

RED DE ASISTENCIA VITAL PARA LA CIUDAD DE POPAYÁN

LIFE SUPPORT NETWORK FOR POPAYÁN CITY

Claudia Milena Hernández Bonilla

Universidad del Cauca, Colombia
claudiah@unicauca.edu.co

Víctor Fabián Miramá Pérez

Universidad del Cauca, Colombia
vmirama@unicauca.edu.co

Catalina Muñoz Collazos

Universidad del Cauca, Colombia
catalinamunoz@unicauca.edu.co

Pablo Emilio Jojoa

Universidad del Cauca, Colombia
pjojoa@unicauca.edu.co

Virginia Solarte Muñoz

Universidad del Cauca, Colombia
vsolarte@unicauca.edu.co

Recepción: 28/octubre/2020

Aceptación: 3/diciembre/2020

Resumen

La primera atención en pacientes distantes de un centro de salud es muy importante para la supervivencia de estos. La “Red de Asistencia Vital para la ciudad de Popayán”, tiene como objetivo el diseño de una red enfocada a la comunicación permanente de las ambulancias con los hospitales para la transmisión de signos vitales que permita la preparación del centro médico para una atención adecuada. Para abordar el objetivo se emplea la metodología de Programación Extrema, realizando un desarrollo ágil e incremental, el diseño parte de una experimentación en campo con el fin de ajustarlo al comportamiento real de una red. El resultado obtenido emplea tecnologías de bajo costo y consumo de potencia capaces de brindar un alto grado de interconexión entre el sector urbano de Popayán y las estaciones base, ubicadas en los principales centros asistenciales de la ciudad; garantizando así una alta disponibilidad del servicio.

Palabras Clave: Ambulancia, conectividad, red de comunicación, salud, TIC.

Abstract

The patients first care far from a health center is very important for their survival. The “Life Support Network for Popayán City”, has as objective a network design focused on permanent communication between ambulances and hospitals for the vital sign transmission that allows the preparation of the medical center for suitable care. To approach the objective, the Extreme Programming methodology is used, carrying out an agile and incremental development, the design starts from a field experiment to adjust the design to the real network behavior. The result obtained uses low-cost and power consumption technologies capable of providing a high degree of interconnection between Popayan’s urban sector and base stations, located in the main healthcare centers of the city; thus, ensuring a high service availability.

Keywords: Ambulance, communication network, connectivity, ICT, health.

1. Introducción

Un sistema de salud donde toda la infraestructura (hospitales, centros de salud, ambulancias, etc.) está comunicada o hace uso de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones – TICs, sería lo ideal para la atención médica de los pacientes. Sin embargo, en Colombia y en especial en América Latina, las entidades que conforman el sistema de salud son entes aislados, cada uno con su protocolo y con poco uso de las TICs. Esto es aún más crítico cuando se trata de la atención de un paciente que se traslada en una ambulancia, donde depende de los elementos de atención básica disponibles y de la experiencia y capacidad del personal a cargo.

Para el personal de salud sería de suma importancia conocer en qué condiciones se encuentra un paciente que se está trasladando hacia un centro de atención (hospital, centro de salud, clínica) con el fin de brindarle la mejor atención posible al momento de su llegada. Sin embargo, la comunicación se limita a la transmisión de voz entre la ambulancia y su centro de operaciones. Tener la posibilidad de

transmitir señales vitales como pulso, presión, electrocardiograma, en tiempo real es de gran importancia para el personal médico, ya que estos constituyen parámetros básicos para definir la atención más pertinente para el paciente.

A nivel del Departamento del Cauca, la infraestructura de comunicaciones tanto rural como urbana se basa principalmente en la red de telefonía celular, que desafortunadamente no lo cubre en su totalidad, siendo aún más deficiente en la transmisión de datos, esto a pesar del esfuerzo del Ministerio TIC con el sistema Vive Digital y de las nuevas tecnologías disponibles en el mercado que permiten tener mayor capacidad de almacenamiento y de transporte de información. En este sentido, pensar en utilizar el sistema celular para brindar servicios adicionales a la convencional, implica que el sistema va a depender de la cobertura de un operador, de su calidad de servicio y de los altos costos operacionales que esto genera. De aquí la importancia de contar con un sistema independiente que permita hacer un seguimiento a distancia de la situación de un paciente (parámetros vitales) desde el momento en que se sube a la ambulancia hasta que llega al centro hospitalario.

Estado del arte

La Telemedicina [IETSI, 2020] brinda hoy la posibilidad de optimizar los servicios de atención en salud, ahorrando tiempo, costos y, sobre todo, mejorando el acceso a los procesos de asistencia sanitaria.

El tipo de servicio de Telemedicina es la base fundamental para determinar la tecnología a utilizar como soporte de la red de telecomunicaciones, para ello se deben tener en cuenta parámetros como el ancho de banda, el cual depende del tipo de información a transmitir, el volumen de la información y el tiempo requerido para la comunicación. De tal manera que una solución de telemedicina, debe buscar el balance entre la adecuada atención del paciente y aspectos de tecnología, costos y complejidad.

En particular, cuando se trata de la comunicación entre las ambulancias y los centros médicos, el reto es garantizar la continuidad en la comunicación manteniendo una buena calidad en la misma, debido a que los obstáculos en el trayecto entre el transmisor y receptor, la velocidad del vehículo, las condiciones

climáticas, entre otros fenómenos, pueden ser limitantes y si no se manejan adecuadamente, reducen la confiabilidad del servicio.

La mayoría de los sistemas de telemetría para ambulancias utilizan como soporte la red móvil para la transmisión de información [Kadam, 2016] [Nanwani, 2017], [Palanisamy, 2016], la cual está conformada por una amplia red; sin embargo la cobertura del sistema de telemetría depende de la cobertura del operador elegido, y en el país existen muchas zonas donde no hay cobertura móvil o los servicios que se prestan tiene calidad muy pobre, esto aunado a un alto costo mensual por el uso de la infraestructura móvil, hace prácticamente inviable el uso de esta infraestructura, dado que se busca minimizar el costo del sistema [Hernández, 2018].

Otras soluciones utilizan sistemas de radio troncalizado TETRA [Roodaki, 2014] (Trans European Trunked RAdio), para la transmisión de los datos de telemetría, acceso a Internet inalámbrica vía GPRS o WiMax [El-Masri, 2012], caracterizándose WiMax por tener altas capacidades de transmisión de información [Rábanos, 2015]. Los sistemas WiFi y WiMax emplean dispositivos cuyo costo ha descendido en el mercado en los últimos años, caracterizándose por ser altamente versátiles en su instalación y manejo, lo cual ha facilitado su utilización, sin embargo, WiFi brinda altas velocidades en interiores y aunque ha sido empleado para enlaces de larga distancia, dependiendo de las condiciones del trayecto, pueden presentarse interrupciones en el servicio [Hernández, 2018]. A nivel internacional se han desarrollado algunos equipos que trabajan utilizando la tecnología Wi-Fi, pero es necesario definir en el entorno, si esto es viable, o si se debe enfocar a otro tipo de tecnología como WiMax, VHF o UHF. También se encuentran algunas soluciones con dispositivos inteligentes mediante redes LTE-A [Park, 2016], computación en la nube sobre sistemas 3G/4G [Isong, 2016] o en las nuevas redes 5G [Usman, 2019]. En cuanto a los trabajos enfocados a la transmisión de información desde una ambulancia, se encuentra el sistema de comunicaciones desarrollado en el proyecto [Castellano, 2012], que establece una comunicación en tiempo real para enviar desde la ambulancia la bioquímica sanguínea del paciente, empleando una red híbrida radiomodem-internet, el artículo de [Almadania, 2015] en el que se presenta

un sistema de telemetría para ambulancia que se encarga de tomar los signos vitales del paciente por medio de sensores wearables y por medio de una red de sensores inalámbricos recoge toda la información del paciente y la envía hasta un centro asistencial haciendo uso de las redes móviles o de Wimax. Además, se encuentran trabajos relacionados con la gestión semafórica para permitir el paso de una ambulancia que traslada un paciente mediante el cambio del semáforo a rojo, pero no envían signos del paciente desde la ambulancia hacia el centro asistencial [Athavan, 2011] [Eltayeb, 2013] [Ordóñez, 2015] [Tonguz, 2013] [Bharadwaj, 2013]. En el proyecto [Jojoa, 2018], se concluyó que las mejores tecnologías factibles de emplearse en la comunicación con una ambulancia son aquellas que trabajan por debajo de 1 GHz, dado que brindan mayor cobertura, y tienen un costo relativamente bajo, entre ellas las redes de área amplia y de baja potencia (LPWAN, *Low Power Wide Area Networks*) las cuales son redes de comunicación inalámbrica extendida, que permiten comunicaciones a grandes distancias entre dispositivos como sensores y medidores inteligentes, con una baja velocidad de transmisión de datos a fin de mantener un bajo consumo de energía y prolongar la vida útil de las baterías.

Objetivo

Este artículo es el resultado de un proyecto en el cual se busca diseñar una red de asistencia vital, basada en un piloto implementado en un sector de la ciudad de Popayán, ubicada en el suroccidente de Colombia, constituida por una zona urbana y rural, con sitios que no tienen siquiera cobertura celular, bajo la premisa de proponer un sistema de bajo costo que brinde una respuesta eficiente a la necesidad de atención en salud para sus habitantes.

2. Métodos

Para el diseño del sistema se adaptó la metodología programación extrema (*XP, Extreme Programming*) [Pressman, 2010], debido a que la iteración de sus fases permitió ajustar el diseño progresivamente. Atendiendo las recomendaciones de la metodología XP se ejecutaron las siguientes fases:

- **Planeación:** en esta etapa se revisan los requerimientos y se ajusta la solución para satisfacerlos cada vez de mejor manera.
- **Diseño:** se proponen diseños incrementales de la solución de acuerdo con los requerimientos o la evolución de estos.
- **Implementación:** esta etapa se enfoca en la implementación de los resultados obtenidos en la etapa de diseño, para ser probados y ajustar la solución final.
- **Prueba:** se ejecutan las pruebas correspondientes a la verificación de los requerimientos establecidos, para obtener los insumos necesarios para una evolución de la solución propuesta.

Planeación

Para el diseño de la red de asistencia vital se consideraron los siguientes requerimientos no funcionales:

- La red debe permitir el transporte de los signos vitales del paciente desde la ambulancia hasta el centro hospitalario.
- La red debe soportar el establecimiento de comunicación ante condiciones de movilidad de las ambulancias.
- La red debe proporcionar un alto grado de cobertura en la zona urbana de la ciudad de Popayán, por donde se desplazan las ambulancias.
- La red debe operar en bandas no licenciadas, para disminuir los costos de operación.

Diseño

Para la red se considera el diagrama de bloques de la figura 1, donde se tiene la ambulancia con un mecanismo de comunicación que le permita enviar información a un centro hospitalario a través de una red de comunicaciones, conformada por varias estaciones base que se comunican entre sí, la ambulancia debe tener los instrumentos necesarios para determinar los signos vitales del paciente.

En la figura 1 se tiene la conexión con las ambulancias representada por las flechas continuas entre la unidad móvil y las estaciones base, que en adelante se denominará red de cobertura, y una red entre las estaciones base, representada por

las líneas punteadas, que se nombrará como red principal. Para estas dos redes es necesario definir las tecnologías a emplear.

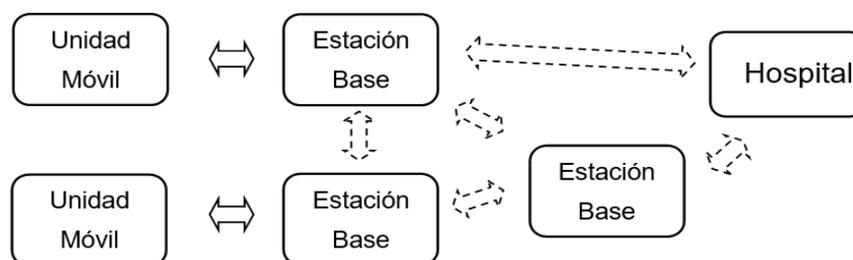


Figura 1 Componentes de la red.

Entre la Unidad Móvil, la estación base y el hospital se tienen los siguientes componentes:

- Monitor de signos vitales: Sistema encargado de tomar la información de los dispositivos que monitorean al paciente para adecuarlos al sistema de comunicaciones
- Radio Tx: es un elemento que permite enviar la señal del monitor de los signos vitales al hospital, por lo que corresponde a un dispositivo de radiofrecuencia que cumple con los requisitos no funcionales.
- Radio Rx: es un elemento que permite recibir la señal proveniente de la ambulancia y entrega esta información al dispositivo de despliegue, por lo que corresponde a un dispositivo de radiofrecuencia que cumple con los requisitos no funcionales.
- Canal radio: constituido por la atmósfera y la frecuencia seleccionada para la operación del sistema.
- Visualización: programa que permite observar la información del paciente en un computador.

Selección de tecnologías

Para el diseño de la red de cobertura se revisaron diferentes tecnologías que cumplieran con los requisitos de la red de asistencia vital, como trabajar en una banda sin licencia, soporte de datos, soporte de movilidad, costo y cobertura, en

función de esto, en la tabla 1 se presenta la comparación de las tecnologías analizadas.

Tabla 1 Comparación de tecnologías candidatas.

Tecnología	Sin licencia	Bajo consumo de potencia	Voz y datos	Soporta movilidad	Costo	Cantidad de estaciones (1 km)
WiFi 2.4 GHz	Sí	Sí	No	No	Bajo	10-15
WiMax	No	Sí	Sí	No	Alto	15-20
Tetra	No	Sí	No	Sí	Alto	2
WiFi 900 MHz	Sí	Sí	No	No	Bajo	1-2
Radio 150 MHz	Sí	Sí	No	Sí	Bajo	1
Radio 450 MHz	No	Sí	No	Sí	Medio	3-4
LoRa	Sí	Sí	No	Sí	Bajo	1-2

Para dar cumplimiento a los requerimientos de la red de asistencia vital se escogen WiFi en 900 MHz y los dispositivos LoRa, dado que trabajan en una banda sin licencia, tienen buena cobertura, soportan movilidad, y su costo es relativamente bajo.

Para la red principal es posible emplear mecanismos de comunicación punto a punto, de corta distancia y baja potencia de transmisión, existen diversas opciones tecnológicas para esta red, por lo cual no se considera crítica para el sistema

Implementación y Pruebas

Con el objetivo de determinar las tecnologías más adecuadas para la red de cobertura, se realizaron pruebas de campo para determinar la cobertura que brindan las tecnologías en la banda de 900 MHz y posteriormente proponer un diseño de la red ajustado a las características de propagación de la ciudad de Popayán.

Acorde con las tecnologías seleccionadas se escogieron los dispositivos adecuados, se configuraron y se implementaron los códigos necesarios para su adecuado funcionamiento. Las opciones analizadas son:

- **Opción 1:** Se emplearon los radios M900 de Ubiquiti [Ubiquiti, 2017], los cuales trabajan en 900 MHz, por lo cual pueden brindar un alto alcance, y tienen una interfaz Ethernet para la transmisión de información del paciente. El monitor de signos vitales entrega un archivo con extensión *.csv con la información del paciente, un computador portátil tiene los programas

necesarios para enviar dicha información al radio M900 por la interfaz ethernet, y este se los envía al radio receptor del mismo tipo, el cual por medio de la interfaz ethernet entrega la información al computador, el cual se encarga de recibir la información y desplegarla en la interfaz de visualización

- **Opción 2:** En la opción 2 se consideró el uso de dispositivos Lora, específicamente una Gateway y shields con GPS incorporados [Dragino, 2019], estos sistemas trabajan en 900 MHz, lo cual permite cubrir un área amplia. En la ambulancia el monitor de signos vitales entrega los signos vitales al portátil y este envía la información por medio del shield Lora, del lado del hospital se tiene una Gateway Lora, la cual solicita la información a la ambulancia correspondiente al estado del paciente, la información se envía al portátil por medio de la conexión WiFi de la Gateway.

Las pruebas se realizaron por la ruta tránsito de Popayán - vía Pomona - FIET, mientras el automóvil viajaba a una velocidad promedio de 40 km/h, esta ruta está caracterizada por encontrarse sobre una región plana, con escasas obstrucciones.

3. Resultados

A continuación, se muestran los resultados de cobertura de las pruebas de campo y de la red de asistencia vital diseñada.

Cobertura

De acuerdo con las pruebas realizadas de la red de cobertura, con las dos opciones fue posible establecer comunicación hasta una distancia de 1km aproximadamente en diferentes direcciones, sufriendo un retardo de 1 segundo. Empleando los equipos M900 solamente se perdió la comunicación en un punto del trayecto, con los dispositivos Lora se tuvo pérdida de la señal en 2 puntos del trayecto. Finalmente se escogieron varios trayectos para determinar la región de cobertura de la estación instalada en la FIET, los resultados se presentan en la figura 2. En función de la distancia de cobertura, se determinan los posibles puntos de ubicación de las estaciones base de la red de asistencia vital.

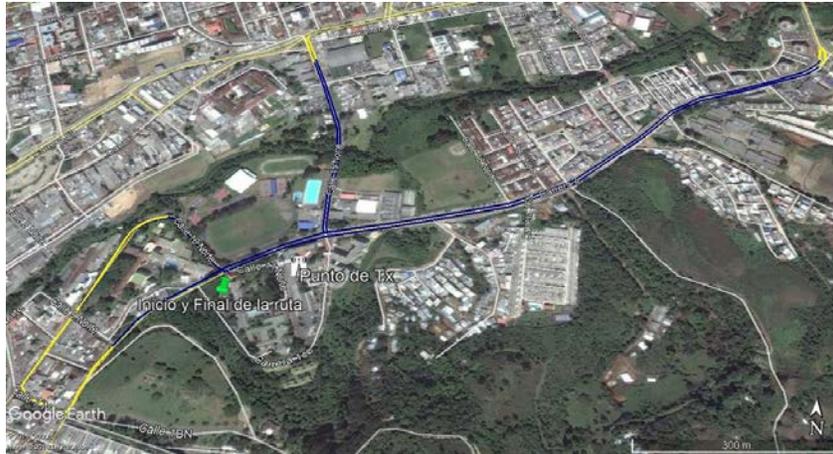


Figura 2 Cobertura de las pruebas de campo en 900 MHz.

Simulación de la red de cobertura

Se empleó Radiomobile [Radiomobile, 2019] para la simulación de la red de cobertura, con cartografía de 10 metros de resolución, inicialmente se comprobó la cobertura obtenida en las pruebas, para lo cual se configuraron bajas potencias de transmisión para alcanzar coberturas similares a las obtenidas en las pruebas.

En las pruebas iniciales se simuló la transmisión de una estación base ubicada en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones (FIET) de la Universidad del Cauca, como se puede notar en la figura 3, la intensidad de señal que supera el nivel umbral se extiende en las zonas aledañas al transmisor, donde también se tuvo cobertura en las pruebas experimentales en la banda de 900 MHz.

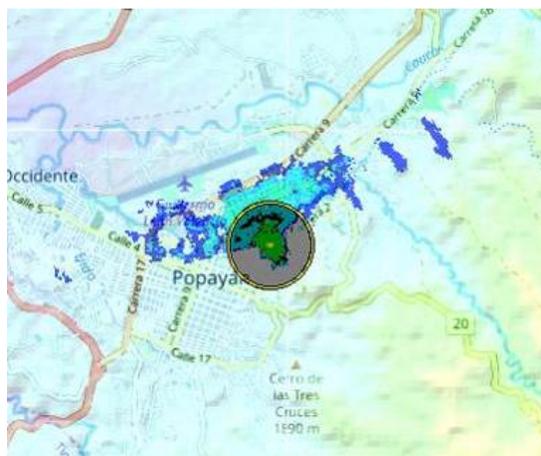


Figura 3 Cobertura de una estación base.

Posteriormente se aumentó el número de estaciones base a 5, en lugares estratégicos de la ciudad, con línea de vista hacia diferentes sectores. Considerando la figura 4, las 5 estaciones base instaladas proporcionan una cobertura parcial de la ciudad, dejando sin cobertura al sector norte, al sur occidente y a parte del centro de la ciudad.

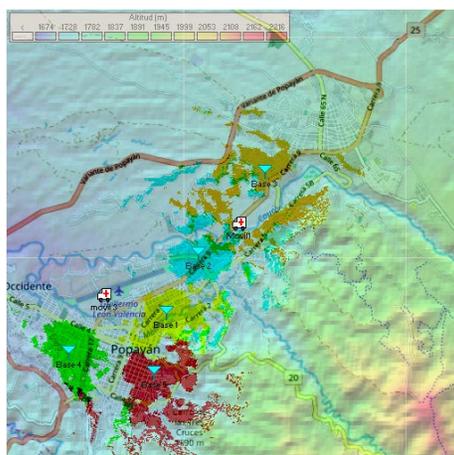


Figura 4 Cobertura de la red con 5 estaciones base.

Dados los resultados, se aumentaron las estaciones base a 9 estaciones, obteniendo el resultado de la figura 5, en la cual se evidencia la cobertura total de la ciudad de Popayán. Para el diseño final de la red de cobertura y su simulación, se realizó una visita para definir los potenciales sitios de instalación, por su altura y ubicación estratégica. Los sitios seleccionados fueron:

- Base 1: Hospital San José
- Base 2: Hospital Susana López
- Base 3: Centro Comercial La Papal
- Base 4: El Tablazo
- Base 5: Glorieta de Bella Vista
- Base 6: SENA Norte
- Base 7: Casa de la Moneda
- Base 8: Edificio Universidad del Cauca Centro
- Base 9: Colegio José Eusebio Caro

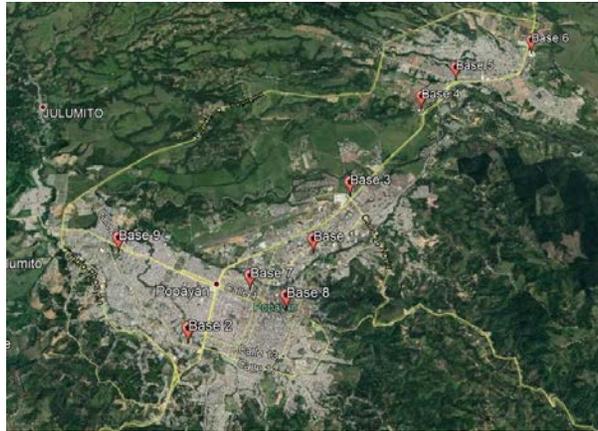


Figura 5 Ubicación de las estaciones base para cobertura completa.

En la figura 6 se muestra en color azul la cobertura de la red de asistencia vital sobre la ciudad de Popayán.

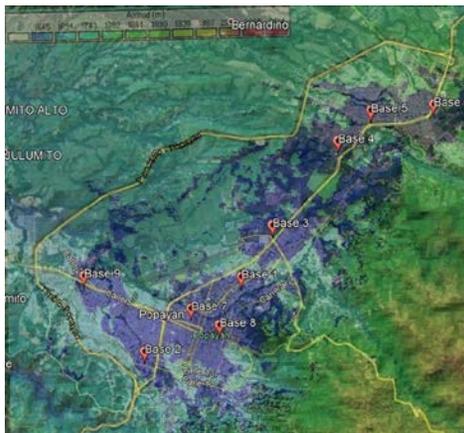


Figura 6 Cobertura de la red con 9 estaciones base.

Simulación red principal

Para la comunicación con los centros de atención es necesario definir la interconectividad entre las estaciones base consideradas para el ofrecimiento de la cobertura, por tal motivo se propone una red en la banda de 5 GHz, debido a su baja ocupación, las cortas distancias entre estaciones base y por ser una banda libre. En la simulación realizada en Radiomobile se puede notar, en la figura 7, que todos los enlaces son posibles proporcionando un alto grado de conectividad para que la información llegue fácilmente a los centros asistenciales.

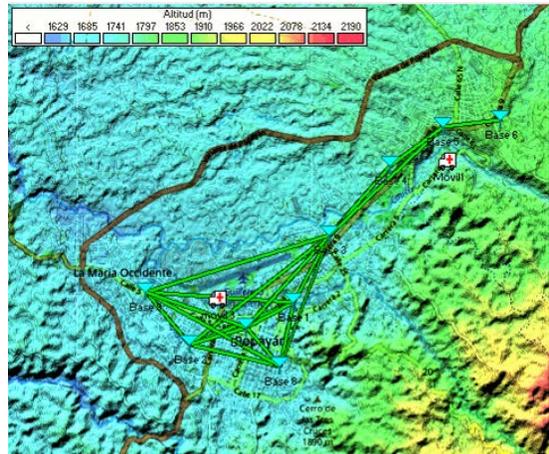


Figura 7 Enlaces principales entre estaciones base.

En esta configuración se busca crear una malla de conectividad que comunique las estaciones base con el Hospital San Jose (Base 1) y con el Hospital Susana López de Valencia (Base 2) por ser los principales sitios de atención de la ciudad, incluso estos dos hospitales tendrían una conexión que permita intercambio de información de manera eficiente, como se puede notar en la figura 8, donde no se evidencia la presencia de obstrucciones considerables.

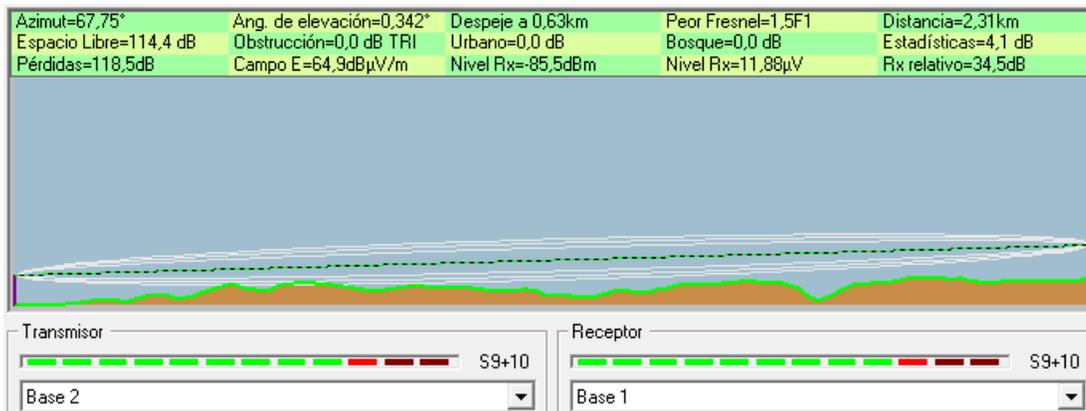


Figura 8 Perfil de conectividad HSJ – HSLV.

4. Discusión

Para realizar el diseño de la red de asistencia vital se requiere tener certeza del funcionamiento de las tecnologías bajo análisis en el entorno de propagación de la ciudad de Popayán, caracterizado por ser una región de topografía quebrada, con

algunas elevaciones sobre el terreno, por lo tanto el desarrollo de las pruebas iniciales se realizaron con el ánimo de determinar el alcance verdadero de los dispositivos sobre la ciudad, al respecto se observa que sobre la vía al tránsito, la cual es una zona plana en el entorno de pruebas, se logra una buena cobertura, pero en otras regiones como el Morro o la Facultad de Medicina, la cobertura es muy limitada, esto se debe a la presencia de obstrucciones y construcciones mayores a tres pisos, lo cual genera atenuación sobre la señal, impidiendo la comunicación.

Por lo tanto en el diseño de la red de asistencia vital fue muy importante el uso de una herramienta que permita analizar y determinar la atenuación causada por obstáculos en el trayecto de la señal, en este trabajo se decidió implementar un piloto de pruebas inicial, para determinar el alcance real de la señal de tal modo que posteriormente fuese posible configurar la herramienta de simulación para reproducir los resultados obtenidos en la experimentación y así desarrollar el diseño de la red completa para la ciudad de Popayán.

De acuerdo con la figura 3, en la simulación se brinda una cobertura similar a la obtenida en la realidad, sin embargo, la herramienta sigue siendo optimista con respecto a la cobertura en edificaciones, pero en el desarrollo del trabajo lo más importante es garantizar la cobertura sobre las carreteras, dado que las ambulancias se desplazan por la infraestructura vial de la ciudad de Popayán. De acuerdo con estos resultados se planteó ampliar la cantidad de estaciones base de la red para brindar cobertura completa a la ciudad, para lo cuál fue necesario incluir 9 estaciones como se aprecia en la figura 6.

En la figura 6, se puede analizar cómo la herramienta permite incluir el efecto del terreno y los edificios sobre la propagación, en la estación base 5 se tiene mayor cobertura dado que es una zona plana, con edificaciones de 2 pisos dado que corresponde al sector histórico de la ciudad, al lado de unos cerros tutelares, por lo cual se tiene cobertura hasta la parte alta de dichos cerros.

La red principal, tiene un alto grado de conectividad gracias a que la región donde se requiere implementar tiene zonas planas que permiten la visión eléctrica de los sistemas transceptores, sin embargo, esto implica un requerimiento de antenas con

un lóbulo de radiación de ancho aproximado de 60° tal que exista interconexión entre mas de una estación base, generando redundancia y una buena disponibilidad del sistema. La interconexión entre los centros asistenciales posibilita la atención ágil de los pacientes y la transmisión eficiente de historiales médicos, que faciliten el acceso a la información de salud.

5. Conclusiones

Es posible la implementación de una red de asistencia vital empleando tecnologías de bajo costo y consumo de potencia, capaces de brindar un enlace de comunicación confiable para establecer un canal de comunicación entre una ambulancia y un centro hospitalario, de tal modo, que se brinde una mejor atención al paciente que se está trasladando, siendo soportado por personal especializado. Para una determinada aplicación es necesaria la búsqueda de la tecnología adecuada, dado que en el auge de tecnologías enfocadas a suplir las necesidades de IoT, cada una tiene unas características específicas que pueden beneficiar a una aplicación específica. En esta etapa inicial del proyecto se trabajó con tecnologías en 900 MHz, sin embargo, dentro de estándares de la WiFi Alliance existe una versión comercial 802.11h HaLow enfocada a aplicaciones de bajo consumo de potencia y gran cobertura, pero debido a su reciente lanzamiento, no fue factible adquirir equipos que la implementen, sería importante en un futuro implementar la red empleando equipos que implementen el estándar 802.11h.

Es posible construir un sistema de comunicación para la transmisión de signos vitales de mejor cobertura, las pruebas realizadas muestran que a pesar de trabajar en bajas frecuencias existen problemas de cobertura en algunos puntos, lo que obligaría a la instalación de infraestructura adicional para mejorar la cobertura en los puntos críticos.

Para la construcción de un prototipo comercial, deben desarrollarse dispositivos especializados que ejecuten las tareas estrictamente necesarias. Esto debido a que el piloto desarrollado utiliza como elementos principales de procesamiento equipos de cómputo que ofrecen servicios no necesarios para dicho piloto, esto permitiría la miniaturización del sistema de comunicaciones y disminución en el costo de este.

La alta disponibilidad de un sistema de transmisión para este tipo de aplicaciones es necesaria, dado que la supervivencia de un paciente depende de la rápida y adecuada atención, por tal motivo se necesitan topologías tipo malla que proporcionen enlaces de redundancia de información.

El uso de mecanismos de comunicación efectiva en el traslado de pacientes hasta centros asistenciales puede constituir una herramienta importante para salvar vidas y monitorear el debido ofrecimiento del servicio, posibilitando la opción de asignar al paciente el sitio más cercano de atención.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Almadania, B., Bin-Yahyaa, M. & Shakshu, E. E-AMBULANCE: Real-Time Integration Platform for Heterogeneous Medical Telemetry System. *Procedia Computer Science* Volume 63, pp. 400-407, 2015.
- [2] Athavan, K., et al. Automatic ambulance rescue system. 2nd Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Technol. ACCT 2012, pp. 190–195, 2011.
- [3] Bharadwaj, R., et al. Efficient dynamic traffic control system using wireless sensor networks. Int. Conf. Recent Trends Inf. Technol. ICRTIT 2013, pp. 668–673, 2013.
- [4] Castellano, N., et al. Sistema de telemetría para la transmisión de datos desde ambulancia. *DYNA*, Volumen 79, Número 175, pp. 43-51, 2012.
- [5] Draggino. *Draggino Single Channel LoRa IoT Kit v2 User Manual*, 2019.
- [6] El-Masri, S. & Saddik, B. An Emergency System to Improve Ambulance Dispatching, Ambulance Diversion and Clinical Handover Communication— A Proposed Model. *J. Med. Syst.*, vol. 36, no. 6, pp. 3917–3923, 2012.
- [7] Eltayeb, A., Almubarak, H. & Attia, T. A GPS based traffic light pre-emption control system for emergency vehicles. Int. Conf. Comput. Electr. Electron. Eng. 'Research Makes a Differ. ICCEEE 2013, pp. 724–729, 2013.
- [8] Kadam, D. & Suryawanshi, S. Patient Health Care & Ambulance Monitoring System using Controller & Wireless Technology. Published in *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*. Volume: 4, Issue 9, September, 2016.

- [9] Hernández, C. et al., Soluciones de conectividad para comunidades andinas, Samava Ediciones, 2018.
- [10] IETSI. Uso de la telemedicina en covid: seguimiento y manejo de casos positivos. Instituto de Evaluación de Tecnologías en Salud e Investigación. 2020.
- [11] Isong, B., Dladlu, N. & Magogodi, T. Mobile-Based Medical Emergency Ambulance Scheduling System. *Int. J. Comput. Netw. Inf. Secur.*, vol. 8, no. 11, pp. 14–22, noviembre 2016.
- [12] Jojoa, P. & Hernández, C. Diseño e implementación de un prototipo usable de telemedicina para transmisión de señales médicas entre ambulancias y estación local hospitalaria. Proyecto financiado por el Sistema General de Regalías ID-4583 en el marco del proyecto Red de Formación del Talento Humano. Universidad del Cauca. (2018).URL: <https://www.unicauca.edu.co/sisvri/faces/sistemainfovri/sistemainformacionvri.xhtml>.
- [13] Nanwani, D., Kshirsagar, P., Kawalkar, B., & Deshmukh, P. Ambulance Tracking and Patient Health Monitoring Using GPS and GSM. Published in *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER)* Volume: 5, Issue 3, March, 2017
- [14] Ordóñez, L., González, J. & González, E. Study of a Radio Ambulance System, pp. 159–161, 2015.
- [15] Palanisamy, A., Praveen, S., Santhosh, K., Vaitheswari, S., & Nithyanandhan, D. Design GPS and GSM based Ambulance Tracking with Health Monitoring System. Published in *National Conference on Convergence of Computing BigData Analytics and Networking Technologies and Their impacts on Real World COCODANTR – 2016. Conference Proceedings. Volume:4, Issue: 11, 2016.*
- [16] Park, H. et al., Ambulance Telemedicine Using Mobile Smart Devices Connected Through an LTE-A Network, *J Clin. Otolaryngol*, vol. 27, pp. 112–120, 2016.
- [17] Pressman, R. *Ingeniería del Software: Un Enfoque Práctico*, Mc Graw Hill, 7 Ed, 2010.

- [18] Rábanos, J., Mendo, R. & Riera, J. *Comunicaciones Móviles*, Editorial Universitaria Ramon Areces, España, 2015.
- [19] RadioMobile. Freeware by VE2DBE: <https://www.ve2dbe.com/english1.html>.
- [20] Roodaki, M. Raahemifar, K. & Raahemi, B. Analysis of Quality of Services in LTE and Mobile WiMAX Comput. Electr. Eng., 40, 1508-1523, 2014.
- [21] Ubiquiti. NanoStation M, NanoStation Loco M. DataSheet. 2017.
- [22] Usman, M. A., Philip, N. Y. & Politis, C. 5G Enabled Mobile Healthcare for Ambulances. 2019 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), pp. 1–6, doi: 10.1109/GCWkshps45667.2019.9024584, 2019.
- [23] Viriyasitavat, W. & Tonguz, O. Priority management of emergency vehicles at intersections using self-organized traffic control. IEEE Veh. Technol. Conf., 2012.