

Tapias, Juan, y Camacho, Raúl (2019). Caracterización de radioenlaces para interconectar el nuevo hospital de La Candelaria con sus puestos de salud en Purificación para el desarrollo de la telemedicina. Cuaderno Activa, 11, 121-136.



Caracterización de radioenlaces para interconectar el nuevo hospital de La Candelaria con sus puestos de salud en Purificación para el desarrollo de la telemedicina¹

Characterization of radio links to interconnect the new La Candelaria hospital with its health posts in Purificación for the development of telemedicine

Juan Esteban Tapias Baena², Raúl Camacho Bríñez³

Recibido: 30 de noviembre de 2018 **Aprobado:** 07 de junio de 2019

Resumen: Actualmente se desarrolla la telemedicina para lograr ofrecer un servicio de salud en lugares de difícil acceso; para su desarrollo es importante tener presente que la conectividad no es el único componente, ya que es necesario personal especializado, infraestructura, inversión en equipos, plataformas tecnológicas y gestión del conocimiento. El desarrollo de esta investigación relaciona el componente de conectividad con el objetivo de lograr conectar el hospital de Purificación con algunos de sus puestos de salud. El estudio se fundamenta en el uso de tecnologías inalámbricas, ya que los puestos de salud se encuentran ubicados en zonas aisladas sin

infraestructura y sin servicios de conectividad; son, además, zonas con orografías complejas, lo que complica una solución alámbrica. Se ha realizado una investigación de enfoque cuantitativo con una metodología conformada por tres fases, donde se evidencia el alcance del estudio, el desarrollo del diseño, el análisis de datos, la obtención y el análisis de resultados. Se hizo un estudio exploratorio, ya que no se evidencia que en dichos municipios se hayan hecho investigaciones en temas de conectividad, y un estudio descriptivo en el que se analizó la viabilidad de la tecnología inalámbrica para lograr la conectividad. Para el análisis de conectividad se utilizó el software libre radio

1 Este artículo es resultado del proyecto diseño y evaluación de radioenlaces para interconectar el nuevo hospital La Candelaria de Purificación con cuatro puestos de salud y el hospital San Vicente de Rovira con cinco puestos de salud para el desarrollo de la telesalud. Fase dos del Proyecto.

2 Estudiante de Ingeniería de Telecomunicaciones. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Correo electrónico: jet.1594@hotmail.com

3 Magister en Dirección Estratégica, especialidad Telecomunicaciones. Líder Nacional del Programa Ingeniería de Telecomunicaciones. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Correo electrónico: raul.camacho@unad.edu.co

Mobile, que permite el cálculo de radioenlaces en terrenos complejos, donde es posible analizar las características de las antenas y los factores que afectan el radioenlace.

Palabras clave: Ancho de banda, conectividad, radioenlaces, telemedicina, Tolima.

Abstract: Telemedicine is currently being developed to offer a health service in places that are difficult to access; for its development it is important to keep in mind that connectivity is not the only component, since it is necessary specialized personnel, infrastructure, investment in equipment, technological platforms and knowledge management. The development of this research links the connectivity component with the objective of connecting the Purificación hospital with some of its health posts. The study is based on the use of wireless technologies, since health posts are located in isolated areas without infrastructure or Internet service. These are, besides, areas with a complex orography, which complicates a wired solution. An investigation of quantitative approach has been carried out with a methodology consisting of three phases; where the scope of study is evidenced, the development of the design, the analysis of data and the obtaining and analysis of results. An exploratory study was carried out, because in these municipalities there is no evidence of research conducted on connectivity issues and a descriptive study where the viability of wireless technology was analyzed to achieve connectivity. For the connectivity analysis, free radio software Mobile was used, which allows the calculation of radio links in complex terrains; where it is possible to analyze characteristics of the antennas and factors that affect the radio link.

Keywords: Bandwidth, connectivity, radio links, telemedicine, Tolima.

Introducción

Las redes inalámbricas son redes que utilizan ondas de radio para conectar dispositivos sin la necesidad de utilizar cables de ningún tipo (Salazar, 2014).

Las ondas electromagnéticas utilizadas por el hombre tienen un amplio espectro y un gran número de aplicaciones. Gracias a estas ondas tenemos aplicaciones médicas como la radiología convencional con los rayos X, la medicina nuclear con los rayos gamma, la luz visible con todas las aplicaciones ópticas como el microscopio, la radio, la televisión, las comunicaciones satelitales y la telefonía celular. Estas ondas se utilizan en comunicaciones terrestres o satelitales y debido a que se desplazan en línea recta requieren de la existencia de una línea de vista entre las dos antenas terrestres. (Poliszuk y Salazar, 2006, p. 9)

Hoy en día se hace referencia a redes de gran alcance inalámbrico (WWAN, por sus siglas en inglés) que permiten la conexión de redes y usuarios de zonas geográficamente distantes. Podemos distinguir dos tipos: WWAN fijas, que utilizan radioenlace o satélite, y WWAN móviles. Las redes WWAN fijas pueden utilizar tecnologías de radioenlace o satélite. Utilizando radioenlaces se pueden conectar redes separadas geográficamente con diferentes bandas del espectro electromagnético (infrarrojos, microondas, láser, etc.), que pueden ser de punto a punto o de punto a multipunto (Blázquez, Ramírez, Morillo y Prieto, 2011). Las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) han impactado de forma positiva en el sector de la salud en todo el mundo. Los desarrollos en el área de las TIC generados en la década de los noventa propiciaron la innovación y transformación del sistema de salud mundial; dichos avances tecnológicos tienen cambios a favor del paciente y lo han posicionado en el eje de todas las actuaciones al mejorar la continuidad en la asistencia, la equidad en el acceso y la eficiencia de los servicios de salud y fomentar el trabajo colaborativo entre los profesionales clínicos (ehCos, 2017).

Es el auge de estas tecnologías lo que ha generado enormes expectativas para paliar los problemas de prestación de servicios médicos y de salud pública, ocasionados por el reducido número de especialistas y la escasez de recursos, tanto en países desarrollados como en países emergentes. Estas tecnologías podrían convertirse en un gran aliado de los profesionales de asistencia a la hora de llevar a cabo su actividad asistencial, que las podrían utilizar para mejorar la calidad en el diagnóstico, el tratamiento de las enfermedades y la monitorización en tiempo real de los pacientes, estableciendo contacto con ellos sin necesidad de pasar por la consulta o de ser hospitalizados (Saigí, 2017).

El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia (Mintic) ha venido promoviendo iniciativas para llevar conectividad a las zonas más remotas de nuestro país, como, por ejemplo, el plan Vive Digital 2014-2018, el cual busca llevar redes de alta velocidad a las zonas más alejadas por medio del despliegue de fibra óptica, conectar el campo a través de los kioscos Vive Digital Colombia, y avanzar en la implementación de la tecnología 4G en el país, entre otros objetivos (Mintic, 2018). De acuerdo a la investigación realizada, se evidenció que los puestos de salud de las zonas rurales de los municipios de Purificación y Rovira no cuentan con conectividad a internet.

En sus planes de desarrollo 2016-2019, los municipios de Purificación y Rovira articulan el desarrollo de la telemedicina. Esta investigación aporta al componente de conectividad utilizando tecnologías inalámbricas, especialmente en servicios fijos. Los servicios de radiocomunicación se definen, en sentido amplio y general, como la emisión y recepción de ondas radioeléctricas con fines de transmisión o recepción de información, para la cobertura de necesidades de telecomunicación o de tipo científico o industrial, y se pueden clasificar en servicios fijos, móviles o de radiodifusión (Rábanos, 2003).

Para esto se utilizó el software Radio Mobile, una herramienta para analizar y planificar un sistema de radiocomunicaciones fijo o móvil. El software permite el uso de mapas con datos digitales de elevación de terreno, así como datos de estaciones de radiocomunicación y otros algoritmos que usan

para su desarrollo modelos de propagación de radio, de este modo se obtienen niveles de señal en distintos puntos de un trayecto y los perfiles de elevación de ese trayecto. Toda esta información se utiliza para el cálculo y diseño de radioenlaces o para la cobertura de una zona determinada analizando y planificando las comunicaciones en entornos rurales (Díaz, 2018).

El objetivo del proyecto es plantear una conexión tecnológica a través de radioenlaces que permita conectar los puestos de salud con el hospital. Para ello se recolectaron datos como coordenadas, distancias, elementos cartográficos e información orográfica que permiten procesar y analizar los datos a través de simulaciones con el software Radio Mobile para posteriormente elaborar los resultados de diseño de radioenlaces.

Marco teórico

El diseño y desarrollo de un radioenlace requieren necesariamente una planificación estratégica que esté en consonancia con el problema que se va a solucionar, la situación y la tecnología que se va a usar. Esta planeación se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Etapas de desarrollo de un radioenlace

#	Etapas
1	Análisis de posibles sitios para instalación de las antenas
2	Creación de perfil de elevación
3	Determinación de posibles obstáculos
4	Determinación de altura a la cual instalar las antenas
5	Cálculo del margen de desvanecimiento
6	Cálculo de umbral o sensibilidad del receptor
7	Potencia de recepción
8	Potencia de transmisión
9	Selección de antenas
10	Criterios de calidad del radioenlace

Fuente: Astudillo (2009)

1. Análisis de posibles sitios para instalación de antenas: Se deben tener en cuenta muchos factores de importancia a la hora de determinar los lugares donde las antenas se ubicarán. Tenemos que verificar (Astudillo, 2009):

- Condiciones del clima en el sitio (temperaturas, niveles de lluvias, descargas eléctricas, humedad, etc.).
- Tipos de terrenos (arenoso, suelo, piedras).
- Población (si es numerosa, escasa, etc.).
- Acceso a vías de transporte. Analizar si existen vías de transporte habilitadas y funcionales al lugar donde se instalará la antena, esto es importante para lograr desarrollar el proyecto en la práctica, pensando en visitas exploratorias, cargue de material, desplazamiento de equipos, etc.
- Punto de alimentación de energía más cercano. Este factor es fundamental para el funcionamiento de los equipos en transmisión y recepción.
- Infraestructura existente. En ocasiones en los lugares de instalación se cuenta con infraestructura ya preexistente (como mástiles, construcciones, bases, morteros e incluso antenas), estos recursos se deben aprovechar pensando en abaratar costos y mejorar las condiciones de instalación del enlace.

2. Creación de perfiles de elevación: La creación de un perfil de elevación de terreno puede hacerse mediante el uso de mapas adquiridos en el IGM (Instituto Geográfico Militar) y luego realizar la aplicación de curvas de nivel. Sin embargo, hoy por hoy podemos emplear herramientas de software que nos permiten hallar estos perfiles, como es el caso de Google Earth, pues con solo ingresar las coordenadas de ambos sitios (transmisión y recepción) se puede desarrollar un perfil de elevación del terreno y verificar con ello posibles obstáculos. Simuladores como el software libre *Radio Mobile* permiten desarrollar no sólo los perfiles de elevación, sino también verificar las curvas de nivel a través de la creación de mapas a partir de bases de datos proporcionadas por *Google Maps*, y con ello realizar una descripción precisa de la situación topográfica del terreno.

3. Determinación de posibles obstáculos: Se verifican cuáles son los posibles obstáculos que afecten el radioenlace, teniendo en cuenta el factor de curvatura terrestre y los perfiles de elevación, para analizar los picos que impidan la línea de vista (LOS, por sus siglas en inglés [*line of sight*]) y obstaculicen las zonas de Fresnel.

4. Determinación de altura a la cual instalar las antenas: Se debe tener en cuenta el efecto de refracción y el cálculo de abultamiento. El término *línea de vista* (LOS) se refiere a un camino limpio, sin obstrucciones, entre las antenas transmisoras y los receptores (Astudillo, 2009); esto es así porque la estructura de la atmósfera terrestre es tan diversa que su índice de refracción varía con la altura, lo que causa un efecto de curvatura en la trayectoria de la transmisión. Por ende, este efecto debe tenerse en cuenta puesto que la línea de vista (LOS) se refiere a que la onda sea captada por el receptor directamente desde el transmisor. El factor K, llamado factor de curvatura terrestre, es un factor de corrección que corresponde a 4/3 en el caso de una región de clima tropical templado.

También debe tomarse en cuenta que si no se ha considerado la curvatura de la Tierra, el perfil topográfico no es un perfil real. Por ello se requiere aplicar una corrección de perfil a través de la fórmula (1).

$$C = \frac{d_1 [Km] \times d_2 [Km]}{2K a [Km]} \times \frac{1000 [mts]}{1 [Km]} \quad (1)$$

Donde:

a = radio de la Tierra, equivalente a 6.378.137 km
K = es el factor de curvatura terrestre, equivalente a 4/3

d₁ = distancia desde el sitio hasta el obstáculo o altura en consideración

d₂ = Distancia total - d₁

Por último, debemos tomar en cuenta el obstáculo más evidente del enlace, y realizar el cálculo del radio de su primera zona de Fresnel, la cual depende de forma directa de la distancia y, de forma inversa, de la frecuencia. Se puede expresar de forma matemática según la ecuación (2)

$$F_1 = 547.533 \sqrt{\frac{d_1 [Km] d_2 [Km]}{d [Km] f [MHz]}} [mts] \quad (2)$$

Donde:

F_1 = Radio de la primera zona de Fresnel

f = frecuencia en MHz

d_1 = distancia desde la antena transmisora hasta el obstáculo

d_2 = distancia desde el obstáculo hasta la antena receptora en Km.

$d = d_1 + d_2$

5. Pérdidas por trayectoria: De acuerdo con Wayne Tomasi (2003, p. 351):

La ley del cuadrado inverso de la radiación describe en forma matemática la reducción de densidad de potencia con la distancia de la fuente. A medida que se aleja un frente de onda de la fuente, el campo electromagnético continuo que irradia la fuente se dispersa. Esto es, las ondas se alejan cada vez más entre sí y, en consecuencia, la cantidad de ondas por unidad de área es menor.

Las pérdidas en espacio libre son proporcionales al cuadrado de la distancia y al cuadrado de la frecuencia; esto es posible representarlo de forma matemática según la ecuación (3).

$$L_p = (32,45 + 20 \log f [MHz] + 20 \log d [Km]) [dB] \quad (3)$$

Donde:

L_p = pérdida por espacio libre [dB]

f = frecuencia a utilizar [MHz]

d = distancia entre transmisor y receptor [km]

6. Pérdidas de línea: Un cable puede causar pérdidas en la transmisión al conectar la antena con el transmisor de radio; en este punto suele usarse un cable coaxial de baja pérdida para que pueda conducir las ondas de radiofrecuencia. Un margen común de pérdidas de línea con el cual se trabaja en simuladores y en cableados reales es de -0.5 dBm (Astudillo, 2009).

7. Pérdidas por conectores: También es importante resaltar que puede haber pérdidas por conectores y esto debe tenerse en cuenta. Existen tablas de pérdidas por conectores (Buettrich, 2007) en las cuales pueden tomarse diferentes tipos de cables como RG58, coaxial, etc., los cuales presentan pérdidas en dB por metro. No obstante, en simulaciones y montajes reales, generalmente se dejan las pérdidas de línea (incluyendo conectores) en un valor de -0.5dB.

8. Cálculo del margen de desvanecimiento:

Es la diferencia entre la potencia de recepción y la potencia umbral del receptor; esto permite encontrar un rango de valores que luego de restarlos a la potencia de recepción permiten que el receptor encuentre la señal. Es importante resaltar que si el valor que resulta de ello es más pequeño que el umbral, entonces el receptor no recibe la señal (Astudillo, 2009). Matemáticamente esto puede describirse según la ecuación (4):

$$FM = P_{rx} [dBm] - S [dBm] [dB] \quad (4)$$

Donde:

FM es el margen de desvanecimiento

P_{rx} es la potencia de recepción [dBm]

S es el umbral o sensibilidad del receptor

Si relacionamos el margen de desvanecimiento con la ganancia del sistema, encontramos otra fórmula (5) que puede ayudar a realizar el cálculo.

$$FM \leq P_t - C_{min} - L_p - L_f - L_b + G_t + G_r \quad (5)$$

Donde:

P_t es la potencia del transmisor en dB

C_{min} es la sensibilidad del receptor dBm

L_p son las pérdidas de propagación

$L_{f,b}$ son las pérdidas por línea, incluyendo la trayectoria

$G_{t,r}$ son las ganancias de las antenas transmisora y receptora, respectivamente

9. Umbral o sensibilidad del receptor: Todo equipo necesita un nivel mínimo de señal para lograr tener un funcionamiento adecuado (nivel de calidad), a esto se le llama sensibilidad. Este parámetro es importante, porque permite identificar el valor mínimo de potencia que

necesita para poder extraer bits lógicos y alcanzar cierta tasa de bits. Además, permite que el valor de potencia recibido asegure una tasa de error BER de 10^{-3} y 10^{-6} . Importante anotar que este valor es dado por los fabricantes de los equipos.

10. Potencia de recepción: Potencia de recepción es el resultado de la diferencia entre la potencia de transmisión y las atenuaciones (guías de onda, cable coaxial, espacio libre) sumadas a las ganancias de las antenas en directividad. Matemáticamente se define en la fórmula (6):

$$P_{RX} = [dBm] + G_A [dB] - L_P [dB] - L_f [dB] - L_S [dB] \quad (6)$$

Donde:

P_{RX} = Potencia de recepción [dBm]

Potencia de transmisión [dBm]

G_A = Ganancia de antenas T_x, R_x

L_P = Pérdidas por espacio libre

L_f = Pérdidas por cable coaxial

L_S = Pérdidas por atenuación de sombra debido a cumbre

11. Potencia de transmisión: Es la potencia de salida del transmisor. Por lo general, a más potencia del equipo, más costoso es. Los niveles de la potencia del transmisor siempre vienen especificados por el fabricante, pero aun así los valores reales pueden cambiar dependiendo de factores como temperatura y tensión en la alimentación. Otro punto importante a tener en cuenta es que, a mayor potencia de transmisión, más fácil alcanzar el receptor. Para calcular la potencia máxima se debe conocer la ganancia de la antena, pues la suma de ésta y la potencia de salida en dBm dan como resultado la PIRE (Potencia isotrópica radiada equivalente) (Astudillo, 2009).

12. Selección de antenas: Para realizar la selección de antenas necesarias para el desarrollo del proyecto se requiere tener en cuenta los requisitos del radioenlace y cuáles antenas podrían suplirlos según sus capacidades técnicas. Algunas características son:

- Frecuencia. Rango del espectro en el cual la antena puede operar. Es importante para ello verificar qué es lo que se quiere y cómo

trabajarlo. En frecuencias libres se usan antenas que operan en bandas 2.4 GHz, 4.9 GHz, o 6 GHz (Astudillo, 2009, p. 45).

- Ganancia. La ganancia de una antena en una dirección dada es la cantidad de energía radiada en esa dirección comparada con la energía que podría radiar una antena isotrópica en la misma dirección alimentada con la misma potencia. Generalmente estamos interesados en la ganancia máxima, que es aquella en la dirección hacia la cual la antena está radiando la mayor potencia (Butler et al., 2013, p. 69).
- Ancho de haz. Se encuentra en el pico de intensidad de radiación, luego se localizan los puntos de ambos lados del pico que representan la mitad de su potencia de intensidad. La distancia angular entre los puntos de mitad de potencia se define como el ancho del haz. La mitad de la potencia expresada en decibeles es de -3dB, por lo tanto, algunas veces el ancho del haz a mitad de potencia es referido como el ancho del haz a 3dB. Generalmente se consideran tanto el ancho de haz vertical como el horizontal. Suponiendo que la mayoría de la potencia radiada no se disperse en lóbulos laterales, entonces la ganancia directiva es inversamente proporcional al ancho del haz: cuando el ancho del haz decrece, la ganancia directiva se incrementa (Monachesi, Frenzel, Chaile, Carrasco y Gómez, 2011, p. 8).
- Patrón de radiación. El patrón de radiación o patrón de antena describe la intensidad relativa del campo radiado en varias direcciones desde la antena a una distancia constante. El patrón de radiación es también de recepción, porque describe las propiedades de recepción de la antena (Butler et al., 2013, p. 70).
- Polarización. La polarización de una antena en una dirección dada se define como "la polarización de la onda radiada cuando ésta se encuentra excitada". La polarización generalmente se define en la dirección en la que la antena radia el máximo de potencia, ya que los enlaces se diseñan para que sean eficientes en la dirección de máxima radiación (Anguera y Pérez, 2008, p. 44).
- Pérdidas por retorno. "Es la relación entre la potencia reflejada y la aplicada, se mide en dB" (Astudillo, 2009, p. 49).

- Eficiencia de la antena. Relación entre la potencia radiada por la antena y la potencia total entregada a la antena para una frecuencia dada de operación. Se puede considerar que la resistencia total de carga está formada por dos resistencias en serie: una de valor R (resistencia de radiación) y otra de valor r que representa la disipación óhmica de la antena. Será tanto más eficiente cuanto mayor sea la relación R/r . (Monachesi et al., 2011, p. 9).

13. Criterios de calidad de un radioenlace: La calidad de un radioenlace es el grado en el que el sistema de transmisión está en condiciones de poder proporcionar el servicio para el cual ha sido diseñado. Existen para ello dos tipos de aspectos de calidad que son complementarios y se relacionan (Rodríguez, 2003).

La disponibilidad de un equipo o sistema es su aptitud para desempeñar la función para la cual fue proyectado, y se cuantifica por la probabilidad de que el sistema se encuentre en condiciones de funcionamiento en cierto momento dado. El período total del sistema puede descomponerse en el tiempo en que está disponible y el tiempo en el que no lo está. Para determinarlos se establece un criterio o *umbral de indisponibilidad*, que es la condición o el funcionamiento degradado. La indisponibilidad total es la sumatoria de los tiempos de indisponibilidad dividida entre el tiempo de observación, y matemáticamente se expresa según la fórmula (7):

$$U = \frac{\sum^T \text{indisp}}{T} * 100 [\%] \quad (7)$$

Estando el radioenlace en condiciones de disponibilidad se pueden producir interrupciones muy pequeñas y degradaciones muy ligeras que generan errores en los bits que se transmiten y que pueden afectar la calidad y nitidez de la señal recibida, es decir su *fidelidad*. Esta fidelidad se mide en diferentes grados y se cuantifica según las degradaciones admisibles y los porcentajes de tiempo en que no puedan superarse (Rodríguez, 2003).

La indisponibilidad total se puede desglosar en dos componentes: indisponibilidad de equipo e indisponibilidad de propagación, y se define según la fórmula (8):

$$U(L) = U_{\epsilon}(N) + U_p(T) \quad (8)$$

Donde:

$U(L)$ = Indisponibilidad de un trayecto de longitud
 $U_{\epsilon}(N)$ = Indisponibilidad del equipo, y se calcula según cada una de las N secciones de conmutación.

$U_p(T)$ = Indisponibilidad de propagación, se calcula por separado para cada tramo T .

14. Indisponibilidad del equipo: El cálculo de indisponibilidad de un equipo se relaciona con su fiabilidad, que a su vez se define como la probabilidad de que un equipo sí cumpla con su función en ciertas condiciones y durante un período determinado y que luego de ese tiempo pueda ser reparado, llegado el caso. La fiabilidad también se relaciona con el tiempo entre las averías sucesivas del equipo; esta es una característica del equipo y se denomina "tiempo medio entre fallos" (MTBF, por sus siglas en inglés), el cual generalmente es muy alto y se encuentra expresado en horas. Para lograr estudiar la indisponibilidad de un equipo se requiere comprender el concepto de tiempo medio de reparación (MTTR), el cual es el valor medio de tiempo que transcurre entre la creación de la avería y el restablecimiento del equipo. Este MTTR dependerá del diseño del equipo y de sus políticas de mantenimiento. Matemáticamente, la indisponibilidad de un equipo viene dada por la ecuación (9):

$$U_E (\%) = \frac{MTTR}{MTBF} * 100 \quad (9)$$

15. Parámetros de calidad de error e indisponibilidad: El parámetro básico de la calidad de error en cualquier sistema de transmisión digital entre interfaces es la *tasa de error en los bits* (BER). La calidad de error de un sistema sólo puede ser evaluada y definida cuando el sistema está disponible. A partir de la BER se definen otros parámetros usados en la formulación de objetivos de calidad para los sistemas de transmisión digital:

- Segundo con errores. Período de un segundo en el cual hay uno o más bits erróneos.
- Segundo con muchos errores. Período de un segundo en el que la tasa de errores BER es mayor a 10^{-3} .
- Segundo sin errores. Período de un segundo en el que no hay errores de bit.

Si la distancia del radioenlace no excede los 280 km los objetivos de indisponibilidad serán de

$$U_T=0.0336\%$$

Esta indisponibilidad es la suma de la indisponibilidad en el equipo y la indisponibilidad por lluvia.

16. Criterios de calidad en cuanto a fidelidad:

Los criterios de calidad en cuanto a fidelidad para radioenlaces análogos se definen determinando la relación señal a ruido S/N en un canal, y para radioenlaces digitales se definen en términos de parámetros ESR y SESR. Los digitales presentan ciertas características de funcionamiento por debajo de ciertos valores de la BER, la calidad se limita por el ruido de cuantificación. La BER se estima por la probabilidad de error del bit, el cual a su vez depende de la relación de energía por bit/densidad de potencia de ruido de recepción del sistema de modulación y de las distorsiones que afecten la señal digital. La indisponibilidad de un equipo se calcula aplicando parámetros dados por el fabricante, los cuales son: el tiempo medio entre fallos MBTF y el tiempo medio de reparación MTTR. Se detallan en la ecuación (10):

$$U_f (\%)= \frac{MTTR}{MTBF} *100 (10)$$

De acuerdo a las recomendaciones UIT-R, para radioenlaces de menos de 280 km el porcentaje que no puede excederse es:

$$U_T=0.0336\%$$

Metodología

La investigación se realizó bajo un enfoque cuantitativo en el que se evidencia: el alcance

de estudio, el desarrollo del diseño, el análisis de datos y la elaboración de resultados. Se llevó a cabo un estudio exploratorio, ya que en dichos municipios es un tema poco investigado, y un estudio descriptivo, en el que se analizó la viabilidad de la tecnología inalámbrica para lograr la conectividad.

El proyecto se desarrolló con las siguientes fases:

Fase 1: Exploratoria

Inicialmente se hicieron reuniones con los directivos del hospital La Nueva Candelaria y la alcaldía de Purificación con miras a lograr recabar información respecto de los puntos donde se encuentran ubicados los puestos de salud. La información obtenida se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Información de emplazamientos del proyecto

Purificación	Información de emplazamiento
Chenche Uno	Distancia de una hora en automóvil, vías pavimentadas
Chenche Asoleado	Cuarenta y cinco minutos en automóvil, vías pavimentadas
Lozanía	Tres horas en carro o bestia, vías destapadas
Villa Esperanza	Cinco horas en carro o bestia, sin vías o caminos de herradura
El Vergel	Dos horas en carro o bestia, vías destapadas

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se realizaron los viajes a cada emplazamiento, donde se trabajaron las siguientes actividades:

- Socialización del proyecto a los directivos locales y población de la vereda
- Toma de coordenadas del punto en el puesto de salud
- Toma de evidencia fotográfica del lugar
- Análisis de la infraestructura existente

- Revisión topográfica del sitio por medio de fotografías, y visualización de la orografía del sector

Fase 2: Resultados sobre diseño y simulaciones

Con el trabajo culminado en la fase 1, se realizó el trabajo de diseño y simulación del radioenlace en el que se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Levantamiento de perfiles de elevación gracias a las coordenadas obtenidas, haciendo uso de Google Earth.
- Análisis topográfico del sector, gracias a evidencias fotográficas y testimonios de los viajes a la zona.
- Caracterización de variables que afectan el desarrollo del radioenlace.
- Desarrollo de cálculos matemáticos pertinentes.

- Simulación del radioenlace en radio Mobile
- Análisis de los datos arrojados por el simulador

Fase 3: Discusión y conclusiones

La última fase del proyecto consistió en el análisis y la discusión sobre sus aspectos más relevantes y su aplicabilidad en otros lugares y áreas del conocimiento.

Resultados⁴

Enlace "Puesto de salud Chenche Uno – Hospital la Nueva Candelaria" en Purificación.

Análisis de posibles sitios para instalación de antenas

En la Tabla 3 se relacionan las variables que se deben considerar para la verificación del sitio de instalación de las antenas.

Tabla 3. Análisis de sitio de instalación de las antenas

Variables	Análisis
Condiciones climáticas	Respecto a condiciones climatológicas de Purificación, se cuenta con una humedad del 71 %, velocidad de viento de 6 km/h, una temperatura promedio de 29° y una sensación térmica del 34° (Weather.com, 2018)
Terreno	El terreno en las zonas veredales de Purificación es de pendientes escarpadas, paisaje tipo montaña y relieve de espinazos; los suelos son tipo areniscas y arcillitas (Cortolima, 2009).
Acceso a vías de transporte	Al ser una vereda en una zona montañosa, el acceso es difícil por la malla vial y la topografía; no existen carreteras y los caminos son destapados.
Puntos de alimentación de energía	En el puesto de salud existe alimentación de energía, pero es inestable debido a fallas ocasionadas por el abandono de la infraestructura física del lugar.
Infraestructura existente	Existe un mástil que antes pertenecía a Movistar. Pero el lugar se encuentra en total abandono.

Fuente: Elaboración propia

⁴ Nota: se aclara que el desarrollo del presente artículo se enfoca en el radioenlace entre el hospital La Nueva Candelaria y el puesto de salud de Chenche Uno, por tanto, en esta sección sólo se muestra el desarrollo de uno de los cinco enlaces del proyecto.

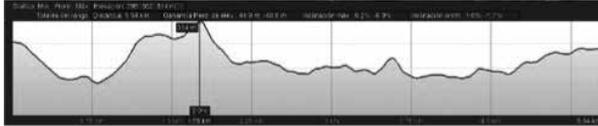
Creación de perfiles de elevación

Hacemos uso de *Google Earth* y levantamos el perfil topográfico gracias a las coordenadas tomadas por GPS (ver Tabla 4 y Figura 1).

Tabla 4. Coordenadas de puntos

Punto	Coordenada
Puesto Salud Chenche Uno	3°52'56.10"N, 74°58'31.33"O
Hospital la Nueva Candelaria	3°51'21.63"N, 74°55'58.72"O

Fuente: *Elaboración propia*



Punto transmisor → ← Punto receptor

Figura 1. Perfil de elevación del sitio

Fuente: *Google Earth*

Determinación de posibles obstáculos

El perfil de elevación del radioenlace es bastante favorable. Sólo posee un obstáculo a 1,75 km del enlace; este obstáculo puede sortearse modificando alturas de antenas y otros parámetros que veremos en otra sección del artículo.

Cálculos para la altura de las antenas

Para el cálculo de las alturas de las antenas se debe tener en cuenta la zona de Fresnel, línea de vista y el cálculo del abultamiento.

Zona de Fresnel. Hacemos uso de la ecuación (2):

$$F_1 = 547.533 \sqrt{\frac{d_1 [Km] d_2 [Km]}{d [Km] f [MHz]}} [mts] \quad (2)$$

$$F_1 = 547.533 \sqrt{\frac{1.78 (3.78)}{5.56 (5450)}} [mts]$$

$$F_1 = 8.172 \text{ m}$$

Cálculo de abultamiento. Hacemos uso de la ecuación (1):

$$C = \frac{d_1 [Km] \times d_2 [Km]}{2K a [Km]} \times \frac{1000 [mts]}{1 [Km]} [mts] \quad (1)$$

$$C = \frac{1.78 (3.78)}{2 (\frac{4}{3}) (6378.137)} \times \frac{1000}{1} [mts]$$

$$C = 0.3956 \text{ m}$$

En un radioenlace la variable más importante a la hora de determinar la altura de las antenas es la línea de vista, ya que ésta permite adicionar ganancia a la antena. Luego de analizar la topología del sector y verificar la línea de vista podemos determinar que una altura considerable sería de 20 m para cada mástil.

Cálculo de pérdidas por trayectoria. Usamos la ecuación (3)

$$L_p = (32,45 + 20 \log f [MHz] + 20 \log d [Km]) [dB] \quad (3)$$

$$L_p = (32,45 + 20 \log (5450) + 20 \log (5.56)) [dB]$$

$$L_p = 122.079$$

Cálculo de pérdidas de línea. Tomaremos las pérdidas de línea como de -0.5dB, éste es un estándar común en montajes mediante el cual se busca que el cableado reduzca al máximo las pérdidas. Los montajes modernos que usan fibra óptica tienen un porcentaje de pérdidas casi nulo.

Cálculo del margen de desvanecimiento. Hacemos uso de la ecuación (5), también tenemos en cuenta que la ganancia de la antena es de 23 dBi (ver Tabla 5):

$$FM \leq Pt - C_{\min} - L_p - L_f - L_b + G_r + G_t \quad (5)$$

Tabla 5. Cálculo del margen de desvanecimiento

Datos	Elementos	Valores
Distancia: 5.53 km Frecuencia: 5.450GHz	Potencia Tx	22 dBm
	Pérdidas por cables y conectores	-0.5 dB
Distancia: 5.53 km Frecuencia: 5.450GHz	Pérdidas por trayectoria en espacio libre	-122.032 dB
	Ganancia Tx	23 dBi
	Pérdidas por cables y conectores	-0.5 dB
	Sensibilidad del receptor	-(-)93 dBm
	Total (margen)	+14.968 dB

Fuente: Elaboración propia

Umbral o sensibilidad del receptor. Como se mencionó en el punto anterior, es de -93 dB.

Potencia de transmisión. Este valor está especificado por el fabricante de la antena, en nuestro caso es de 22 dB.

Potencia de recepción. Este valor está especificado por el fabricante de la antena, en nuestro caso es de 22 dB.

Selección de las antenas. Luego de analizar todas las variables y criterios para selección de antenas, llegamos a la conclusión de que la antena Equipo Radio Enlace InfiLINK XG 1000, producto de INFINET, es la adecuada, es una antena tipo sectorial, lo que significa que su patrón de radiación nos permitirá dirigir la señal correctamente entre los puntos. Podemos hablar de los demás parámetros, como la frecuencia, la cual está en la banda de los 4.9 a 6 GHz, esto es una frecuencia libre; respecto a términos de potencia de transmisión y recepción también son los valores adecuados.

Criterios de calidad del enlace

Teniendo los valores de desvanecimiento y pérdidas de propagación podemos proceder a calcular algunos criterios de calidad del enlace para determinar si es viable o no bajo esta óptica.

Cálculo de atenuación o desvanecimientos por lluvia

Atenuación específica. Para este cálculo debemos tomar como base la ecuación (11) y los valores que determina la recomendación UIT-R P.838-1 que indica (UIT, 1999):

$$\gamma R \left(\frac{dB}{Km} \right) = k R^a \quad (11)$$

Asimismo, la recomendación indica los valores de k y de a , dependientes de la frecuencia y las polarizaciones. Por otro lado, debemos encontrar el promedio de precipitaciones por hora en las zonas veredales de Purificación; este valor está alrededor de 85 mm/h. Encontramos que para 5.450 GHz: $k = 0.00175$ $a = 1.308$

$$\begin{aligned} \gamma &= 0.00175(85^{1.308}) \quad (11) \\ \gamma &= 0.58441 \text{ db/km} \end{aligned}$$

Longitud efectiva del trayecto

Para el cálculo de la longitud efectiva del trayecto, teniendo en cuenta la intensidad de lluvia descrita, calculamos con la fórmula (12):

$$d_v = 35 * e^{-0.015R} \quad (12)$$

$$d_v = 35 * e^{-0.015R} \quad (85)$$

$$d_v = 9.78 \text{ km}$$

$$L_{ef} = \frac{d}{1 + d/d_o}$$

$$L_{ef} = \frac{556}{1 + (5.56)/(9.78)}$$

$$L_{ef} = 3.544 \text{ km}$$

Cálculo de atenuación por lluvia para el 0,01% del tiempo. Para este cálculo usamos la fórmula (13):

$$A_{0.001} = \gamma * L_{ef} \quad (13)$$

$$A_{0.001} = 0.58441 * 3.544$$

$$A_{0.001} = 2.07114 \text{ dB}$$

Indisponibilidad del equipo. Para este cálculo se requiere conocer los valores de tiempo medio entre fallos (MTBF) y tiempo medio de reparación MTTR. Para estas antenas tendremos un MTBF de 80.000 horas y un MTTR de 6 horas. Con ello podemos calcular utilizando la fórmula (9):

$$U_E (\%) = \frac{MTTR}{MTBF} * 100 \quad (9)$$

$$U_E (\%) = \frac{6}{80.000} * 100$$

$$U_E (\%) = 0.0075$$

Este valor es para cada equipo, de acuerdo a las recomendaciones UIT-R. para radioenlaces de menos de 280 km, el porcentaje que no puede excederse es:

$$U_T = 0.0336\%$$

Al comparar los resultado, que es de 0.0075, se observa que se cumple con el objetivo planteado y se puede decir que el enlace es avalado por criterios de calidad.

Simulaciones

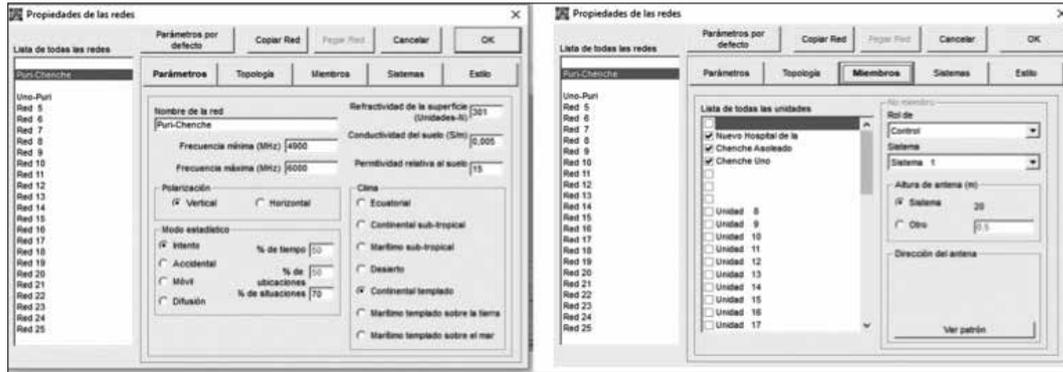


Figura 2. Ingresando parámetros de las redes.
Fuente: Radio Mobile (2018)



Figura 3. Ingresando parámetros de las redes parte 2.
Fuente: Radio Mobile (2018)

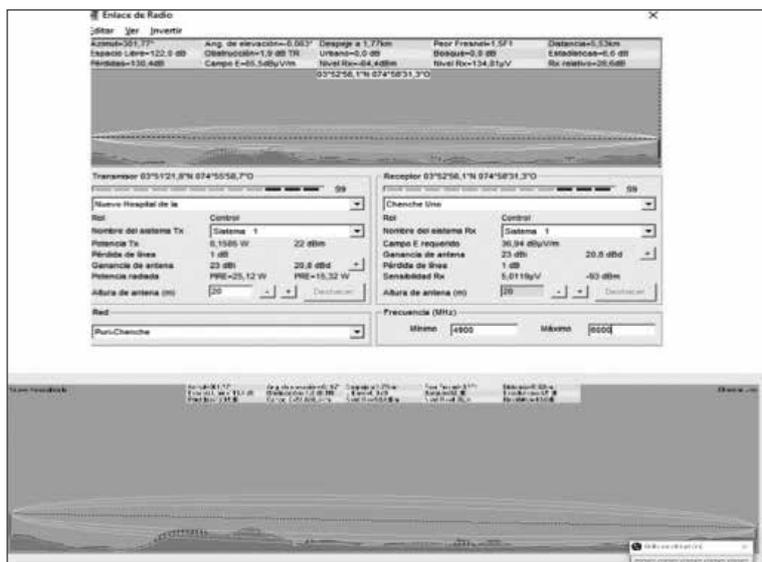


Figura 4. Perfiles de elevación y simulación
 Fuente: Radio Mobile (2018)

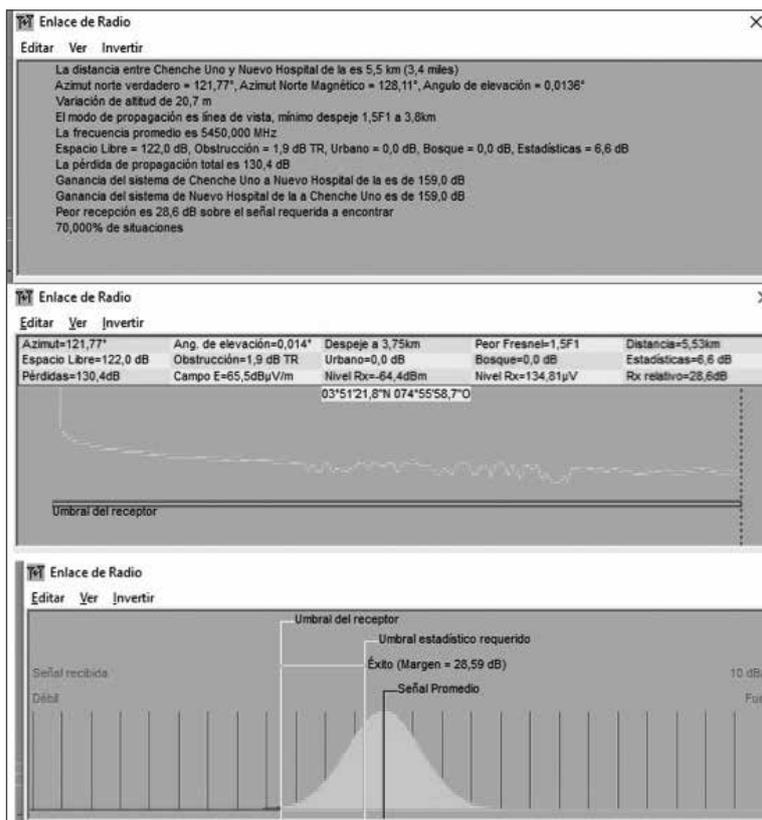


Figura 5. Resultados de simulación.
 Fuente: Radio Mobile (2018)

Conclusiones

Se evidencia la falta de recursos económicos y de conectividad para aportar al desarrollo de la telemedicina, por eso se propone un radioenlace viable, con una señal estable, parámetros de calidad altos, y con la garantía de una buena transmisión. Esto se demuestra con la concordancia en los cálculos y simulaciones. Los resultados y conclusiones se presentan con base en las diferentes fases del proyecto:

Fase 1: Exploratoria: El desarrollo de esta fase fue bastante positivo en lo que respecta a información, pues se pudieron recabar los datos requeridos para el avance del proyecto, gracias a las reuniones concertadas con los directivos del hospital y la alcaldía. Esto se debe al esfuerzo e interés mostrado por la Alcaldía de Purificación en el avance de la telemedicina como herramienta tecnológica para contribuir a la salud del ciudadano.

Pero en este punto también se debe resaltar que la Alcaldía de Purificación y la gerencia del hospital La Nueva Candelaria han abandonado los puestos de salud (como se muestra en la Figura 6), se tienen infraestructuras descuidadas y sin mantenimiento y se desaprovechan las estructuras existentes. Será necesario entonces que se realice una mayor inversión en la infraestructura si se quiere avanzar hacia el desarrollo de la telemedicina.

Fase 2: Diseño y simulación de radioenlaces: La conclusión más importante en esta fase es la viabilidad del radioenlace, la cual obedece a los siguientes criterios:

- Calidad del enlace. El enlace se garantiza gracias a los objetivos cumplidos de disponibilidad de equipos, atenuaciones y otros criterios de calidad. Además posee pérdidas por trayectoria

(122.079 dB) y márgenes de desvanecimiento (14.9689 dB) muy satisfactorios, los cuales permiten la transmisión efectiva de la señal entre los dos puntos.

- Perfil de elevación. Este perfil permite concluir que la topografía del terreno se presenta satisfactoria para la transmisión de la señal permitiendo despejar la primera zona de Fresnel.
- Cálculos matemáticos. Los valores arrojados por los cálculos matemáticos, además de estar dentro de los parámetros que garantizan la transmisión fiable de la señal, están acordes con los datos arrojados por el simulador, como es el caso de las pérdidas por trayectoria, que tanto en el simulador como por cálculos matemáticos se presentaron idénticas; esto avala la calidad de los cálculos y permite un enlace efectivo.

Como conclusión final se indica que gracias a la investigación de los requerimientos del proyecto, fue posible encontrar el equipo Radio Enlace InfiLINK XG 1000, producto de INFINET, que permite el trabajo en la banda de los 4.9 a 6 GHz y posee factores como ganancia, potencia de transmisión y sensibilidad de receptor que garantizan un enlace confiable y viable.

Trabajos futuros

Se hizo la caracterización de radioenlaces para interconectar el nuevo hospital de la Candelaria con sus puestos de salud en Purificación, para el desarrollo de la telemedicina. Teniendo en cuenta que la parte administrativa del hospital y la Alcaldía de Purificación han apoyado la iniciativa del proyecto relacionado con la telemedicina, se socializará el desarrollo de la propuesta adicionando la parte presupuestal, que se especifica en la Tabla 4.

Tabla 4. Coste estimado de instalación del sistema

DESCRIPCIÓN	UND.	V. UNITARIO SIN IVA	CANT.	TOTAL
Trámite de registro autorización uso Predios	Unidad	\$597.000	2	\$1.194.000
Levantamiento topográfico	Unidad	\$2.400.000	2	\$4.800.000
Informe técnico	Unidad	\$400.000	2	\$800.000
Estudio topográfico	Unidad	\$1.000.000	2	\$2.000.000
Estudio geometría superficial y enterrada de cimentaciones	Unidad	\$2.000.000	2	\$4.000.000
Instalación de mástiles o pedestales	Unidad	\$900.000	1	\$900.000
Instalación de vigas de apeo (armazón) de estructuras, soporte de antenas	Unidad	\$700.000	2	\$1.400.000
Instalación estructural del sistema	Unidad	\$3.400.000	2	\$6.800.000
Estudio de mecánica de suelo por penetración estándar	Unidad	\$3.000.000	2	\$6.000.000
Ingeniería de energía <15 m.	Unidad	\$1.400.000	1	\$1.400.000
Gestión y trámites anta empresas eléctricas y otras entidades	Unidad	\$1.400.000	2	\$2.800.000
Permiso municipal de construcción	Unidad	\$2.300.000	2	\$4.600.000
Factibilidad eléctrica	Unidad	\$550.000	2	\$1.100.000
Plano de ingeniería eléctrica	Unidad	\$700.000	2	\$1.400.000
Plano de ingeniería civil	Unidad	\$700.000	2	\$1.400.000
Equipo Antena Infilink XG 1000	Unidad	\$13.400.000	2	\$ 26.800.000
TOTAL				\$ 67.394.000

Fuente: Elaboración propia

Referencias

- Anguera, J. y Pérez, A. (2008). Teoría de antenas. Barcelona: La Salle Online.
- Blázquez, J., Ramírez, R., Morillo, J. y Prieto, M. (2011). Tecnología y desarrollo en los dispositivos móviles. En J. P. Blázquez (Ed.), Tecnología y desarrollo en los dispositivos móviles (pp. 10-11). Barcelona: FUOC.
- Buettrich, S. (10 de 2007). Unidad 06 Cálculo de radioenlaces. Recuperado de http://itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v02.pdf
- Butler, J., Pietrosemoli, E., Zennaro, M., Fonda, C., Okay, S., Aichele, C., et al. (2013). Redes inalámbricas en los países en desarrollo. Mérida: CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Channel, T. (20 de Noviembre de 2018). Popayán características atmosféricas. Recuperado de <https://weather.com/es-CO/tiempo/hoy/l/2.44,-76.61?par=google>
- Cortolima (2009). Agenda Ambiental del Municipio de Purificación. Ibagué: Corporación Autónoma Regional del Tolima. Recuperado de <https://www.cortolima.gov.co/sites/default/>

files/images/stories/centro_documentos/estudios/agendas/2009_Agenda_Ambiental_del_Municipio_de_Purificacion.pdf

Cruz, A., Corral, D. y Aguilar, D. (2012). Diseño de una solución integral de telecomunicaciones para los centros de salud pertenecientes al área #24 en el sector del valle. Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército.

Díaz, R. (2018). Open Course Ware. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiocomunicacion/contenidos/utilidades/RadioMobile/leeme>

EHAS (2007). 2005-2007: Red CYTED Proyecto de Telemedicina Rural para salud materno infantil en Colombia. Recuperado de <http://www.ahas.org/que-hacemos/proyectos-de-cooperacion/colombia/2005-2007-red-cyted-proyecto-de-telemedicina-rural-para-salud-materno-infantil-en-colombia/>

ehCos (julio de 2017). Telemedicina: una pieza clave en el futuro de la salud. Recuperado de <https://www.ehcos.com/telemedicina-pieza-clave-en-el-futuro-de-la-salud/>

MinisteriodelasTecnologíasylasTelecomunicaciones de Colombia (Mintic) (2018). Recuperado de <https://www.mintic.gov.co/>

Monachesi, E., Frenzel, A., Chaile, G., Carrasco, A., y Gómez, F. (2011). Conceptos generales de antenas. Tucumán: edUTecne.

Orellana, A. y Fátima, V. (septiembre de 2009). Diseño e implementación del radioenlace digital fraccional entre la repetidora del Atacazo y la válvula de bloqueo No10 del Sote, ubicada en Viche. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1853>

Orellana, V. (septiembre de 2009). Biblioteca digital EPN. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1853>

Poliszuk, A. y Salazar, A. (2006). Aplicaciones de telecomunicaciones en salud en la subregión andina. En M. A. García, y G. Rodríguez Rodríguez (Edits.), Aplicaciones de telecomunicaciones en salud en la subregión andina (pp. 28-31). Bogotá: Kroma Industria Gráfica Ltda.

Rábanos, J. (2003). Transmisión por radio. En U. P. Madrid (Ed.), Transmisión por radio (pp. 9-12). Madrid: Centro de estudio Ramón Areces S.A.

Rodríguez, M. (2003). Diseño de un sistema de telecomunicaciones para el Banco de Loja entre la casa matriz en Loja y su agencia en Cariamanga. (Tesis). Escuela Politécnica Nacional, Quito.

Rosas, J. y Hernández, J. (2016). Cálculo de Radio Enlace Terrestre. Guadalajara: reasearh gate.

Saigí-Rubió, F. (2017). Nuevas soluciones para promocionar la salud móvil en América. Revista Asociación Iberoamericana de Telesalud y Telemedicina, (4), 6-12.

Salazar, J. (2014). Redes inalámbricas (Prueba ed.). Praga: Techpedia.

Tomasi, W. (2003). Sistemas de comunicaciones electrónicas. México D.F.: Pearson Educación.

TWC, C. (11 de Noviembre de 2018). Purificación, Colombia. Recuperado de [weather.com: https://weather.com/es-CO/tiempo/hoy/l/3.86,-74.93?par=google](https://weather.com/es-CO/tiempo/hoy/l/3.86,-74.93?par=google)

Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) (1999). Recomendación UIT-R P.838-1. Ginebra: UIT.