerta al servicio de urgencias, los miembros designados de la familia y al médico correspondiente.

El sistema biométrico, se conforma por un grupo de dispositivos de monitoreo (estos dependen de los parámetros a los cuales se está dando seguimiento), y envía información detallada sobre los sucesos que ocurren. La red puede conformarse solo por dispositivos 6LoWPAN si se conecta al centro de monitoreo local, pero cuando se requiere efectuar la conexión con un centro remoto o enviar alertas a los familiares, podría ser necesario utilizar la red celular disponible en la zona (i.e., 4G, 3G o GSM). Esto último puede conllevar problemas de conectividad, por la cobertura que ofrecen los operadores, pero además podría provocar pérdida de información en las transmisiones, cuando las tasas de transferencia son bajas.

Como resultado, la ventaja de usar 6LoWPAN es que la transmisión de paquetes de tamaño reducido garantiza que la información no se pierde de forma masiva, pues en caso de que varios paquetes no lleguen a su destino, al menos parte de la información estaría siendo procesada en el destino. Lo anterior se contrapone al caso del envío de información por medio de paquetes de gran tamaño, esto conlleva que con la pérdida de un solo paquete, el procesamiento de las alertas no se pueda llevar a cabo porque se perdió la mayor parte de la información asociada a una alerta.

Tanto los familiares, como los centros de monitoreo local y los cuerpos de emergencia, conocen en todo momento la localización de quienes usan sistemas de esta naturaleza, por medio del uso de triangulación de los dispositivos de transmisión o antenas más cercanas, por los cuales se envía la alerta, pero también por medio de los datos de localización que se pueden obtener con el uso de un GPS.

4.1. Escenarios

A continuación se explican o detallan escenarios posibles para la implementación de la propuesta.

Escenario 1: Todos los días Pedro debe tomar el bus para llegar al trabajo, el recorrido dura dos horas de camino, durante este debe tomar dos buses. En el primer bus, Pedro se monta sin problema alguno, sus signos vitales son normales y todo marcha tranquilo, de repente el bus frena bruscamente, y hace que Pedro se asuste, ello genera una alerta verde con sus notificaciones correspondientes.

Después del susto Pedro continúa su recorrido normal. Toma el segundo bus, el cual es un servicio que brinda la empresa donde Pedro trabaja, continúa el viaje, no obstante minutos después de haber arrancado, el bus tiene un desperfecto y golpea otro vehículo de frente. Debido a este incidente Pedro sufre golpes, lo que genera una alerta amarilla en la cual Pedro recibe una llamada minutos después de un familiar, según preferencias propias, a quien le explica lo sucedido. Le menciona que se encuentra bien, y no requiere atención médica, pues de un susto no pasó, que pronto la empresa va a mandar otro bus para continuar el recorrido y llegar al trabajo.

Escenario 2: María asiste a la universidad Prestigio Tecnológico, allí cuentan con sistema biométrico en todas las aulas y un centro de control propio de la universidad, esto aunado al sistema biométrico que María porta. Un día de lecciones, están en el aula recibiendo clases, cuando de repente a María se le sube la presión. Eso le provoca un desmayo, además genera una alerta Amarilla a la cual el centro de control de la universidad responde de forma inmediata, dando solución al problema que María presenta. También recibe una llamada por parte de la madre, a quien le explica lo sucedido y que ya la universidad la había atendido.

Después del evento, María continúa con las clases restantes, en la última clase de la tarde escucha gritos y disparos, lo que automáticamente la asusta y pone en alerta toda la clase, se genera una alerta Roja masiva por el nivel de personas involucradas y el estrés que se produce en el momento. El centro de control de forma inmediata notifica al cuerpo de emergencias y policía sobre el evento para una pronta respuesta, esto mientras se trata de solucionar el problema por parte de la universidad, la alerta también llega a los familiares.

5. Conclusiones

Durante el desarrollo del artículo se menciona el Internet de las Cosas y la relación que existe con las actividades diarias, en ello se involucran dispositivos inteligentes, diseñados para cumplir funciones específicas, lo cual viene a mejorar la calidad de vida de las personas, utilizando los diferentes medios de comunicación a mano, en donde dispositivos tan pequeños como un sensor en una ventana, o un sensor dentro del vehículo, ayudan a tener un mejor control de los objetos que nos rodean, permiten el uso de protocolos de comunicación, en los que se pueden manejar tamaños de 127 bytes. Esto facilita enviar mayor cantidad de información en pequeñas cantidades, donde la pérdida de dicho paquete es menos y se asegura que la información llegue al destino deseado.

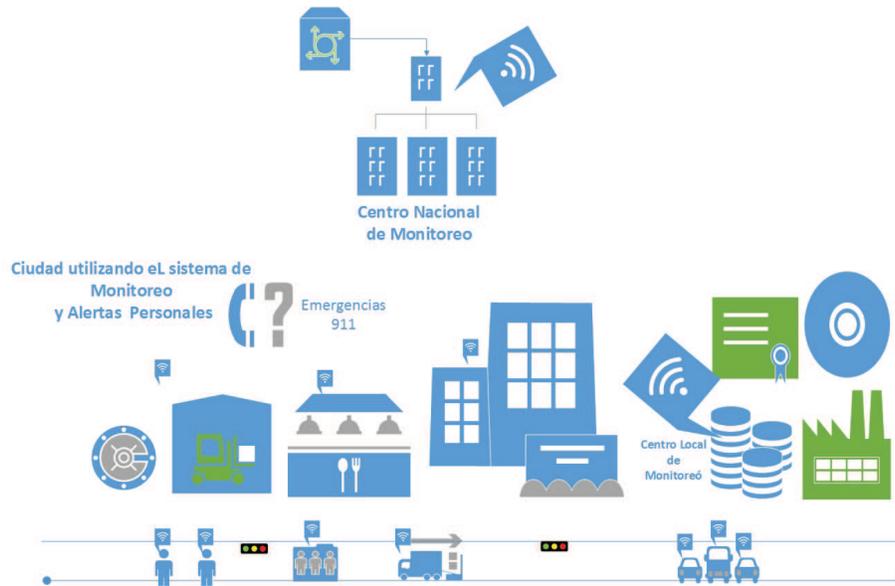


Figura 3. Propuesta de Implementación

El protocolo de comunicación 6LoWPAN, mediante el uso de IPv6, facilita la interoperabilidad para sistemas abiertos de dispositivos de baja potencia, en los que la comunicación es constante. Este protocolo es de gran importancia, pues aprovecha al máximo la estructura de comunicación, con un sistema de seguridad de cifrado AES de 128 Kbytes, y basado en el Estándar de la IEEE 802.15.4-2003, ello garantiza la existencia de una comunicación más directa entre dispositivos y permite utilizar redes celulares (e.g 3g, 4g o hasta gsm).

Con base en el protocolo 6LoWPAN, se propone una solución de monitores continuos, en busca de resolver un problema de cuidado y bienestar, sin dejar de lado la calidad de vida. En la cual mediante un dispositivo de control biométrico, se lleve el control de los signos vitales y condiciones de ánimo de una persona. Eso permite generar alertas de diferentes niveles, de acuerdo con la situación presente, y dichos datos se envían a un centro local de control, a un familiar o al médico designado por la persona. Se proponen dos posibles escenarios, los cuales justifican el uso del protocolo y las ventajas que tendría su implementación.

La propuesta abarca un diseño de uso, medios de respuesta, niveles de alerta, utilizando al máximo 6LoWPAN en IPv6, y los dispositivos de bajo consumo en redes de área personal inalámbrico. Queda pendiente una posible implementación en un ambiente controlado de pruebas, para analizar los pro y contras que se puedan presentar, así como los tiempos de envío y recepción de los paquetes a los diferentes destinatarios, en donde se asegure la recepción completa del mensaje.

El protocolo 6LoWPAN, tiene poco tiempo de estar en estudio, pero posee muchas características únicas que lo hacen fácil de implementar y ejecutar. Mu-

chas de ellas se analizan en este artículo, lo cual permite desarrollar la propuesta que se plantea y dejar para futuros estudios, qué otros usos se les puede dar.

Referencias

- Cepero López, A. J. (2016). Desarrollo y evaluación de la fragmentación ipv6 en redes 6lowpan. pages 3
- Decuir, J., y cols. (2010). Bluetooth 4.0: low energy. *Cambridge, UK: Cambridge Silicon Radio SR plc, 16*. pages 4
- IEEE. (2003). *IEEE Standard for Information Technology- Telecommunications and Information Exchange Between Systems- Local and Metropolitan Area Networks- Specific Requirements Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)* (Inf. Téc.). pages 2
- IEEE. (2009, Oct). Ieee standard for information technology– local and metropolitan area networks– specific requirements– part 11: Wireless lan medium access control (mac)and physical layer (phy) specifications amendment 5: Enhancements for higher throughput. *IEEE Std 802.11n-2009 (Amendment to IEEE Std 802.11-2007 as amended by IEEE Std 802.11k-2008, IEEE Std 802.11r-2008, IEEE Std 802.11y-2008, and IEEE Std 802.11w-2009)*, 1-565. doi: 10.1109/IEEESTD.2009.5307322 pages 4
- Kushalnagar, N., Montenegro, G., y Schumacher, C. (2007). Rfc 4919: Ipv6 over low-power wireless personal area networks (6lowpans): overview. *Assumptions, Problem Statement, and Goals*. pages 2, 3
- Montenegro, G., Kushalnagar, N., Hui, J., y Culler, D. (2007). Rfc 4944. *Transmission of IPv6 packets over IEEE, 802(4)*. pages 3
- Mulligan, G. (2007). The 6lowpan architecture. En *Proceedings of the 4th workshop on embedded networked sensors*. pages 2
- Perahia, E. (2008). Ieee 802.11 n development: History, process, and technology. *IEEE Communications Magazine, 46(7)*. pages 4
- Shelby, Z., y Bormann, C. (2011). *6lowpan: The wireless embedded internet* (Vol. 43). John Wiley & Sons. pages 6
- Z-Wave Alliance. (2015). Z-wave for oems and developers. pages 4
- ZigBee Alliance. (2006). Zigbee: The open, global wireless standard for connecting everyday devices. URL: <http://www.zigbee.org>, 558. pages 4