



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL**

Educadora de educadores

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA RURAL

William Alejandro Moncada Cifuentes

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA & TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA

BOGOTÁ D.C

2021

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA RURAL

Trabajo de grado para optar por el título de

Licenciado en electrónica

Autor:

William Alejandro Moncada Cifuentes

Director:

Luis Guillermo Gómez

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA & TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA

BOGOTÁ D.C

2021

Nota del Autor

Este proyecto busca como un objetivo paralelo externo en el marco de una investigación que recolecta datos técnicos, poner en evidencia la difícil situación de acceso a nuevos servicios de telecomunicaciones que presentan las comunidades rurales y urbanas, dado que no son un mercado atractivo para los grandes prestadores del servicio de internet fijo cuentan con condiciones especiales que dificultan la universalidad del servicio de internet.

Objetivo General

Realizar un estudio de factibilidad técnico, legal y financiero para el montaje de una red inalámbrica en el sector rural de municipio de Puente Nacional, Santander.

Objetivos Específicos

Implementar la instalación de la infraestructura para un piloto de comunicación inalámbrica en el municipio de Puente Nacional.

Evaluar la rentabilidad económica del proyecto a partir de cuantificar los costos derivados de la instalación y los retornos teóricos de un retorno de inversión.

Establecer las condiciones técnicas que darían viabilidad al proyecto, sin que estas violen la legislación vigente.

Estudio de Factibilidad para la construcción de una red inalámbrica rural

Resumen

A continuación, será presentado el estudio de factibilidad para la construcción de una red inalámbrica rural con piloto en el municipio de Puente Nacional, Santander veredas Rincón y Cuchilla. El estudio busca establecer a partir del montaje de una red piloto que hace uso de equipos de radioenlace,

condiciones técnico, operativas, legales que darían o impedirían la factibilidad de proyecto. Se realiza recolección de datos técnicos y comparación su comparación con modelos de propagación para determinar la pertinencia de estos modelos en la ubicación del proyecto. Así mismo se capturan datos censales de los pobladores con el fin de realizar un análisis cuantitativo y cualitativo de los posibles usuarios potenciales de una implementación de la red rural a nivel empresarial.

Abstract

The following is a feasibility study for the construction of a pilot rural wireless network in the municipality of Puente Nacional, Santander, Rincón and Cuchilla. The study seeks to establish from the assembly of a pilot network using radio-link equipment, technical, operational and legal conditions that would give or impede the feasibility of the project. Technical data is collected and compared with propagation models to determine the relevance of these models in the location of the project. In addition, census data is collected from the population in order to perform a quantitative and qualitative analysis of the possible potential users of a rural network implementation at the enterprise level.

Introducción

Mediante el ejercicio de un estudio técnico de factibilidad para la implementación de una red de datos en una zona rural del municipio de Puente Nacional (Santander) se pretende hacer un análisis comparativo de los modelos de propagación Okumura-Hata y AirLink, este último proporcionado por la empresa Ubiquiti y datos obtenidos en terreno mediante la implementación de una red inalámbrica.

Por medio de este estudio que, si bien tiene proyecciones comerciales, se busca desarrollar un ejercicio de las competencias académicas en el área de comunicaciones adquiridas en los últimos semestres de la carrera. A continuación, se considerará la factibilidad en términos técnicos, legales y

financieros, para la implementación de una red de datos en la banda de 2.4 GHz en ambientes rurales con baja interferencia a una baja velocidad de transferencia (3 Mbps por usuario).

El modelo usado parte del método de propagación Okumura-Hata (Hata, 1980), (Okumura, 1968) para el cálculo de la zona cobertura entre la base a estaciones, las cuales no requieren de una alta capacidad (ancho de banda) pero sí de desarrollar conexión a grandes distancias (del orden de kilómetros), en adición al modelo base se incluye el uso de un simuladores de propagación y tráfico que permite aproximarse a las condiciones de montaje reales que se obtendrán con los equipos comerciales usados. Sin embargo, los modelos no diferencian de manera directa las condiciones climáticas o cuerpos de agua. Estos obstáculos son resueltos a partir de la estimación de la altura de las antenas considerando que una baja altura presenta una mayor riesgo de ser obstruido, sin embargo, una antena muy alta tenderá a presentar mayor atenuación por presencia de niebla, precipitaciones, vientos entre otros elementos ambientales que afectan la conexión (Freeman, 2006).

A pesar de que los objetivos del proyecto buscan analizar la factibilidad con base a los aspectos técnicos, legales y económicos el proyecto se busca en un marco macro obtener un modelo de negocio que genere rentabilidad económica en tanto que permita generar la venta en distintos tipos de servicios (transmisión de vídeo para videovigilancia, internet, voz) a través del uso de la red inalámbrica propuesta. Ahora bien inicialmente este documento se centra netamente en encontrar las variables técnico-operativas que permitan dar viabilidad al proyecto mediante una conexión por medio del uso espectro radioeléctrico, a partir de este punto que no se viole ninguna norma vigente en el país (legal) y establecer si la red puede llegar a ser rentable en tanto que los beneficios superen a los costos en un margen de tiempo determinado, lo anterior a partir del uso las habilidades adquiridas en el área de telecomunicaciones de los últimos semestres de la carrera.

Definiciones

Radio Enlace: Conexión realizada a través del uso del espectro electromagnético en capa baja de la atmósfera terrestre, permite transmitir datos y distintos servicios en función de la capacidad del canal. Un enlace requiere como mínimo un emisor y un receptor para considerarse enlace. Estos deben estar bajo un mismo estándar para que la conexión sea técnicamente viable.(Ghasemi et al., 2013).

Enlace Punto a Punto (PaP): Es una topología de la red que describe la interconexión entre 2 antenas donde se encuentra una única base, y un único cliente. Los recursos son dedicados únicamente a esta conexión, lo que reduce la demanda de recursos requeridos(Ghasemi et al., 2013).

Enlace Multipunto: Es una conexión en la que se encuentra una estación base que emite la señal de radio y permite un rango de cobertura que varía en función de la estructura misma de la antena generalmente se usan antenas parabólicas, pero puede ser omnidireccional, direccional, etc. Esta estación base se conecta con múltiples dispositivos clientes. En este caso los recursos son compartidos y se requiere de equipos de una potencia computacional adicional por gestionar cada dispositivo adicional (Ghasemi et al., 2013).

Factibilidad: Condición que determina la posibilidad de realizar una o varias tareas en el marco de un proyecto. En este caso puntual se centra en las condiciones técnicas tales como conexión, asimismo la operación en forma estable y la rentabilidad económica del proyecto (beneficio).

Pérdidas: Medida de la diferencia entre la potencia transmitida en la estación emisora (base) y la potencia recibida en la estación conectada. Las pérdidas hacen referencia a la suma todos los factores como: cableado, conectores, obstáculos, distancia, precipitaciones entre otros que impliquen que la potencia que emitimos no logre llegar a su destino (Freeman, 2006).

Ancho de Banda: BitRate (tasa de bits) disponible para realizar tanto transmisión como recepción de datos. En este caso, se usa una medida para transmisión Tx de la palabra en inglés

“Transmission”, y recepción Rx derivado de inglés *“Reception”*. Estos datos cuentan con la unidad de Mbps (Megabits por segundo) o Kbps (Kilobits por segundo).

Internet dedicado: Ancho de banda comprado a un mayorista en el cual se garantiza que en la porción (MB) es de uso exclusivo del usuario, este servicio no es compartido de ninguna manera y debe garantizar una alta disponibilidad, aunque las condiciones varían según el prestador del servicio. Generalmente es simétrico (misma cantidad de Mb en Rx/Tx) y los costos son mucho más elevados que los servicios tradicionales (domésticos). El internet dedicado está enfocado a un mercado empresarial.

Reúso: Se refiere a la capacidad de servicio vendido a un grupo de usuarios, que anteriormente ha sido vendida. Este permite vender varias veces el mismo servicio, generando una mayor rentabilidad para el prestador del servicio dado que esta porción vendida del ancho de banda se pagará varias veces sin costos adicionales. Pero deriva inconvenientes en las redes sobre todo en horas de alto tráfico dado que la disponibilidad del servicio se reparte entre los usuarios que comparten la porción de red asignada. (Chuck & Chang, 2010).

Balance de cargas: Es un proceso conjunto entre software y hardware que hace uso de algoritmos de administración de la red para distribuir el tráfico saliente a través de múltiples conexiones entrantes, permitiendo al proveedor del servicio contratar más de un servicio dedicado que trabajaran en paralelo dividir la administración de paquetes entrantes y salientes (Mikrotik, 2012).

ISP: Internet Service Provider o proveedor de servicios de internet. Es la pequeña empresa o gran empresa que se encarga en “última milla” de proveer el servicio de internet a usuarios finales (Trevisan et al., 2020).

Contextualización

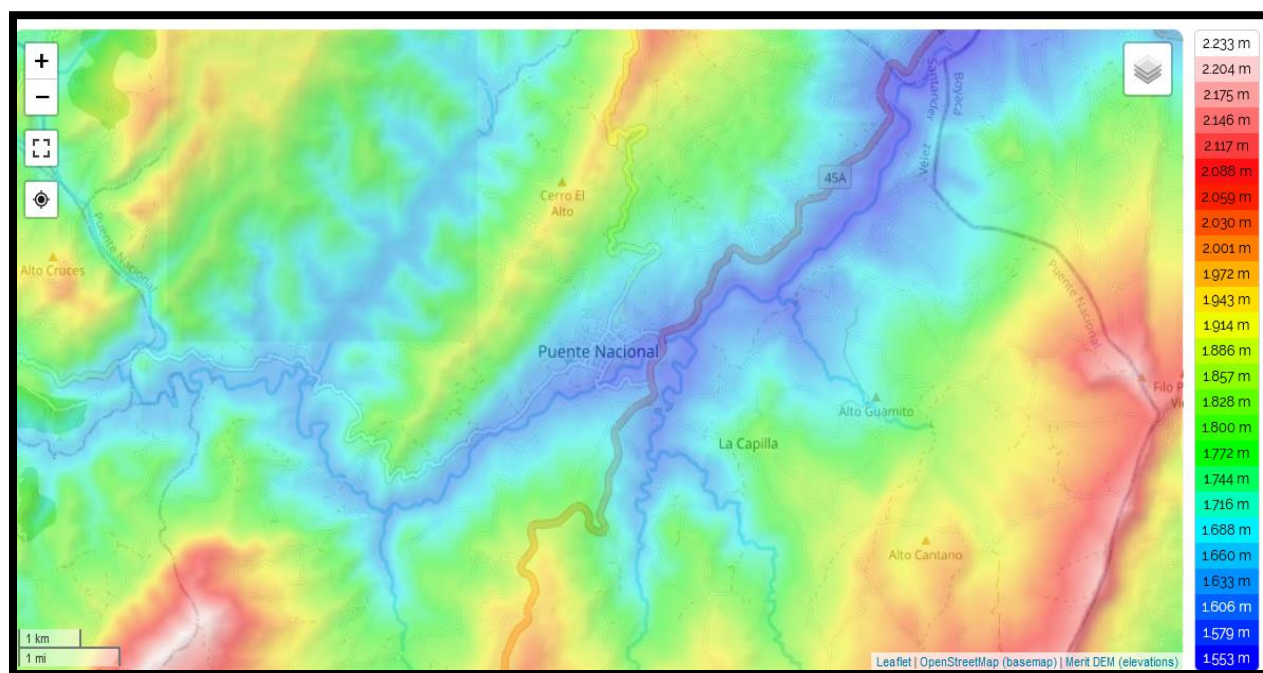
Puente Nacional, Clima, demografía

El municipio de Puente Nacional, Santander se encuentra ubicado al sur del departamento de Santander en los límites con el departamento de Boyacá. Cuenta con un clima templado con temperatura promedio de 18° Celsius. Es una zona poblada con un área de 248 km cuadrados y una población de aproximadamente 14000 habitantes. El trabajo limita su área a las veredas La Cuchilla y Rincón de la municipalidad. La zona presenta abundante vegetación debido a que la mayor parte de la población es de tipo rural, con una topografía de valles.¹ Como se aprecia en la figura 1, la zona abarca las veredas de La Cuchilla y Rincón. A continuación, se presenta mapa topográfico que presenta en escala de colores la altimetría del terreno.

Figura 1

¹ Los fenómenos relacionados con el clima son mencionados como factor-K (K-Factor Guide) y se agrupan en una tabla que agrupa las condiciones ambientales vs la escala de estas que van desde perfecto hasta malo, donde las peores condiciones son niebla sobre el agua. En este caso se presentan condiciones calificadas como difíciles-promedio según la tabla de referencia dado que es una zona montañosa, con presencia de neblina a determinadas horas del día, presenta cuerpos de agua estos son parte de una zona de reserva forestal (quebradas y riachuelos) (Freeman & Wiley, 1999) los autores consideran este tipo de terrenos de difícil tratamiento debido a los fenómenos de multi-trayectoria, reflexión & refracción de la señal que generan una atenuación de la señal en comparación con el modelo de espacio libre. (Freeman, 2006)

Mapa topográfico: Puente Nacional, Santander, Colombia (5.87706 -73.67914), (Mapa Topográfico Puente Nacional, Altitud, Relieve, n.d.)



Tomado de: [Mapa topográfico Puente Nacional, altitud, relieve \(topographic-map.com\)](https://topographic-map.com)

Nota: La zona central sobre la marca Puente Nacional desde el cerro el alto corresponde a las veredas mencionadas en el anterior párrafo.

Modelo Okumura-Hata

Debido a la necesidad de comparación con un modelo matemático que permita dar una aproximación de los requisitos de la red tanto a niveles de potencia requerida basándose en las pérdidas calculadas. El dispositivo podrá modificar altura, y frecuencias para tener una óptima conexión, se opta por el modelo Okumura-Hata porque determina en función de las distancias de enlace, alturas y la frecuencia trabajada, las potencias mínimas (en torno a las pérdidas) requeridas para que la conexión sea viable.

El modelo expresa pérdidas (dB) a partir de los parámetros de distancia (separación), altura emisor, altura receptor y frecuencia (según corresponda) para este caso se hará un análisis de comparación de las pérdidas, a partir de los datos del modelo, se compara con los datos de campo y simulaciones. Este método no es exclusivo de modelos de radioenlace, de hecho para usar el modelo con los equipos de radioenlace se hace uso de una extensión de la versión original que está diseñado para transmisiones de televisión, telefonía y otros que hacen uso del espectro radioeléctrico como medio a frecuencias inferiores a la usadas en este caso (Pinto Mangones et al., 2016).

$$L_b = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d_m \quad (1)$$

El modelo Okumura-Hata contempla tres (3) escenarios de aplicación según las siguientes condiciones la transmisión puede darse en: áreas urbanas ecuación (1), ciudades grandes ecuación (2), áreas suburbanas y áreas rurales ecuación (3). En el caso puntual de modelo utilizado nos centraremos en las 2 últimas ya que, son las aproximaciones más cercanas a los datos del medio donde se realiza este trabajo.

$$L_b = L_b(\text{urbano}) - 2 \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5.4 \quad (2)$$

$$L_b = L_b(\text{urbano}) - 4.78 \log(f)^2 + 18.33 \log f - 40.94 \quad (3)$$

En este caso debido a que el modelo no tiene en cuenta las diferentes alturas del terreno se espera que la aproximación del modelo no sea la más idónea, en futuras secciones se realizará la comparación de los datos obtenidos en campo frente a los datos teóricos teniendo en cuenta las condiciones del enlace.

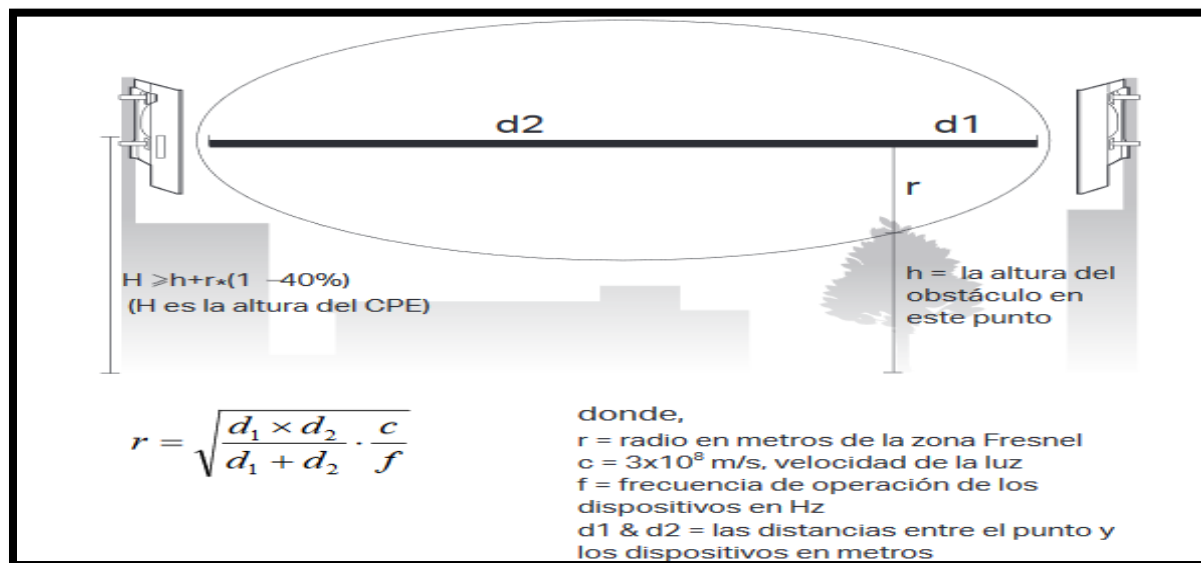
Zona de Fresnel

Se trata de un modelo matemático que permite determinar la zona requerida despejada (alturas) para la instalación de enlaces de radio. Permitiendo establecer la línea de vista óptima para que las conexiones obtengan la mayor probabilidad de éxito, las zonas de Fresnel generan un valor en función de la separación y la altura de los obstáculos, el despeje que realiza comunicación cuenta con forma de balón de fútbol americano o elipsoide, las zonas de Fresnel proponen un espacio libre de perturbaciones que requerido para garantizar mínimos de calidad.

El espacio debe estar libre de perturbaciones sean de origen natural (árboles, vegetación, topografía del terreno) como artificial (edificaciones, antenas, vehículos) en la práctica se torna complicado conseguir las condiciones ideales sin el uso de estructuras adicionales que generan un aumento considerable los costos de instalación, pero se busca llegar a un despeje muy similar al recomendado aún sin el uso de estructuras de apoyo de gran altura para evitar inconvenientes en la transmisión de datos. Es de destacar la cantidad de fabricantes de equipos de radioenlace que incluyen en sus manuales de instalación este dato. A continuación, se presenta el despeje sugerido por el fabricante TP-Link para los CPE-510/210.

Figura 2

Despeje de Fresnel Recomendado por el fabricante,



Tomado del manual de usuario TP-Link CPE-210 <https://www.tp-link.com/co/>

Equipo de Radioenlace

Para el caso de este proyecto, con el ánimo de usar equipos de tipo comercial de fácil adquisición, con la posibilidad de usarse sobre ambientes con bajo ruido a nivel electromagnético pero que a su vez permitieran trabajar largas distancias con posibles obstáculos se opta por hacer uso de los modelos **CPE-210** de TP-LINK estos equipos trabajan a una frecuencia de **2.4GHz**, CPE proviene del inglés *Costumer Premises Equipment* o equipo local del cliente, estos son una solución integrada que cuenta con todo equipamiento necesario para crear la red inalámbrica tanto a nivel de hardware como de software, no cuentan con la posibilidad modularidad por lo que no se pueden hacer mejoras al equipo en cuanto a ganancia de antenas o formas de emisión de la señal, pero eliminan la necesidad de antenas externas, en adición a las ventajas cuentan con un software especializado, herramientas implementadas desde el sistema operativo especialmente útiles para el proyecto: analizador espectro, alineación de antena, medidor de velocidad entre otras facilitan el uso de los equipos en condiciones reales y reducen el uso de herramientas de medición adicionales.

El CPE-210 hace uso de frecuencias del espectro radioeléctrico disponibles para uso libre de la banda de 2.4Ghz, por tanto, no es necesario adquirir especiales licencias para usar estos equipos con la Agencia Nacional del Espectro (ANE) (Muñoz et al., 2015), con una frecuencia de modulación variable de 20/40Mhz y una velocidad teórica máxima de 300Mbps (entre antenas), adicionalmente los equipos permiten emitir una potencia máxima de **27dBm (500 mW)** usando la antena en la región Test_Mode (la máxima potencia varía según la región, la región de pruebas permite el uso del equipo sin tener en cuenta las limitaciones regulatorias del país). Además, cuenta con una ganancia isotrópica en la antena de **9dBi** en el caso del equipo en Colombia las limitaciones de potencia son mayores (en comparación a Test_Mode), debido a que la norma que rige este tipo de transmisiones permite una máxima potencia de transmisión inferior. Esta limitación será explorada más a detalle en el apartado Factibilidad: Técnico-legal.

Los equipos inicialmente son usados en configuración de tipo Punto a Punto (PaP), para lo que se requiere una antena emisora y una única receptora esto permite concentrar todos los recursos de la transmisión y recepción en un único enlace por lo que se disminuye el coste computacional de la red, es decir el *router* que gestiona los equipos (ambos) que se conectan a la antena en la base con una de tipo conexión directa, no requiere un hardware especialmente potente en cuanto a procesamiento.

Las especificaciones técnicas del equipo son las siguientes:

Tabla 1

Características De Hardware.

Procesador	CPU Qualcomm Atheros 560MHz, MIPS 74Kc
Memoria	RAM DDR2 64MB, Flash 8MB
Interfaz	

	1 puerto Ethernet blindado 10/100Mbps (LAN0, PoE Pasivo de Entrada)
	1 Terminal de toma de tierra
	1 botón de reinicio
Fuente de Alimentación	Adaptador PoE Pasivo vía LAN0 (+4,5pins; -7,8pins)
	Rango de Voltaje: 16-27VDC
	Máximo de 5 Watios
Consumo de Potencia	Nota: Cuando está configurado usando el adaptador de POE pasivo, la energía obtenida de la fuente de alimentación variará dependiendo de la longitud del cable de conexión.
Dimensiones	224 x 79 x 60 mm
	Antena Direccional Doblemente Polarizada MIMO 2x2 de
Tipo de Antena	9dBi
	Ancho de Haz: 65° (Plano-H) / 40° (Plano-E)
	Nota: Para más detalles, por favor consulte la hoja de datos
Protección	Protección ESD de 15KV
	Protección contra rayos de 6000V
Carcasa	Material plástico estabilizado ASA para exterior
	Certificado contra agua IPX5

Nota: Las soluciones a nivel de Hardware integradas reducen significativamente el uso de antenas, pararrayos y alimentación externa. Tomado de la página del fabricante, [TP Link CPE210 specifications](#).

En cuanto a características de las antenas integradas dentro de equipo se cuenta con:

Tabla 2

Frecuencias de Operación

Estándares Inalámbricos	IEEE 802.11b/g/n (with Pharos MAXtream disabled)
Protocolo Propietario	TDMA Mode (with Pharos MAXtream enabled)
	Hasta 300Mbps (40MHz, Dinámico)
Velocidad Inalámbrica	Hasta 144.4Mbps (20MHz, Dinámico)
	Hasta 72.2Mbps (10MHz, Dinámico)
	Hasta 36.1Mbps (5MHz, Dinámico)
	2.4~2.483GHz
Frecuencia	Nota: Las frecuencias operativas disponibles pueden variar dependiendo de las limitaciones de los países o regiones donde se use este dispositivo.
	25dBm/316mw (potencia ajustable hasta 1dBm)
Potencia de Transmisión	Nota: La potencia máxima de transmisión puede variar en los diferentes canales dependiendo de las limitaciones de los países o regiones donde se use el dispositivo. Nota: En Test_Mode se puede emitir hasta una potencia 27dBm.

Nota: Obsérvese que la potencia máxima trabajada es superior a la que indica el fabricante en la hoja de datos. Tomado de la página del fabricante, [TP Link CPE210 specifications](#).

En este caso, TP-Link fabricante del equipo CPE-210 cuenta con MaXtream que es una tecnología que usa la técnica TDMA (Nelson & Kleinrock, 1985) en español Acceso Múltiple por División

de Tiempo (Time Division Multiple Access) y la adapta una implementación de tipo propietaria, esta permite reducir las altas latencias cuando se requiere acceso a múltiples equipos (Punto a Multipunto), teóricamente los equipos dan prioridad paquetes determinados en la red que requieran un tipo de servicio demandante y de mayor criticidad, el protocolo no es configurable y la priorización de los paquetes se da en relación a los paquetes que el fabricante considera más importantes, al activar Maxtream se obtiene una mejor respuesta en campo cuando se conectan múltiples equipos y permite activar algunas características solo si está activada la tecnología como el control automático de frecuencia, la gran limitante de estas implementaciones propietarias es el estar supeditadas a que todos los equipos deben ser compatibles con la tecnología. Esto nos impide usar los equipos de otros fabricantes (en el momento de elaboración de este documento MaXtream solo es compatible con TP-Link) que en teoría serían compatibles dado que sus características a nivel físico son muy similares (en cuanto frecuencias de operación, controladores y antenas. La implementación a nivel de software es la diferencia más tajante) como los Loco M.2 de Ubiquiti o referencias similares de otros fabricantes.

La alimentación se realiza haciendo uso del estándar PoE Power On Ethernet, permite usar el cable de red para suministrar los valores de alimentación nominales para el funcionamiento del equipo a través del mismo cable que transmite la señal de internet (Mendelson, 2004), esto permite ahorrar tiempo y accesorios en el proceso de instalación porque con un solo cable podemos entregar energía y datos al equipo, adicionalmente, nos permite una longitud del cable Ethernet máxima de 60 metros (condicionada a la calidad del conductor) ideal para instalación en antenas o puntos elevados.

En cuanto a las especificaciones de consumo energético el equipo requiere para su funcionamiento cumplir con algunos requisitos para que la operación sea idea. A continuación, se presenta los datos derivados del adaptador PoE que contiene el kit de instalación entregado al comprar el equipo CPE-210.

Tabla 3*Características Adaptador POE*

Entrada	100-240VAC, 50/60Hz
	24VDC, 0,6A Max
Salida	+4, 5pins; -7, 8pins. (Soporta hasta 60 metros de potencia sobre Ethernet)
Eficiencia	>80%
Certificaciones	CE/FCC/UL/IC/GS/PSB/C-tick/SAA/S-Mark/KC-mark

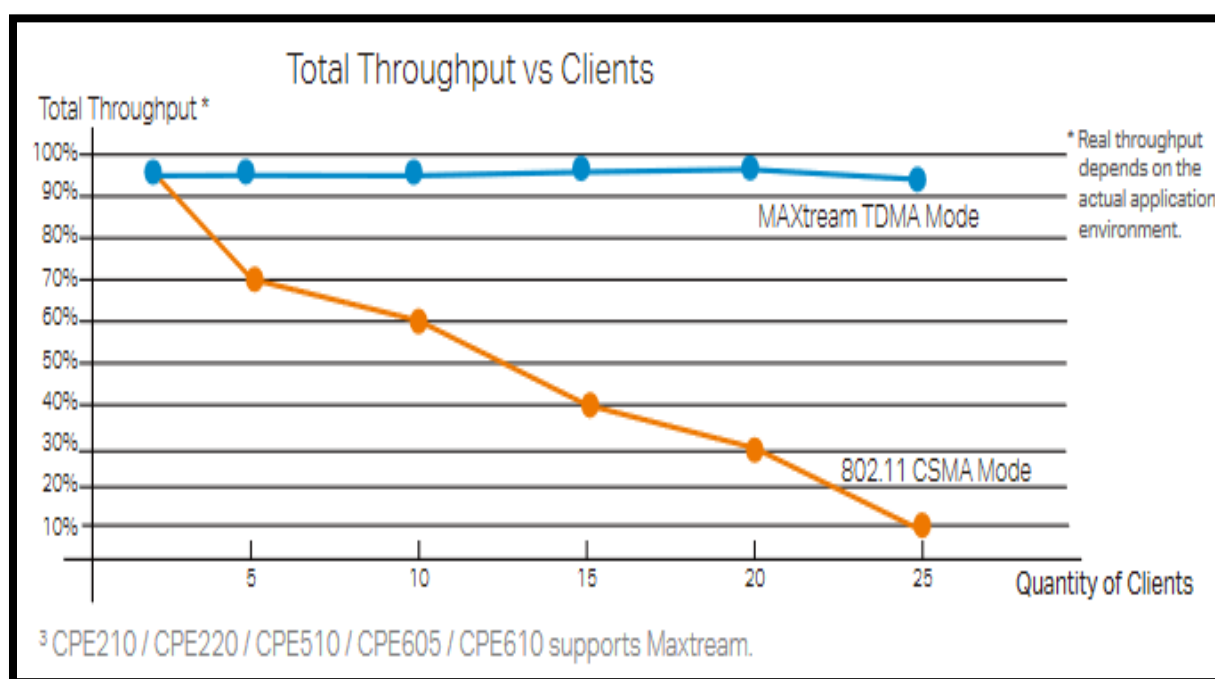
Nota: Tomado de la página del fabricante, [TP Link CPE210 specifications](#).

En caso de requerir equipos de más de un fabricante se recomienda usar el protocolo IEEE 802.11b/g/n (Ortiz, 2010) ya que es un estándar internacional que adoptan la mayoría de los equipos comerciales de radioenlace y que permite la compatibilidad universal indiferentemente del dispositivo conectado. En el caso de este proyecto el estándar propietario representa una ventaja de rendimiento que no es notable en la configuración Punto a Punto más allá de las características adicionales que solo pueden activarse cuando está activado MaXtream, como cambio automático del canal, (Quality of Service) QoS (Aurrecoechea et al., 1998), control automático de potencia. En efecto en este proyecto se usó la tecnología MaXtream siempre que se use una conexión multipunto y solo se estuviesen en uso equipos CPE-210, al usar otros equipos se desactivó el protocolo propietario.

La mayor ventaja real de la tecnología MaXtream frente al estándar 802.11b/g/n es la reducción de latencias (tiempos de respuesta) cuando se encuentran múltiples dispositivos conectados a la antena emisora. A continuación, la figura presenta un comparativo del rendimiento del equipo en modo multipunto, al usar el estándar IEEE 802.11B/G/N vs MAXtream.

Figura 3

Características Técnicas del Enlace 802.11 Mode Vs Maxtream Mode,



Nota: Obsérvese que en cuanto a rendimiento no hay diferencia cuando hay solo 1 cliente, por tanto, no existe una ventaja de uso en conexión Punto a Punto más allá de las características que solo se pueden activar con MAXtream. *extraído de la página del fabricante [Datasheet CPE210](#).*

Debido a que los equipos que van a estar instalados en exteriores deben cumplir con las certificaciones IP (Bloch, 2009) que garantizar impermeabilidad y protección contra partículas, en este caso la ofrecida por el fabricante es la IPX5, esto indica que tiene resguardo completo contra el polvo y

blindaje contra chorros muy potentes de agua esto garantiza que el montaje a la intemperie es viable sin contratiempos para su funcionamiento.

Esto se complementa con la protección contra descargas eléctricas (rayos) que permite tener una cierta seguridad que el equipo resistirá en el exterior, aunque solo se garantiza cuando todos los elementos de la instalación cumplen con los requisitos según indica en el manual del fabricante (cables, conectores según se especifica en el manual del usuario), esta protege frente a una única descarga eléctrica, dado que el mecanismo usado es fusible que no se permite ser reemplazado. A continuación, se presenta la información detallada otorgada por el fabricante.

Tabla 4

Características de Hardware (protección)

Protección	Protección ESD de 15KV
	Protección contra rayos de 6000V
Carcasa	Material plástico estabilizado ASA para exterior
	Certificado contra agua IPX5

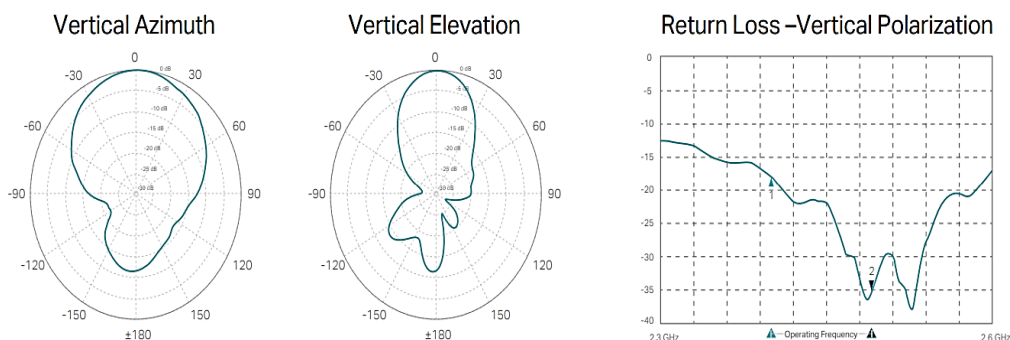
Nota: Tomado de la página del fabricante, [TP Link CPE210 specifications](#).

Este equipo cuenta con un patrón de radiación con una apertura de 45° en polarización horizontal, sin embargo, también genera un patrón más en la polarización vertical. Generando una cobertura amplia que no se centra en un punto, simplificando el concepto y con la finalidad de ilustrar, el patrón de radiación se asimila a luz de un reflector. Al emitir en una dirección podemos ver luces, las zonas de sombra de nuestro dispositivo, el límite del alcance de nuestro patrón (cuando no hay

obstáculos), este patrón puede observarse en las simulaciones realizadas. En las siguientes gráficas figuras 4 y 5 se presentan los patrones de radiación que el fabricante establece para sus dispositivos.

Figura 4

Patrón de radiación vertical CPE-210

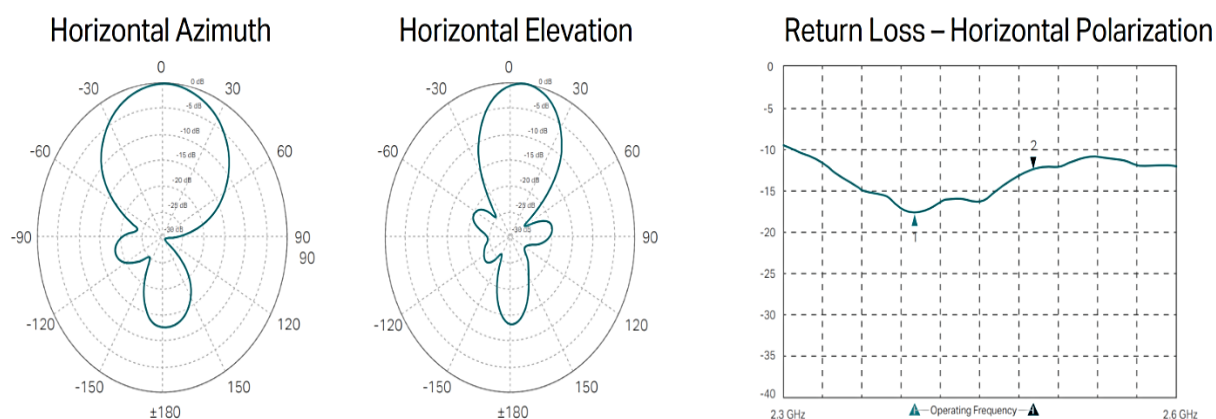


Nota: Obsérvese que en a menor frecuencia de operación mayor es el retorno en esta polarización.

Tomado de la página de TP-Link [Datasheet CPE210](#)

Figura 5

Diagrama de pérdidas Horizontal



Nota: Nótese que, a diferencia de la polarización vertical, el retorno es mayor el tope de la frecuencia de operación. Tomado de la página de TP-Link [Datasheet CPE210](#)

La información de las anteriores figuras 4 y 5, donde se muestra los patrones de retorno y pérdidas en las distintas polarizaciones permite conocer de antemano el comportamiento en el cual fabricante diseñó su dispositivo y a partir de allí hacer establecer los puntos ideales de operación del dispositivo. A diferencia de otras hojas de datos, esta permite estimar el comportamiento real del equipo y no solo en condiciones de laboratorio. Los equipos desde la interfaz del usuario muestran la potencia recibida de dos maneras: separada **horizontal/vertical** o como una potencia conjunta, en el uso se recomienda que la potencia por separado cuente con valores más cercanos posibles, el ideal es obtener las dos mediciones iguales, pero dada diferencia del diagrama de pérdida en cada polarización probablemente no podrá lograrse en la realidad.

Si el valor de señal conjunta es 67dBm, es posible que la lectura de potencia recibida en horizontal sea de 65dBm y 70dBm (dato obtenido de visualización en el equipo, este obedece a una estimación realizada por la antena), el desequilibrio de la potencias vertical y horizontal genera deficiencias en la recepción de datos dada que la calidad de señal la recibida. Cuanto mayor sea la diferencia entre la potencia Vertical/Horizontal, menor calidad tendrá el enlace pese a contar con un alto valor en la señal de potencia conjunta recibida. Como observamos en las figuras 4 y 5 para el patrón horizontal tenemos que a bajas frecuencias se encuentran mayores pérdidas a la inversa del vertical, es importante la información de las ilustraciones 4 y 5 y las pérdidas respecto al patrón horizontal y vertical son equilibradas en límite inferior de operación el equipo.

Aplicación Para Recolección De Datos.

Para el estudio de potenciales usuarios del servicio, se diseñó y desarrolló la aplicación presentada a continuación con el gestor *Memento Database* (*Memento Database*, n.d.). Este gestor permite hacer uso de bases de datos no relacionales para administrar la información y mediante la modificación de plantillas con elementos gráficos el desarrollo de aplicaciones permitiendo crear aplicaciones sin usar código, pero a diferencia de otros aplicativos similares esta si permite la

programación haciendo uso del lenguaje JavaScript para ampliar las funcionalidades. En la siguiente ilustración se muestra cada uno de los apartados presentes en la interfaz de usuario de la app desarrollada dentro de Memento Database.

Figura 6

The figure displays two screenshots of the Memento Database app interface, showing different sections of the user form.

Left Screenshot (Factibilidad):

- Navigation Bar:** MAIN, DATOS DE ENTREVISTADO, DATOS DE LA VIVIENDA.
- Section Header:** 7 (with up/down arrows).
- Text Area:** Factibilidad. Dando cumplimiento a lo dispuesto en la Ley 1581 de 2012, "Por el cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales" y de conformidad con lo señalado en el Decreto 1377 de 2013, con la firma de este documento manifiesto que he sido informado por William Alejandro Moncada Cifuentes estudiante de la Universidad Pedagógica Nacional de lo siguiente: Los datos suministrados harán parte del Estudio de factibilidad para verificar servicios en áreas rurales en el departamento de Santander, con el fin de hacer uso este estudio tienen como finalidad en las disposiciones que estime el realizador del estudio, y no serán compartidos con entes externos a la Universidad Pedagógica Nacional.
- Form:** Autoriza el tratamiento de datos.
 - ☐ Si
 - ☐ No

Right Screenshot (Datos de la Vivienda):

- Navigation Bar:** MAIN, DATOS DE ENTREVISTADO, DATOS DE LA VIVIENDA, DATOS DE LA SOCIEDAD.
- Date/Time:** June 9, 2021 7:58 AM.
- Fields:**
 - Edad (with up/down arrows)
 - Nombre
 - Número de Contacto (with phone icon)
 - Correo Electrónico (with email icon)
 - Ubicación (with location pin icon and LOCATION label)
 - Firma (with signature icon and SIGNATURE label)
 - Contacto (with person icon and CONTACT label)
- Form:**
 - Dirección
 - ¿Que tipo de conexión usa habitualmente?
 - ☐ Cableado
 - ☐ Movil
 - ☐ Café Internet
 - ☐ Antenas
 - ☐ Fibra Óptica
 - ☐ Otro
 - Uso del internet (dropdown menu)
 - Menores de edad
 - ¿Cuántos menores de edad viven en su casa? (with list icon)
 - Mayores de Edad
 - ¿Cuántos mayores de edad viven en su casa? (with list icon)

Nota: La aplicación contiene 5 pestañas que se desplazan de cada hoja se desplaza arriba abajo y cada apartado de izquierda a derecha. Algunos elementos como el contacto o la firma despliegan nuevas ventanas.

El flujo de la aplicación se enfoca en la recolección de datos en terreno. La persona que realiza la captura de la información (encuestador) debe posicionarse en la vivienda en la cual se realizará la encuesta, luego procede a informar de la finalidad de los datos, con el consentimiento informado del ocupante del predio aceptado, quien debe ser una persona mayor de edad, se inicia con el proceso de capturar los datos que suministre el ocupante.

La georreferenciación funciona con disparador automático que se activa al crear un nuevo registro de manera que captura inmediatamente la locación del posible usuario, estos datos permiten ubicar espacialmente mediante coordenadas al usuario. Ahora bien, los demás datos que se obtienen de manera manual por el encuestador a partir de la información que suministra el ocupante predio. Los

datos recolectados son: la ocupación de la persona cabeza de familia, las actividades de los miembros del hogar este dato con el fin de determinar el uso que podría darse al servicio, datos de ingresos aproximados en el hogar y estimación cantidad de dispositivos inteligentes que podrían conectarse, ¿interés a adquirir el servicio de internet rural? (ver figura 6).

Como se visualiza en la anterior figura la aplicación desarrollada lleva por nombre Factibilidad y cuenta con cinco (5) páginas sobre las que se realiza un desplazamiento de tipo lateral, de izquierda a derecha. A continuación, se presenta cada una de las pantallas que visualiza el encuestador y se realiza la descripción.

1. Main: Contiene datos del consecutivo, genera un identificador único a la entrada, autorización para el uso de datos y una opción para aceptar o denegar el uso de la información. En caso de no existir el consentimiento no se procede con la captura de datos.
2. Datos del entrevistado: Contiene datos de persona que atiende al momento de realizar la encuesta en el predio, este incluye la ubicación y firma como elemento de validación adicional que permiten individualizar el registro.
3. Datos de la vivienda: Dado que para este estudio es de interés principalmente conocer los hábitos de consumo del servicio a suministrar, se hace énfasis en cómo se accede a internet en la vivienda y el número de ocupantes tanto menores como mayores de edad.
4. Datos Socioeconómicos: En este apartado se quiere conocer la ocupación del cabeza del hogar y un aproximado del ingreso (el campo no es obligatorio), también se solicita información sobre el máximo nivel académico alcanzado por la persona cabeza de hogar.

5. Datos del servicio: Es un campo auto desplegable con dependencia, el campo “cuenta con servicio de internet” (actualmente) despliega las opciones para conocer el servicio únicamente si está marcado. Igualmente, el campo “Tipo de Usuario Potencial” que se refiere a la intención por adquirir un servicio ofrecido en el caso de que cuente o no con un servicio actualmente de internet. Finalmente, se seleccionan los equipos habilitados dentro del hogar para acceder a internet.

En la ventana 5 (ver figura 6) de la aplicación (numerando de arriba izquierda como la primer ventana y abajo a la derecha como la ventana 5) “datos del servicio”, se pretende estimar la cantidad de equipos que estarán conectados a internet, dado que los routers Wi-Fi más básicos presentan inconvenientes cuando existen muchos dispositivos conectados especialmente con dispositivos del internet de las cosas (IoT por sus siglas en ingles Internet of the Things) debido a la baja cantidad de memoria RAM disponible, y su escasa capacidad de procesamiento, se genera una gestión limitada en cuanto a la cantidad de dispositivos que pueden conectarse.

Los datos recolectados en la aplicación generan una base de datos no relacional en MongoDB (MongoDB, 2014) que puede ser vinculada con Google Drive , parte de la captura de los datos es presentada en la siguiente figura, el archivo que se crea al vincular a la aplicación con Google Drive.

Figura 7

Capturas de pantalla archivo vinculado Memento DB con Google Drive

Factibilidad ☆ 📁

Archivo Editar Ver Insertar Formato Datos Herramientas Complementos Ayuda Última modificación el 24 de septiembre

100% \$ % .0 .00 123 Predetermi... 10 B I S A

A1	Hora	Entrada	Factibilidad	Autoriza el trátar	Rich text	Date/Time	Nombre	Edad	Número de Contr	Correo Electrónico
2	7:40:00 a. m.	1			Dando cumplimiento	8/5/2021 7:40:42	Alejandro Monca	25	3132532486	
3	8:28:00 a. m.	3			Dando cumplimiento	8/6/2021 8:28:17	Oscar Acero	48	3112000231	
4	8:41:00 a. m.	4		Sí	Dando cumplimiento	8/6/2021 8:41:42	Heidy Moncada	23	3118096350	hrmoncada@mis
5	10:30:00 a. m.	5		Sí	Dando cumplimiento	8/6/2021 10:30:2	Michael Garzón	30	3138261685	zongarg8@gmail
6	7:25:47 a. m.	6		Sí	Dando cumplimiento	9/6/2021 7:25:47	Evangel Castella	42	3013955969	evangel.castellar
7	7:48:02 a. m.	7		Sí	<html dir="ltr"><	10/6/2021 7:48:0	Humberto García	64	3112402070	@
8	7:50:21 a. m.	8		Sí	<html dir="ltr"><	10/6/2021 7:50:2	Josefina Acero	72	3112000149	@
9	8:32:00 a. m.	9		Sí	Dando cumplimiento	10/6/2021 8:32:1	Angie Dayana Pt	21	3115853808	anyipuentes14@
10	9:29:00 a. m.	10		Sí	Dando cumplimiento	10/6/2021 9:29:3	Diana Paola Neir	27	3138784868	diananeira40@gr
11	7:55:00 a. m.	11		Sí	Dando cumplimiento	11/6/2021 7:55:5	Marcos Ramírez	69	3142978853	@
12	8:01:00 a. m.	12		Sí	Dando cumplimiento	11/6/2021 8:01:2	María Elizabeth f	31	3138899815	
13	8:25:00 a. m.	13		Sí	Dando cumplimiento	11/6/2021 8:25:5	Miguel Camacho	65		
14	8:29:00 a. m.	14		Sí	Dando cumplimiento	11/6/2021 8:29:3	Claudia Esperan	43	3157676519	clausconstrucci
15	8:41:00 a. m.	15		Sí	Dando cumplimiento	11/6/2021 8:41:5	María Rueda	28	3107788992	maria.3178@hot
16	8:47:00 a. m.	16		Sí	Dando cumplimiento	11/6/2021 8:47:0	Mónica Billette V	36	3196843409	rojasalopiso3118
17	8:52:00 a. m.	17		Sí	Dando cumplimiento	11/6/2021 8:52:4	Heriberto Cuadra	51	3115282377	heribertocudad
18	9:16:00 a. m.	18		Sí	Dando cumplimiento	11/6/2021 9:16:4	Miguel Roberto N	66	3132607093	
19	9:22:00 a. m.	19		Sí	Dando cumplimiento	11/6/2021 9:22:0	Cristóbal Mejía S	33	3214413293	
20	7:23:00 a. m.	20		Sí	Dando cumplimiento	15/6/2021 7:23:4	Edgar Murillo	62	3214430430	edgarmurillo@ou
21										

La aplicación que es mostrada en este apartado permite extraer la información requerida para el producto del proyecto que es el análisis de los datos y determinar la factibilidad que se encuentra para la red. En ese sentido la aplicación solo es un insumo que permite desarrollar el análisis sobre los datos.

Proceso para la implementación de la red inalámbrica rural

Ubicación del Proyecto

El proyecto piloto inicial se realiza en el municipio de Puente Nacional, con una conexión punto a punto entre el casco urbano y la vereda Rincón finca “Napoles” con dos equipos CPE-210, ubicados en las siguientes coordenadas:

Coordenadas Estación: 5.8818140, -73.6897301

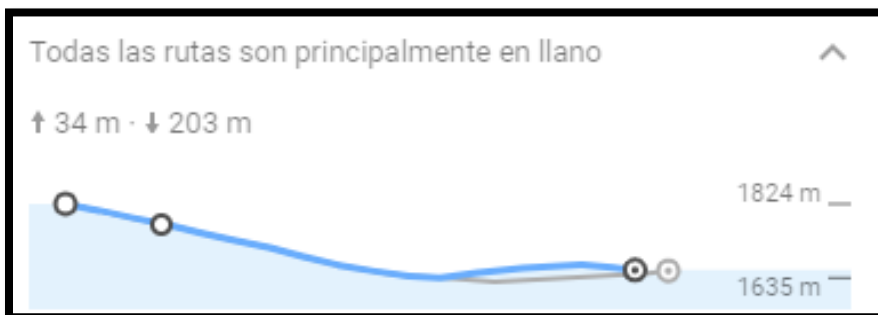
Coordenadas Base: 5.880983, -73.680044

Al graficar las coordenadas haciendo uso de Google Maps encontramos que existe un desnivel de tipo positivo entre las 2 ubicaciones, como se aprecia en la siguiente figura, la antena que se

encuentra en la estación (con una altura mayor) logra resultados óptimos (ganancia por altura) sin necesidad de estructuras adicionales para elevarla.

Figura 8

Desnivel entre estación y base

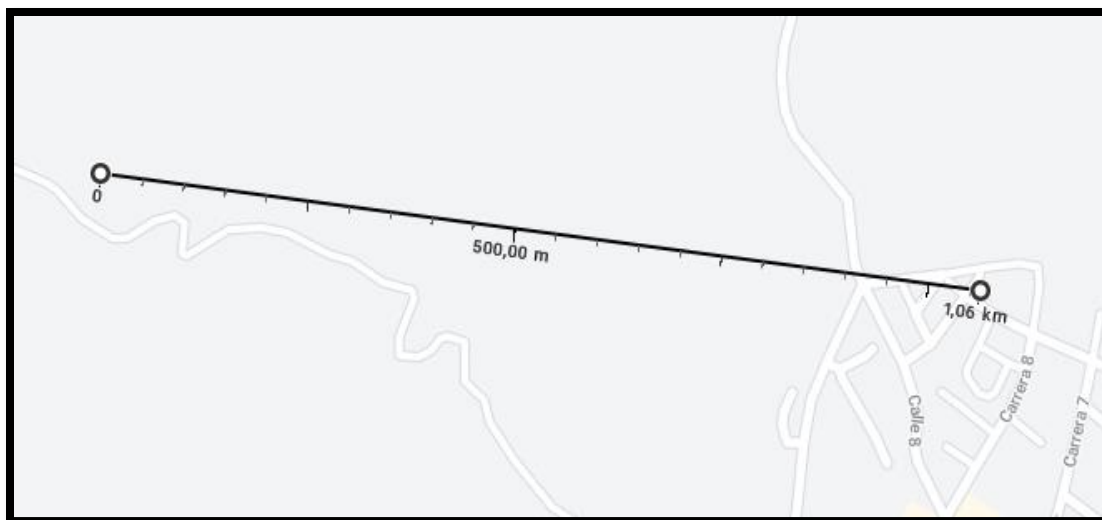


Nota: Extraído de Google Maps <https://www.google.com/maps/?hl=es>

La distancia entre los 2 puntos es de aproximadamente 1.06Km, es una distancia corta dado que según el manual se esperan distancias de hasta 27,7Km se espera por tanto se espera que se obtenga una alta ganancia, siempre que se tenga una correcta alineación entre las antenas, ahora entre el punto se encuentra una extensa capa de vegetación, así como una amplia zona de reserva forestal llamada El Higuerón, dada esta condición establece que las condiciones de la vegetación serán variables pero se mantendrán estables, también se espera que no se generen nuevas edificaciones intermedias que obstruyan de manera abrupta la conexión. A continuación, se presenta la separación entre la estación piloto y la base desde Google Maps.

Figura 9

Distancia entre punto de Base- Estación.



Nota: Extraído de Google Maps <https://www.google.com/maps>

La conexión de las antenas se realizó mediante el uso de conectores de RJ45 Cat-5 blindados, con cable de tipo FTP CAT 5E estos dos elementos permiten crear una puesta a tierra para la antena (física). El cable a diferencia del tradicional UTP presenta un blindaje extra que es una lámina delgada de aluminio que adiciona protección contra ruido, sus hilos son hechos en cobre 100% y certificado bajo la norma. Los conductores del par trenzado son 24 AWG, en el exterior el cable cuenta con un recubrimiento plástico de color negro y un conductor de cobre adicional para interconectar con la puesta a tierra de los conectores.

A continuación, se presenta imágenes de los conectores utilizados y de parte de proceso de ponchado.

Figura 10

Conector Blindado RJ-45 Cat5 usado

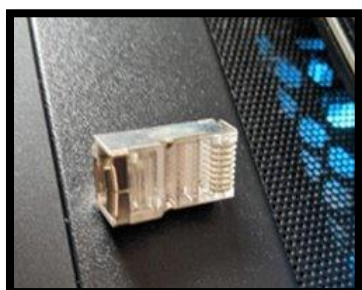


Figura 11

Cable FTP CAT5 con puesta a Tierra

**Figura 12**

Ponchado del cable, ponchadora QPcom QP-4685



El proceso de instalación se realiza tanto en el sector urbano con la instalación de la estación base antes mencionada, este se realiza sobre un cuarto piso de una vivienda ubicada al norte de la población. Sobre una base elevada y se fija con herramientas de sujeción que provee el kit del fabricante estas herramientas son amarraderas plásticas de 5mm de grosor bastante más gruesas que las que se consiguen en el mercado, pero no dejan de ser elementos susceptibles a fallos y con bajo margen de

maniobra, que impiden orientar libremente la antena. En la siguiente figura se presentan fotografías de la instalación en la base.

Figura 13

Instalación Antena en estación base, clima nublado.



Nota: La fotografía fue capturada en un día con neblina a las 7:10 A.M. Nótese que no hay visibilidad de las montañas ni de la estación.

En el siguiente gráfico se presenta la contraparte instalación y vista desde la estación piloto ubicada a 1.06km. Esta fue capturada en un día más en un día más con condiciones ambientales más favorables para el enlace.

Figura 14

Vista y ubicación antena base



Nota: La antena se encuentra

ubicada sobre las vigas que sostienen el techo de la vivienda. Es de resalta la gran diferencia entre un día de nublado y un día despejado. Nótese, que el casco urbano de Puente Nacional es plenamente visible a diferencia de la figura 13.

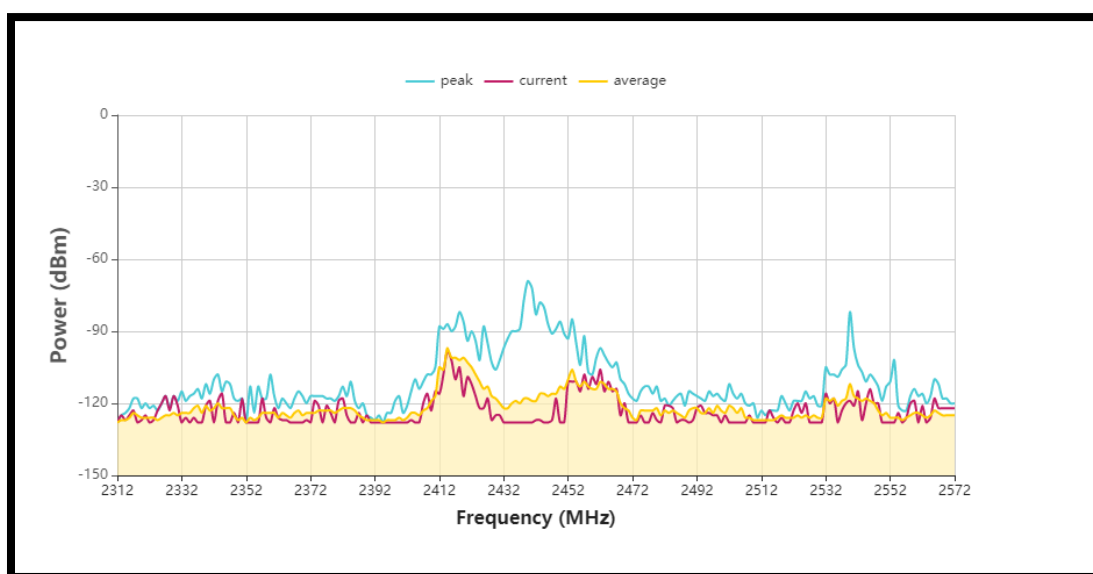
Análisis Espectral

El análisis del espectro es una de la herramienta integrada en los equipos, permite verificar la contaminación del espectro de una manera visual, revisar cuales son las bandas que cuentan con una mayor ocupación y la potencia de estas interferencias que obstruyen la transmisión o recepción de los datos; la zona de donde se desarrolla este proyecto, no se cuenta con grandes interferencias dadas su

condición mayormente rural. A continuación, se presenta una captura de pantalla de los datos obtenidos al realizar el análisis espectral en la ubicación de la estación base, que se encuentra ubicada en el casco urbano del municipio de Puente Nacional, Santander.

Figura 15

Análisis Espectral realizado con el equipo CPE-210 en la ubicación de la antena Base.



Nota: Obsérvese que existe una mayor contaminación en la zona central.

Los equipos usados por los proveedores locales a diferencia de nuestro equipo que ocupa la banda de 2.4GHz trabajan en frecuencias superiores (habitualmente 5Ghz) esto permite que la ocupación por equipos similares sea baja, el principal ruido que puede interferir son los equipos de Wi-Fi domésticos, del espectro de 2.4GHz como se observa en la ilustración anterior, las frecuencias de 2412MHz a 2472 MHz, se trata del intervalo de frecuencias con mayor presencia de interferencias encontrado, aunque los valores de potencia captada en la estación base (ubicada en el perímetro urbano) se alejan bastante del valor transmitido (27dBm).

Dado que la antena emisora se encuentra en una zona urbana, el ruido se genera por las redes de *routers de Wi-Fi* domésticos como se menciona anteriormente. En la banda inferior de los 2312MHz hasta los 2392MHz se cuenta con una baja contaminación del canal y esta porción del espectro puede ser la ideal para transmitir libre de interferencias (la palabra libre se refiere a que las interferencias son pocas, no a la nulidad de esta, se puede transmitir correctamente sin mayores complicaciones) admitiendo esta cantidad de ruido. Desgraciadamente estas bandas no son accesibles por el equipo dada las limitaciones de su frecuencia de operación solo permite trabajar en las bandas de 2.4Ghz es decir su rango de operación va desde los 2412Mhz hasta los 2485Mhz aproximadamente.

Ahora con la función **Survey**, se logra obtener un detallado de todas las redes disponibles, en las bandas de trabajo del equipo, ya que el equipo es compatible con el estándar IEEE 802,11 b/g/n observamos que se encuentran una gran cantidad de redes disponibles. En oposición la red con la que trabajaremos para el piloto de conexión entre los equipos CPE-210 no usa el estándar IEEE 802.11 b/g/n sino un protocolo propietario (para el piloto con las localizaciones mencionadas en párrafos anteriores, protocolo del fabricante usa las mismas frecuencias), esta será la red útil y todas las demás redes serán agentes contaminantes del espectro. Puntualizando, la mayor parte de los equipos de uso domésticos se puede distinguir fácilmente dado que no presentan identificador en el apartador '*Device Name*' este apartado muestra el nombre del equipo solo en el caso de las antenas de radioenlace y muestra el modelo del dispositivo utilizado. En la siguiente figura, se muestra cuáles son los resultados de visualizar la información al detalle en la herramienta "survey".

Figura 16

Herramienta Survey en Ubicación de Base.

Survey								
Index	BSSID	SSID	MAXtream	Device Name	SNR (dB)	Signal / Noise(dBm)	Channel	Security
1	7C-87-79-06-A5-62	CABLEM@S_ED AN	No		23	-62/-85	2412 (1)	WPA2-PSK
2	C8-E7-D8-9F-46-D6	LAURA TORRES	No		17	-55/-72	2412 (1)	WPA-PSK/WPA2-PSK
3	50-D4-F7-78-B5-E4	INTELCOM COM BITA	No		34	-51/-85	2417 (2)	WPA2-PSK
4	0C-80-63-E9-8D-AE	INTELCOM AMPARO PINEDA	No		29	-56/-85	2417 (2)	WPA2-PSK
5	B0-95-75-FF-78-7C	NATALIA	No		34	-51/-85	2417 (2)	WPA2-PSK
6	40-3F-8C-9D-56-82	CONEQUIPOS IN G. SAS.	No		21	-64/-85	2417 (2)	WPA2-PSK
7	B0-4E-26-FF-1B-C4	FAMILIA BERNAL	No		16	-69/-85	2417 (2)	WPA2-PSK
8	C8-E7-D8-A1-5D-7A	Noha 2019	No		11	-74/-85	2412 (1)	WPA-PSK/WPA2-PSK
9	AC-84-C6-CE-01-3A	OPTIMUS	No		23	-46/-69	2417 (2)	WPA2-PSK
10	DE-91-0F-14-4C-D1	DIRECT-hR-FireTV Stick de Sergio	No		26	-59/-85	2417 (2)	WPA2-PSK
11	60-32-B1-89-79-C6	HARMAT	No		24	-75/-99	2422 (3)	WPA2-PSK
12	98-DA-C4-94-E8-00	FAMILIA CAMACHO FORERO	No		20	-65/-85	2427 (4)	WPA2-PSK
13	5A-87-8C-57-A1-68	CABLEM@S_FO	No		21	-61/-85	2417 (2)	WPA2-PSK

Destination IP/Domain: 50

Refresh

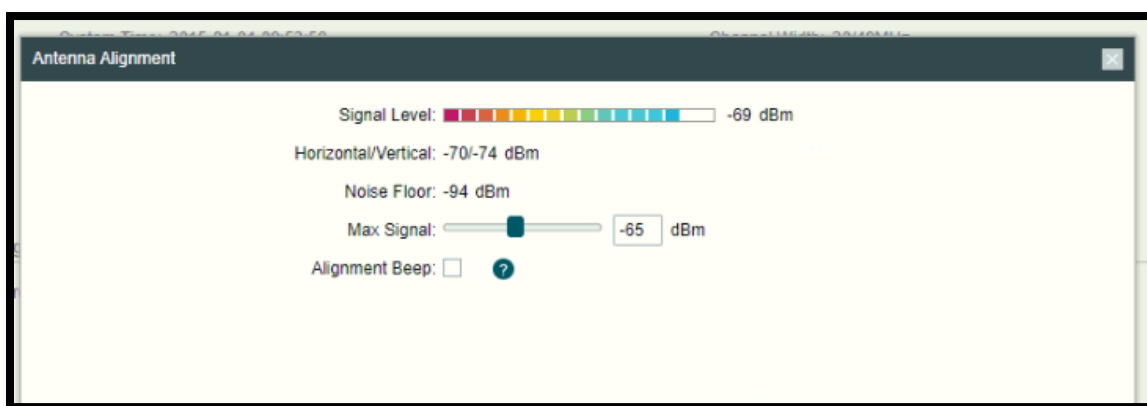
A pesar de toda la información presentada anteriormente, la función principal que cumple la característica “Survey” es la de visualizar y conectar una estación a un dispositivo emisor con el dispositivo base. Los datos recolectados muestran redes inalámbricas de dispositivos compatibles con Wi-Fi que son antenas y de hecho si simplificamos mucho, nuestra antena no es más que un *router* con un hardware y software dedicado para realizar conexiones lejanas, existe una red que tiene un nombre o SSID el cual es un identificador para los clientes, y una BSSID o MAC-Adress; identificador único de equipo. Al solicitar acceso al equipo se realiza una autenticación en la que se verifica que las credenciales (conjunto de usuario y contraseña) sean coincidentes. Regularmente en las redes domésticas no se requiere de usuario.

La herramienta permite realizar la calibración final de la orientación de los equipos, luego de realizar el montaje y obtener valores de señal es característica alineación de la antena, esta nos garantiza que los valores en el punto donde quede fija la estación sean los ideales en tanto que la conexión entre la base y la estación se calibra para obtener la mayor potencia posible en la

ubicaciones y alturas establecidas. La interfaz proporcionada por el fabricante es muy útil en este apartado permitiendo una recepción visual y sonora de los valores. La siguiente figura, presenta los valores obtenidos en la interfaz gráfica de la herramienta para la alineación de la antena en un día de lluvia.

Figura 17

Captura de Pantalla Alineación de Antena receptora en CPE-210

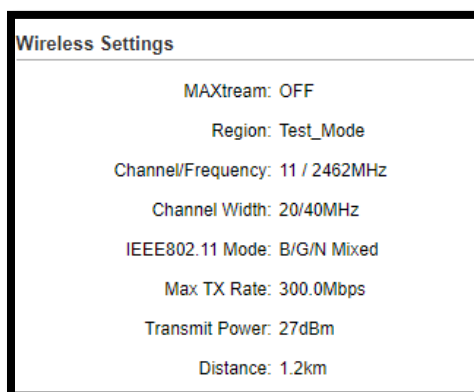


Otra medida importante es el “Canal” – ‘Channel’. Este aparece identificado con un número para las conexiones de redes a 2.4Ghz entre el 1 y el 12 (bandas). Esta es la fracción del espectro comprendida entre la frecuencia inferior hasta la superior que pueden usar los equipos. Al contar con equipos que están diseñados para operar en espectro ampliado, las antenas transmisoras y receptoras pueden usar frecuencias que no se encuentran dentro de las bandas comerciales de los equipos tradicionales (estas bandas se encuentran numeradas del 1-14 en 2.4Ghz), y a diferencia de estos no nos conectamos a través de un rango de frecuencias sino a través de una frecuencia específica. Más adelante en este documento se revisará en detalle las diferencias que tiene para la red usar unas u otras condiciones.

Se realiza la configuración para obtener los datos del ancho de banda disponible, variando la potencia emitida los parámetros son los presentados en la siguiente figura.

Figura 18

Parámetros de configuración inicial.



Nota: Tanto en estación como en base.

Para esto se usa la máxima potencia disponible para realizar la aplicación de un parámetro de referencia. A partir de este se tendrá una referencia, en la cual se irá reduciendo la potencia para optimizar la potencia a mínima con el objetivo de reducir el consumo al mínimo con la mayor fiabilidad de la conexión.

Recolección de Datos en Campo (Censo)

La recolección de información es realizada con una aplicación desarrollada para este proyecto es gestionada a través de Memento Database en el apartado **Aplicación para la recolección de datos** se amplía la información de esta. Para el proceso de toma de datos, los ocupantes de la vivienda son informados de la finalidad de los datos se comunica de manera oral el uso que se dará a la información, y se solicita autorización para realizar una encuesta y la divulgación para fines académicos relacionados en el marco de este proyecto. Sí el ocupante del predio concede el permiso informado, se procede a recolectar la información. Esta encuesta se realizó únicamente a personas mayores de edad que fueran ocupantes del predio permanentes. Se informa antes de recolectar los datos que estos se acogen a la ley

de tratamiento de datos y solo serán usados para el ejercicio académico realizado por el autor presente y serán compartidos únicamente en espacios académicos.

La zona de prueba piloto se encuentra comprendida entre el límite urbano del municipio vía al filo de la vereda “La Cuchilla” entre las que se encuentran la Vereda Rincón y La Cuchilla. Es una zona netamente rural con viviendas en diferentes materiales y extensión. Cuenta con varias placas-huellas en el camino (4) pero con trayectos no cubiertos que dificultan en extremo la movilidad en vehículos.

Para realizar la recolección el desplazamiento se realiza a pie, con pobladores de la zona para evitar inconvenientes de seguridad. Aunque amables los pobladores de la zona son reservados con los desconocidos principalmente al momento de recolectar información socioeconómica y pese a informar el objetivo de los datos, se muestran celosos a compartir la información. La recolección no se realizó con ningún identificador visible expuesto que permitiera validar la información.

Al recolectar los datos se da prioridad a la zona de influencia de la antena, los lugares donde la señal posiblemente llegaría según simulaciones. En la siguiente figura, se presenta el patrón de radiación sobre el cual se realiza la recolección de la información (en simulación).

Figura 19

simulador trabaja con equipos de radioenlace no móviles, y las especificaciones de hardware de estos son totalmente distintas a las que podría tener un dispositivo móvil usado. A continuación, se presentan los parámetros de configuración y los datos que se logran obtener en simulación, estos parámetros no tienen en cuenta, vegetación, edificaciones, condiciones climáticas como se comenta anteriormente y asumen una alineación perfecta de las antenas. Por esta razón los datos son poco fiables y no deben tomarse bajo ningún concepto más allá de una referencia.

Figura 20

Parámetros de configuración para obtener el patrón de radiación con Airlink.



Nota: Tomado de la simulación realizada con el aplicativo web Airlink, propiedad de la empresa Ubiquiti Networks <https://link.ui.com/#>

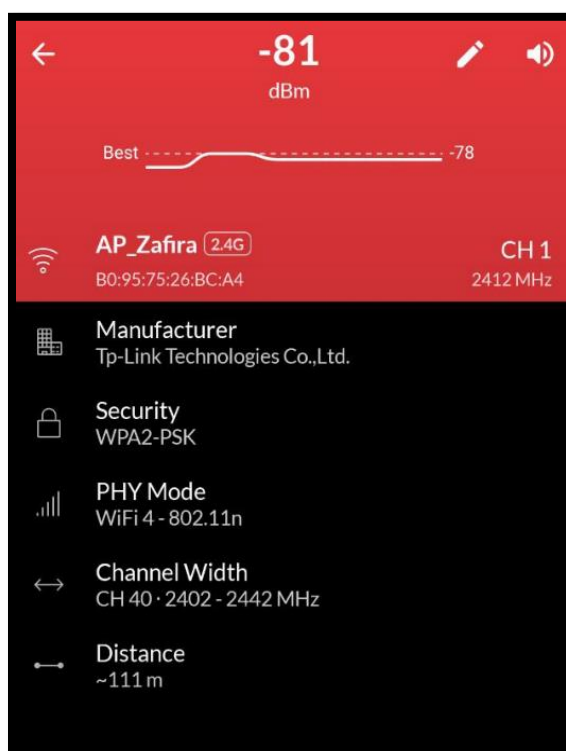
Metodología para recolección de datos de pérdidas

Para obtener los datos relativos a las pérdidas se hace uso de la aplicación Wifiman, esta aplicación permite visualizar la potencia de la señal recibida en dBm a través de una interfaz gráfica, adicionalmente muestra frecuencias de operación, distancias aproximadas desde el punto emisor y el receptor, entre otros. Sin embargo, la razón por cual se elige esta aplicación sobre otras alternativas es que permite identificar el dispositivo emisor a partir de su SSID y representar los valores tanto visual como auditivamente en campo las lecturas. Todas las mediciones de pérdidas a diferentes distancias

fueron realizadas con el equipo Pixel 3 y sobre la aplicación, por lo que los resultados encontrados son equivalentes dado que todas las capturas se hacen sobre un único equipo. Estas mediciones pretenden establecer los niveles de pérdidas que sufre el enlace tras separar la estación de la base. En la siguiente figura se presenta la interfaz gráfica de la aplicación.

Figura 21

Capturas de Pantalla Interfaz Aplicación WiFiman



Nota: Tomado de la aplicación Wifiman propiedad de Ubiquiti Networks.

Para obtener los datos de campo, se fue necesario realizar la configuración de la antena en la base bajo el estándar IEEE802.11 B/G/N este es un modo compatible usar dispositivos de radioenlace propios del fabricante (Tp-Link) u otros que no son del fabricante y equipos que no son dedicados para radioenlace, sensibles que soportan el estándar como portátiles, microcontroladores con módulos Wi-Fi y para este caso, **smartphones**.

El equipo usado para la revisión de las pérdidas en campo es un dispositivo Google Pixel 3 con un Chipset Qualcomm Snapdragon 845 (Qualcom, 2018) que según el fabricante cuenta con Wi-Fi compatible con los estandares 802.11ad, 802.11ac Wave 2, 802.11a/b/g, 802.11n 2x2 con MU-MIMO compatible en tri banda con redes de 2.4 y 5Ghz con + 60GHz, en este modo compatible permite recibir los datos de la antena compatible con IEEE 802.11b/g/n sin complicaciones.

Para encontrar el valor de señal recibido en el dispositivo y encontrar los valores pérdidas se realizan análisis cercanos a la antena. Inicialmente se configura la estación base sobre la que se mide los distintos puntos a la máxima potencia permitida en este caso 27dBm y se ubica el equipo que realizará las mediciones remotas en el punto más cercano posible. Este análisis obtiene la medida de control, esta varía entre los 26dBm y los 27dBm los valores esperados, se comprueba efectivamente que a menos de 1 metro de la antena se obtiene la potencia que nos informa el fabricante; esta potencia es extremadamente alta así que no se recomienda mantenerla por mucho tiempo debido a que las antenas de los dispositivos móviles no están diseñadas para recibir tan altas intensidades de potencia. En este caso, no se realiza la medición con otro dispositivo CPE-210 o similar a la emite debido a que estas por su hardware diseñado con una alta sensibilidad y antenas internas que generan una ganancia adicional, pueden quedar inutilizables o descalibrar el sistema de medición interno.

Posteriormente se realizó el desplazamiento a las posibles ubicaciones donde se encontraría un valor de señal, siguiendo la guía de la simulación en la figura **19** patrón de radiación para tener una aproximación general de los puntos probables en los que se obtenían niveles de señal adecuados para la captura de información.

Una vez en campo, se procedió a comprobar mediante el uso de la aplicación haciendo uso de la funcionalidad sonora de la misma, los valores donde se encontraba mayor intensidad de la señal, se trató de un proceso empírico de prueba y error ya que, por las condiciones topográficas, de vegetación y restricciones al desplazamiento por predios privados se limitó el desplazamiento por la zona. Así se

capturaron 10 medidas a diferentes distancias la más lejana a 1.1Km de distancia del lugar donde se montó la estación emisora.

Una vez capturados los datos se procedió a obtener las medidas bajo simulación de los equipos de la figura 20 en esta figura se muestran los parámetros de estación y base simuladas. En este caso se hace uso para la simulación de la estación NanoStation M2 que presenta características similares al equipo usado, pero varia la estación base dado que el Rocket M2 (el más similar permitido por el simulador) es una estación modular con un poder de procesamiento mucho mayor a los CPE-210.

Para obtener los datos de las simulaciones, se procede ubicar un equipo virtual en las mismas ubicaciones (latitud y longitud) donde fueron realizadas las mediciones con el dispositivo móvil, dado que las antenas usan como unidad de medida la potencia en dBm, se debe realizar la conversión de los datos a vatios (W) para el cálculo de pérdidas, siguiendo la siguiente fórmula:

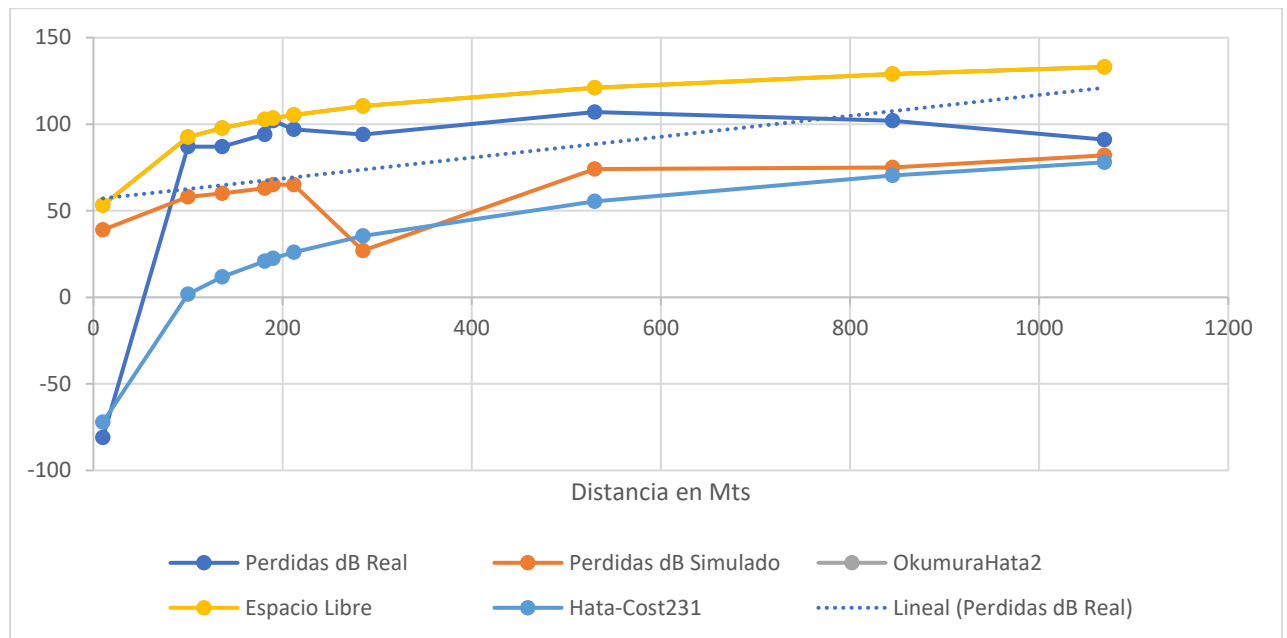
$$P_{(w)} = 1W * \frac{10^{\left(\frac{P_{(dBm)}}{10}\right)}}{1000} = 10^{(P_{(dBm)}-30)}/10 \quad (4)$$

Se presentan diferencias al comparar los datos de campo con la simulaciones, debido a que se encuentran variaciones debido a características que se esperaban omitiendo que los equipos son distintos, factores como: el enlace en la simulación varía el *Heading/Tilt (Azimut)* es decir, la orientación en inclinación de la antena en función de los puntos a la versión ideal, en campo no es posible realizar este proceso ya que el enlace estará móvil no cuenta con la función de alineación, la potencia sufrió una degradación estable en el escenario simulado, a diferencia del escenario real, debido a la vegetación se encuentran grandes diferencias entre los datos recolectados con unas pérdidas muy superiores en el escenario real. En la siguiente figura se presenta los datos obtenidos tras recolectar datos en campo a diferentes distancias y operarlos para obtener las pérdidas obtenidas de este proceso son calculadas como la diferencia entre la potencia emitida y la recibida, estos datos son comparados con el modelo

Okumura-hata y a su versión extendida Cost 231, modelo de espacio libre. Todos los datos teóricos fueron calculados desde el programa MATLAB creando un vector para la distancias y manteniendo constantes las demás condiciones del enlace, los valores de las simulaciones fueron operados para obtener las pérdidas a partir de la diferencia entre la potencia recibida y la potencia emitida de la misma manera que con los datos reales.

Figura 22

Gráfico comparativo entre modelos (pérdidas)



Con fines académicos, fue incluido el modelo de propagación de espacio libre a pesar de que las condiciones del ambiente no favorecen la aplicación de este método, la ecuación que rige el método es la siguiente:

$$P_r = P_T G_T G_r \lambda / (4\pi r)^2 d^2 \quad (5)$$

donde $\lambda = c/f$ con c como la velocidad de la luz.

Tras convertir los valores de potencia emitida y potencia recibida se realiza relación de la potencia recibida sobre la potencia emitida. Para obtener las pérdidas y realizar la comparación entre los modelos se realiza el siguiente procedimiento.

$$L_{(dB)} = 10 \log_{10} \frac{P(s)}{P(e)} \quad (6)$$

Este procedimiento se realiza con los datos obtenidos en campo y los datos de la simulación, dado que en ambos casos los datos que se pueden obtener en campo se refieren a una potencia emitida (base) y potencia recibida (estación). El modelo **Okumura-Hata** entrega las pérdidas como una relación que usa decibelios (dB), esto impide que el modelo permita cuantificar los valores mínimos requeridos en términos de potencia para la conexión entre los puntos de la red. Se encuentra que los resultados obtenidos del cálculo modelo Okumura-Hata2 (la versión no extendida) y el modelo de espacio libre tiene resultado idénticos por tanto las gráficas se solapan.

Comparación entre Modelos

Para el modelo de Okumura-Hata con una frecuencia de Transmisión de 2412Mhz a una potencia de 27dBm, y una distancia de enlace de 1.1Km (el punto más lejano), aplicando el modelo de tipo 2 (áreas suburbanas) en la antena emisora se obtienen los siguientes parámetros:

$$L_b = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d_m \quad (7)$$

Pérdidas en espacio Urbano

$$L_b = L_b(urbano) - 2[\log(f/28)]^{2.2} - 5.4 \quad (8)$$

Pérdidas totales en Espacio Suburbano

Por lo anterior se requiere calcular las pérdidas en el sector urbano, que serán:

$$a(h_m) = (1.1 \log f - 0.7)h_m - [1.56 \log (f - 0.8)] \quad (9)$$

Factor de atenuación en ciudades pequeñas y medianas

Donde $a(h_m)$ es el factor de pérdida por la altura de móvil (estación para este caso se aplica la versión de ciudades pequeñas o suburbanas)

Con la condición de que las frecuencias usadas, no permiten trabajar sobre el modelo original Okumura-Hata sino sobre la variación COST-321 Hata (Pedersen, 1999). Esta versión permite trabajar con rangos de frecuencias extendidos.

$$L(dB) = 46.3 + 33.9 * \log f - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d + C_m \quad (10)$$

Para el caso de áreas suburbanas, el $C_m=0$.

Al obtener en campo se encuentran los siguientes datos de potencia recibida, la zona se trata de un territorio mixto entre zonas urbanas y rurales. La zona de recepción de la señal es mayormente de tipo rural con abundante vegetación, por lo que los obstáculos dificultan la recepción. En la siguiente ilustración se muestran los datos recolectados gráficamente.

Figura 23

Potencia vs Distancias



Al variar la distancia entre la antena emisora y el receptor se evidencia cambios en la potencia recibida a mayor distancia menor es señal recibida como era de esperarse. Sin embargo, se encuentra que la distancia no es la variable que más afecta el enlace, sino ausencia de línea de vista.

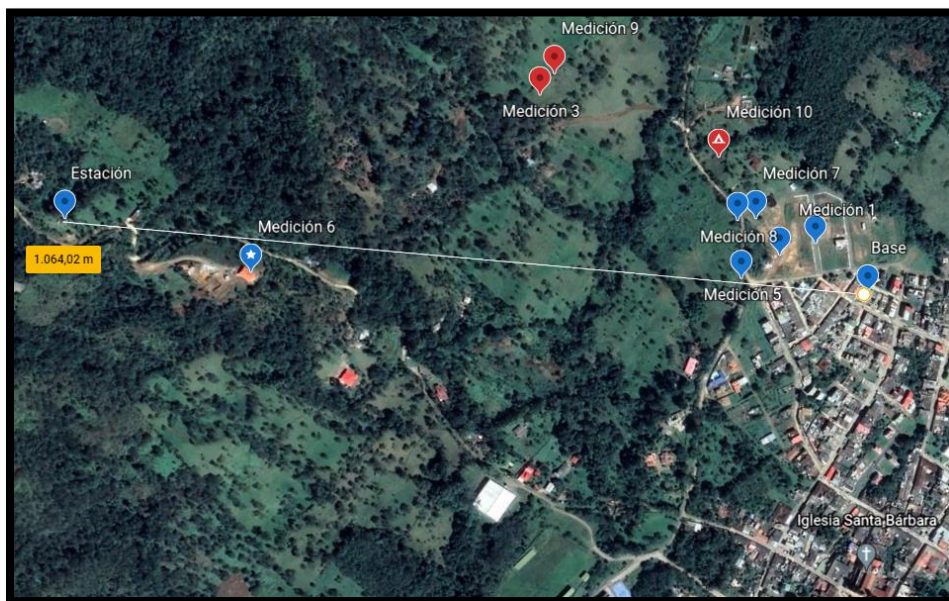
Se encuentra que los puntos con potencia recibida inferior a los -75dBm o -31.5pW no permiten realizar medición de velocidad dada la pobre potencia y la separación de la base. La baja recepción de potencia es en mayor parte por ausencia de una conexión totalmente libre de obstáculos a pesar de que según la altimetría permitía en “teoría” sería viable realizar el enlace según los datos de la figura 19 de la simulación realizada con Airlink.

Se presentaron variaciones relacionadas a la interferencia de obstáculos, principalmente la vegetación, esta superaba los 4 o 5 metros de altura y estos objetos no lograron ser compensados dando altura a la estación móvil. En los puntos donde la recepción era menor de -75dBm no fue posible realizar la medición de velocidad dada la baja calidad de la conexión, la inestabilidad no permitía enviar ni recibir paquetes. A continuación, se presentan gráficamente en los puntos en donde se realiza la

captura de información, en color azul los puntos donde se logra una conexión estable y en color rojo los puntos donde se logró obtener señal de la antena emisora, pero no una conexión con la red.

Figura 24

Gráfico punto capturados para obtener pérdidas.



Los puntos en color rojo tienen en común inconvenientes derivados de una difusa línea de vista, principalmente obstrucciones por vegetación. No se logran obtener medidas de prueba de velocidad, ni conexión con la red en la estación móvil, pero si se perciben valores de potencia recibida en la aplicación. Por otra parte, los puntos en azul que cuentan con plena de visibilidad de la antena, si lograron obtener medidas tanto de conexión como de velocidad en el dispositivo móvil y la estación de manera directa en campo.

Recolección de los valores ideales de potencia a emitir.

En el caso de la recolección de datos entre la base y la estación se hace uso de las herramientas integradas por el fabricante a nivel de software que hacen uso del hardware dedicado. Los datos

recolectados fueron consignados en una bitácora que contiene la información relativa a hora, fecha, velocidad de subida, velocidad de bajada, potencia emitida, potencia recibida conjunta, potencia recibida por separado, piso de ruido, banda, SNR, CCQ+, horario (mañana, mediodía, tarde, noche) y condiciones ambientales. Para obtener estos datos se accede al sistema operativo de los CPE-210 y se toman los valores de las pestañas: “Speed Test”, “Antenna Alignment” (ver figura 17), “SNR” y “Wireless Signal Quality” en las siguientes figuras desde la interfaz del usuario del CPE-210 el apartado donde se obtienen los datos no presentados anteriormente.

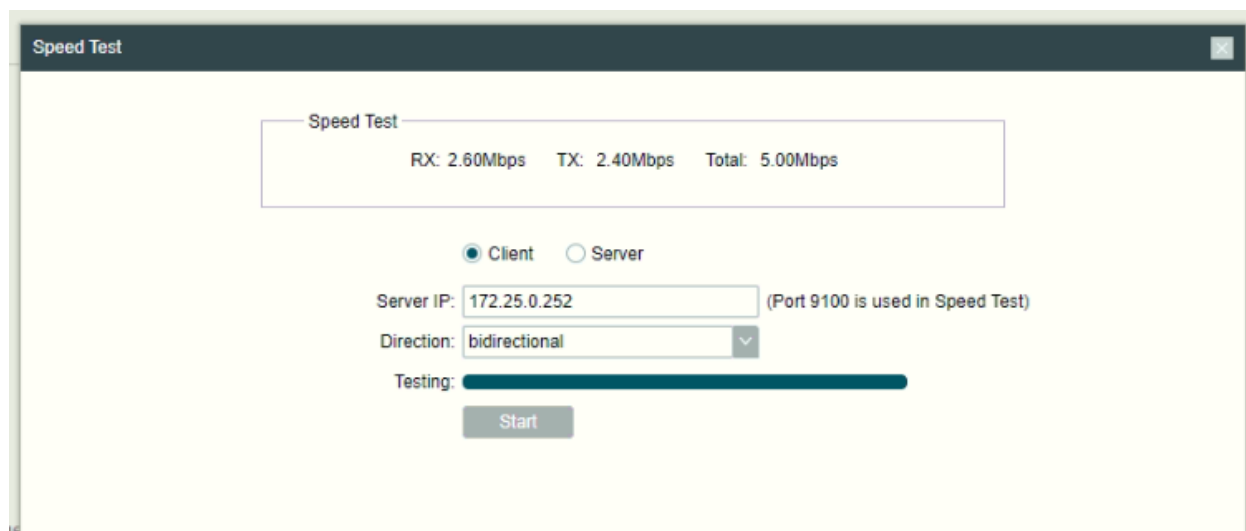
Figura 25

Captura de pantalla Wireless Signal Quality en CPE-210



Figura 26

Captura de pantalla Speed Test en CPE-210

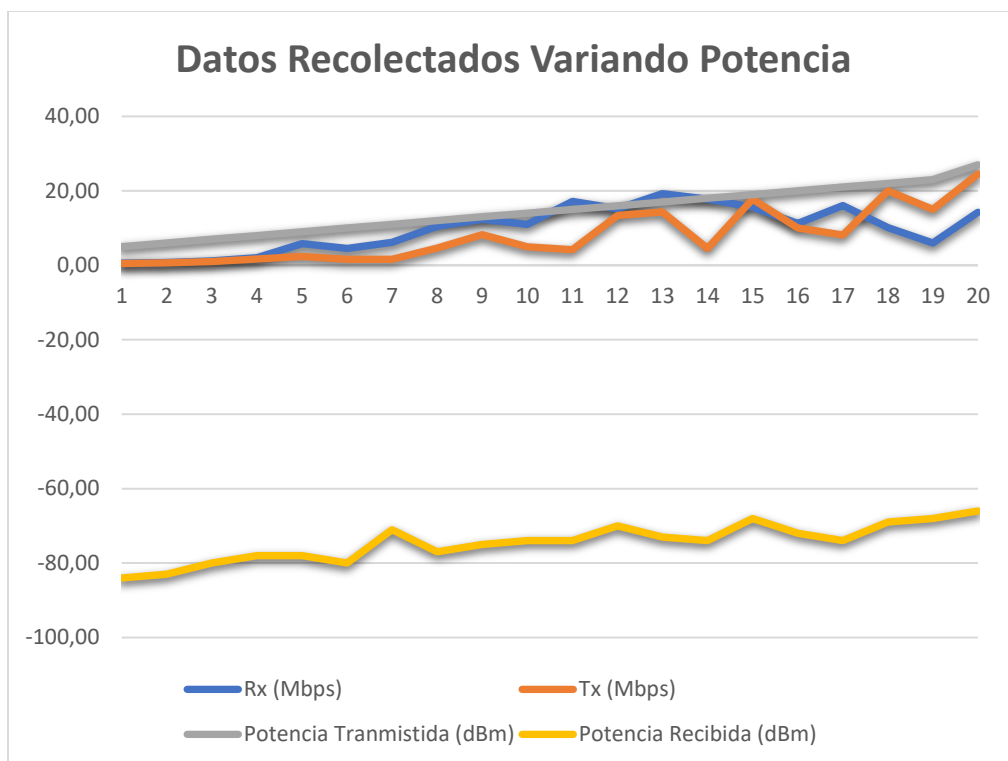


Nota: El speed test puede ser bidireccional, únicamente en Tx o Rx. Para la medición se establece la base como cliente y la estación como servidor. Dado que al realizar el proceso inverso se perdía la conexión durante las pruebas.

A continuación, se presenta gráfico desde la estación inicial (1.06Km) se recolectan datos de la potencia recibida, velocidad de transmisión y recepción de datos, un intervalo de tiempo de dos semanas. Se observa entre mayor sea la potencia se amplía el ancho de banda, con una inflexión a los **13dBm**. En este punto, la estabilidad aumenta de forma considerable, luego aumenta la capacidad del canal sin otro pico notable.

Figura 27

Datos recolectados en la estación $d=1.1\text{Km}$, variando potencia emitida



La atenuación es más evidente al modificar la potencia, pero en esta medida alteraciones relacionadas con distintas condiciones medioambientales y horas del día (mañana, medio día, tarde, noche) también tienen un impacto. La influencia de estas variables es menor. Las condiciones que afectaron en mayor medida excluyendo la potencia transmitida fueron la presencia lluvias (llovizna, lluvia fuerte, neblina y vientos). Por último, respecto a los horarios las tasas de transferencia más altas (Tx,Rx) son recolectados mañana (posterior a las 9) medio día con clima soleado y el peor escenario es el nocturno donde obtiene resultados más bajos, los datos no pueden atribuir a un fenómeno específico, pero se presume que la presencia de neblina en horario nocturno puede ser el origen de este fenómeno. En la siguiente figura, se presenta como figura parte de la tabla en la que se capturaron los datos, dado el tamaño de esta no es posible incluir la totalidad del contenido en este documento.

Figura 28

Captura de pantalla tabla con filtro sobre los valores de 27dBm en potencia transmitida

Hora	Speed Test Rx	Speed Test Tx	Potencia Emitida (dBm)	Potencia Recibida		Banda	Condiciones Ambiental	Horario
				(Antenna Alignment)				
8:58:19 a. m.	14,81Mbps	10,84Mbps	27dBm	-68dBm		1/2412Mhz	Despejado	Mañana
9:30:08 a. m.	14,21Mbps	24,51Mbps	27dBm	-66dBm		1/2412Mhz	Soleado	Mañana
9:32:12 a. m.	20,16Mbps	22,85Mbps	27dBm	-62dBm		1/2412Mhz	Soleado	Mañana
6:58:51 p. m.	8,08Mbps	20,42Mbps	27dBm	-66dBm		1/2412Mhz	Lluvia Fuerte	Noche
8:18:58 p. m.	6,35Mbps	991,30Kbps	27dBm	-68dBm		1/2412Mhz	Lluvia Muy Fuerte	Noche
9:58:11 a. m.	6,47Mbps	6,92Mbps	27dBm	-67dBm		1/2412Mhz	Nublado	Mañana

Nota: Nótese que en la mañana en horario con clima soleado presenta los mejores valores en cuanto a lo número obtenidos con la prueba de velocidad.

Cuando el enlace presenta una alta inestabilidad, no se logran obtener mediciones, estas desconexiones fueron menos recurrente al emitir en potencias por encima de los **17dBm**. Los datos fueron recolectados en dos tandas, inicialmente se tomaron datos desde la ventana “Estado” (Status) que fueron almacenados en una tabla llama “Bitacora Datos”, pero debido a que la precisión de los datos era baja, se procedió a modificar la forma de recolección para aumentar la calidad y confiabilidad de la información capturada.

Los datos de “Data Tx/Rx rate”, negotiated rate, signal noise (en la ventana status) no fueron tomados en la versión final de la recolección debido a que se encontró demasiada variación que dejaba en duda la confiabilidad de la información. La ventana “Status” del equipo mostraba los datos promediando las alteraciones y tenía un intervalo de actualización de 15-30 segundos, por lo que los datos no eran en tiempo real ni representaban la realidad de la conexión. Para solventar este inconveniente se realizó la toma de información desde la ventana “Herramientas” estos son los utilizados en la versión final de la tabla se almacenó presentes en documento. Los datos recolectados fueron: fecha, hora, speed Test Rx, speed Test Tx, potencia emitida, potencia recibida (conjunta y horizontal/vertical), noise floor, SNR, transmit CCQ, condiciones ambientales, horario, número de estaciones conectadas, distancia (entre la base y la estación).

Análisis de Datos

Cambios en el nivel de señal según condiciones ambientales.

En el anterior apartado se encuentra la diferencia entre los puntos según distancia y visibilidad y cómo estos varían en función de estas 2 condiciones. Las mediciones potencia de los puntos a diferentes distancias se realizaron todas con condiciones ambientales favorables, pero en un ambiente real las condiciones climáticas generan cambios que causan interferencia, así es como se agrupan las señales en la estación ubicada a 1.1Km de distancia y son monitorizados periódicamente a distintas horas del día, con condiciones ambientales tanto favorables como adversas.

Desde el montaje de la prueba piloto se hace uso la estación que tiene exactamente la misma especificación de la base (hardware), sobre la conexión entre estas 2 se realizaron varias mediciones, para comparar los resultados tanto variando la potencia emitida usando el Test_Mode que permite generar una potencia en la antena de hasta 27dBm, con una ganancia de antena de 9dBi y se encuentra que la potencia mínima para que la comunicación se establezca de manera estable es de 11dBm en la estación. Esto genera un coeficiente llamado SNR(Kester, 2009) (Signal Noise Received) de 16dB este valor llegó hasta los 43dB el valor representa cual es la relación entre la señal recibida y ruido presente en el ambiente. El ruido en todas las mediciones se mantuvo entre los -95dBm y los -100 dBm niveles bajos dada que la sensibilidad muestra hasta el tope de los -100dBm. En cuanto los -75dBm, se lograron obtener valores de señal inferiores a -75dBm, pero en estos casos la señal no permitía la conexión al equipo remoto.

La metodología usada para captar los datos fue la siguiente, al realizar un cambio en clima o en la señal previo alineación y calibración de los equipos tanto en base como estación, se realiza un análisis de alineamiento de antena este permite tener una medida precisa de la potencia recibida que actualiza

los datos cada segundo, esta medida es más precisa que la que aparece en el apartado “Status” del Software de administración Pharos OS.

Tras recolectar los datos de potencia de este apartado, se procede a realizar una prueba de velocidad, esta medición se realiza a partir de la cantidad de ancho de banda de la conexión es decir el tamaño del canal útil en el medio y no de la conexión que sale a internet. Por tanto, la medición de la prueba nos muestra el tamaño del medio que luego usaremos para transmitir el recurso que para el caso de este proyecto será la conexión a Internet.

Se observo al realizar las mediciones una inestabilidad en potencias inferiores a los 10dBm en la antena emisora, el mínimo nivel que permitió a la conexión punto a punto entre base y estación fueron los 5dBm, aunque este limitó al canal a un ancho de banda de menos **Rx 592,25Kbps** y **Tx 487Kbps** con evidente inestabilidad ya que el nivel de señal obtenido era de -84dBm. La experiencia de uso de la conexión fue terrible ya que los dispositivos móviles no permitían ni enviar ni recibir mensajes por aplicaciones de mensajería instantánea, aplicaciones que hacen poco uso del ancho de banda.

Los niveles de señal aceptables mínimos sugeridos están alrededor de los -75dBm estos valores son obtenidos a partir de los 11dBm en la antena emisora, permitiendo aumentar el ancho de banda disponible en el medio a los Rx **6.16Mbps** y Tx **1.64Mbps**.

Se observa que la perdida por lluvia (la condición ambiental más desfavorable) puede mitigarse al transmitir a buena potencia y calibrando los equipos correctamente. Aquí surge un inconveniente debido a que por la legislación colombiana no es posible transmitir potencias tan elevadas como la usada en la prueba, y no fue posible encontrar una potencia suficiente para compensar la interferencia medio ambiental de la vegetación aun teniendo un despeje de Fresnel correcto y visibilidad plena entre las antenas. La limitación para transmisiones será detallada en más a profundidad en el apartado técnico legal.

Estudio Socioeconómico (Censo)

Para recolectar datos relacionado con los pobladores de la zona se realizó una aplicación que anteriormente es mostrada, esta cumplía con la función de recolectar los datos desde un aplicativo móvil con conexión a internet y que permite acceder los datos en remoto. La aplicación que fue creada sobre la base de Datos Memento Database crea un base de datos MongoDB no relacional que puede ser cargada directamente en Google Drive permitiendo conectar al recurso en línea Power BI que es la herramienta usada para realizar el análisis de los datos.

Ahora debido a que la aplicación móvil pretendía recolectar la información de la población que se encontraba dentro del patrón de radiación, el área de influencia se enfocó en este sector, por tanto, los datos permiten hacer análisis más cualitativos de la información que cuantitativos. Sin embargo, a continuación, se presenta alguna de la información que se considera relevante.

A pesar de ser un estudio de factibilidad el proyecto pretende ofrecer un servicio, se estima costos operativos similares a los de prestadores locales. El principal prestador del servicio cuenta con servicio tanto en fibra óptica como antenas móviles y cobra en las zonas rurales por instalación **\$460.000** y mensualmente las tarifas varían dependiente de la cantidad de Megabytes que acceda el usuario. Por tal razón al momento de realizar la encuesta pregunta al usuario ¿estaría interesado en tomar un servicio de internet cuyos costos son **3Mb** por **\$35.000**, **6Mb** por **\$45.000** o **10Mb** por **\$60.000**? Estos son los precios que manejan los operadores locales por la mensualidad. Estos costos permiten estimar el retorno de la inversión en el apartado económico. A continuación, se presenta la distribución dentro de mapa, en color rojo son usuarios no interesados en el servicio, en color azul en el plan más básico, en color amarillo el intermedio y color verde los usuarios interesados en el plan de mayor ancho de banda.

Figura 29

Distribución de pobladores por servicio

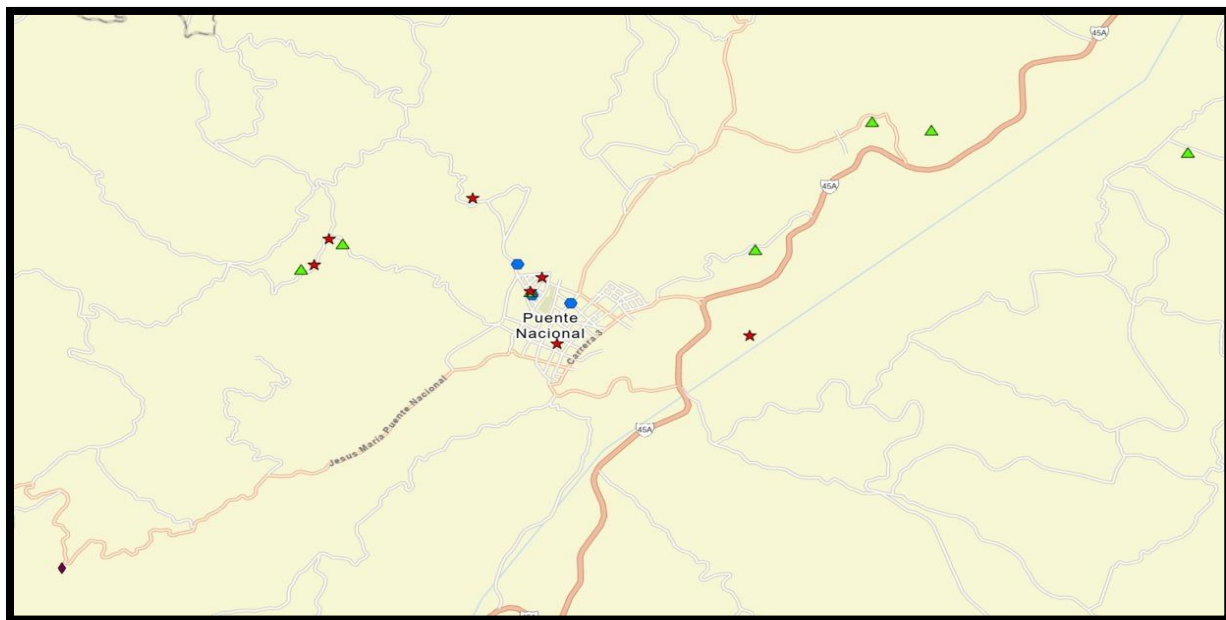


Figura 30

Convenciones de figura 29.

	1- 3Mb \$35.000	1- 3Mb \$35.000	
	2- 6Mb \$45.000	2- 6Mb \$45.000	
	3- 10 Mb \$65.000	3- 10 Mb \$65.000	

Durante la recolección de datos se encuentra que los puntos en rojo: **Usuarios no potenciales**. Pertenecen a dos tipos de usuarios. Un primer grupo, usuarios potenciales que no cuentan con servicio de internet y tampoco hacen uso de este en su mayoría personas de avanzada edad que viven solos. O un segundo grupo, usuarios que ya cuentan con servicio de internet y que, debido al costo de instalación anteriormente descrito, quedan sujetos a los operadores existentes debido a la alta inversión que requiere el servicio.

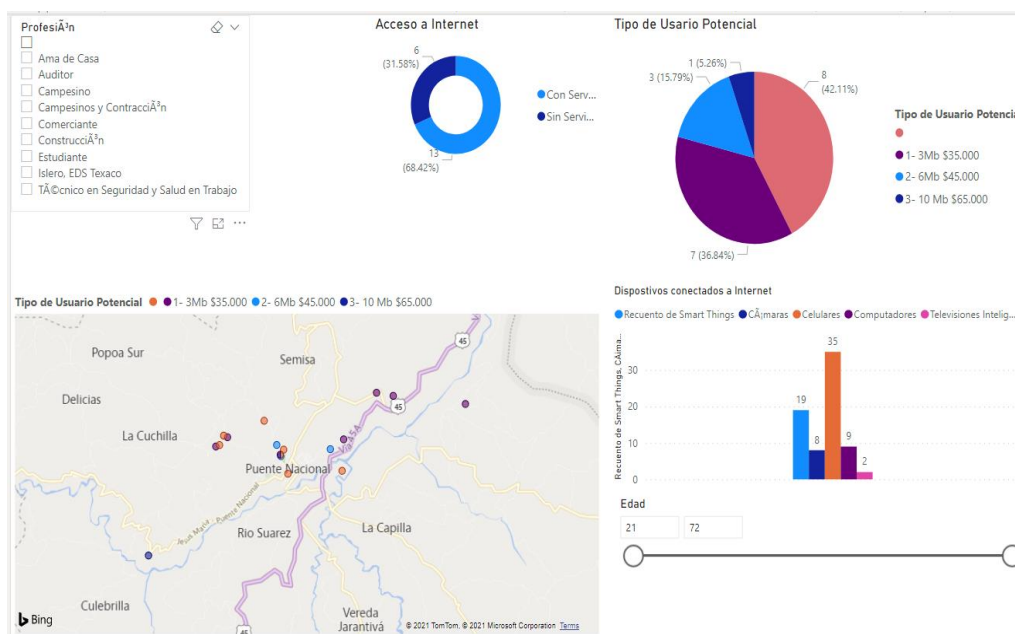
A pesar de que los datos socioeconómicos recolectados pueden estar sesgados dado que los pobladores de la zona siempre intentaban pasar los ingresos por el mínimo valor, la mayor parte de los habitantes fueron campesinos que no superaban los \$600.000 de ingreso mensual esto quiere decir que con la instalación actual \$460.000 que manejan los operadores actuales en la zona el servicio se convierte en una fuerte inversión. Pese a esto, un número considerable de pobladores contaban con el servicio y el cambio de proveedor, dados los costos, no es una opción llamativa.

Análisis de Datos Censales

Con el fin de analizar los datos de manera periódica sin la necesidad de importar datos y elaborar informes periódicos. Se opta por usar el recurso de herramientas de Business Intelligence (Power et al., 2021) en este caso se opta por Power BI propiedad de Microsoft dado que por su integración por herramientas en la nube como Google drive y toda la suite ofimática de Microsoft facilita enormemente de recolección y transformación de los datos, a través de Power Query(Webb, 2014) y DAX(Moreland et al., 2011). A continuación, se presenta parte del reporte que será incluido como anexo como figura.

Figura 31.

Captura de pantalla reporte aplicación Factibilidad con Power BI

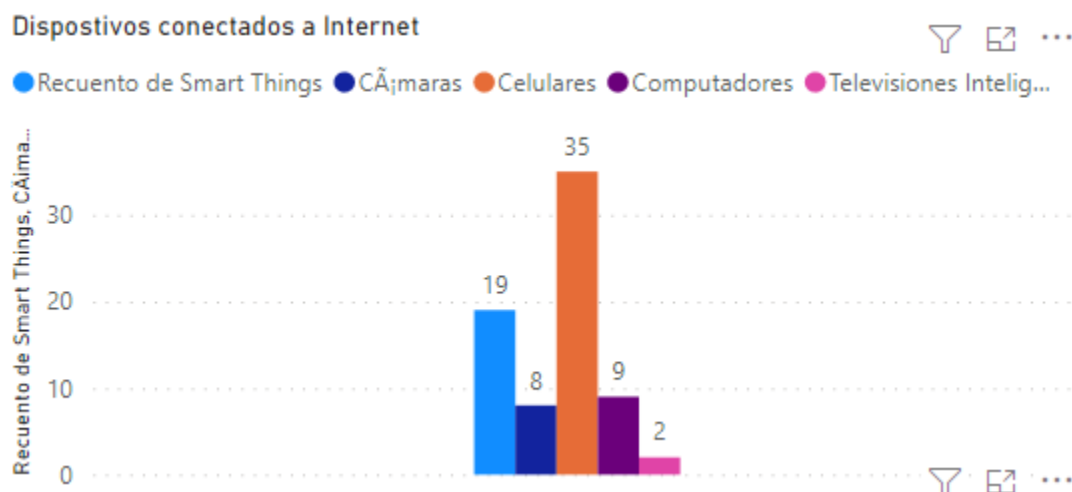


Nota: Obsérvese que alrededor de un 40% de los encuestados son usuarios NO potenciales.

A continuación, se describe los apartados más importantes del reporte elaborado.

Figura 32.

Sobre el uso de los dispositivos

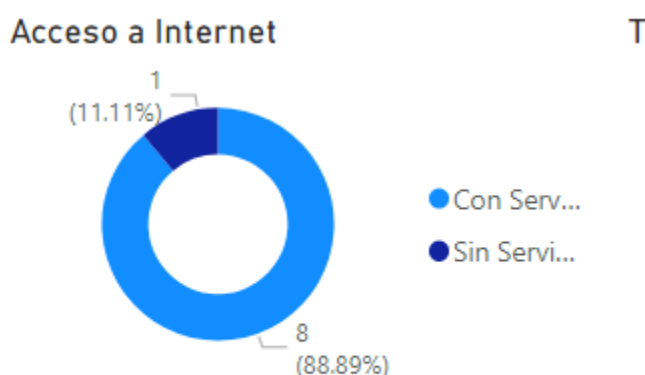


Nota: Nótese que por mucho el dispositivo conectado a internet más frecuente por los encuestados es el teléfono celular.

De la totalidad de los encuestados alrededor 30% no cuenta con servicio de internet, pero si segmentamos los datos del rango de edad vemos como de los 21-40 años. El acceso a internet aumenta porcentualmente, en la población encuestada. A continuación, se presenta figura, con los datos que genera el reporte.

Figura 33.

Acceso a internet en el rango de edad 21-40 años.



La principal conclusión de los datos anteriores es que del total de los encuestados aproximadamente el 40% de los pobladores no estaría interesado en el servicio, por tanto, no existe la cantidad suficiente de usuarios potenciales para plantear el montaje de una red y obtener ganancias. Los datos analizados a posterior asumen que cuando mínimo existen 18 usuarios potenciales interesados adquirir el plan de 3Mb como parte del ejercicio para encontrar los valores teóricos en cuanto a retorno de inversión, pero a partir de este momento encontramos que no existe factibilidad en cuanto a posibles clientes para el montaje de la red en las veredas La Cuchilla y Rincón.

Factibilidad del Servicio: Operativa

El único operador actualmente como mayorista para zona es Azteca Comunicaciones, de acuerdo con los representantes comerciales, hay pocas garantías para nuevos competidores en el campo es así como un servicio de internet por fibra dedicado de 20Mb simétricos tiene un costo de \$950.000 el reuso del servicio es de 1:1 es decir un dedicado total, pero para empresas nuevas los primeros meses se cobra una multa por el “riesgo” financiero del prestador. De este valor a pesar de hacer todo trámite para tomar el servicio, no se logra obtener la cuantía.

Dadas estas condiciones, si todos los usuarios tomaran el servicio de \$35.000 se requeriría una base de 28 usuario de 3 Mb para generar un beneficio de \$980.000 suficiente solo para cubrir los gastos de la banda dedicada. Esto afectaría el reuso típico de 1:4 es decir 4 personas que comparten la misma conexión sería muy superado, manteniendo un reuso de 1:4 con la capacidad máxima del dedicado de 20Mb sería de 18 usuarios con de 3Mb.

Para garantizar un mínimo de estabilidad en la conexión se requiere un reuso máximo de 1:4 es decir que cuatro personas compartan la misma porción de ancho de banda. Debido a que solo existe un prestador de la conexión base ubicado en el municipio, no es posible realizar un equilibrio de cargas o conseguir mejores precios. A partir de estos se concluye que, haciendo una gestión adecuada para los clientes para evitar caídas en el servicio, altas latencias y que se permita navegar como mínimo en redes sociales, sin pensar en las pérdidas por transmisión, dados los costos del dedicado, no sería rentable ya que solo se podría contar con **\$630.000** con 18 usuarios y reuso de 1:4 una pérdida mensual de **\$270.000** que no es viable y ningún prestador del servicio asumiría. La solución puede ser bien sea reducir el ancho de banda disponible (que genera una peor experiencia para el usuario) y aumentar costos de los planes de internet.

Costos Derivados de Instalación

Los equipos de radioenlace usados tienen un costo actualmente en el mercado de \$180.000 el cable requerido para la instalación de los equipos es cable en categoría 5E FTP 305 metros en 100%

cobre que reduce las pérdidas tiene un costo \$440.000 más gastos de envío este a diferencia del UTP cuenta con un blindaje entre la chaqueta plástica y el acetato que recubre los pares trenzados, que es una lámina aislante y un hilo conductor (**ver, Figura 11**) que permite tener una puesta tierra adicional a los pares trenzados, por lo que conectores requeridos en ambos extremos requieren chapa de blindaje que permita la puesta a tierra por sobre tensiones el paquete de 100 conectores tiene un costo de \$125.000 para la categoría 5E, el costo de los protectores tipo bota para asegurar el correcto sellado del conector al realizar el ponchado es de \$25.000 en un paquete de 100 unidades. A lo que habría que sumar costos operativos y herramientas: ponchadora (para realizar la instalación), el sueldo del operario, gastos de desplazamiento que no incluirán para hacer un estimado en consumibles únicamente.

Tabla 5

Costos de instalación

Equipos	Costo	C/U	Cantidad	Costo Instalación
CPE 210 x18	\$ 3.240.000,00	\$ 180.000,00	1	\$ 180.000,00
Cable FTP 305 5E	\$ 440.000,00	\$ 1.442,62	5	\$ 7.213,11
Conectores	\$ 125.000,00	\$ 1.250,00	4	\$ 5.000,00
Bota Cable	\$ 25.000,00	\$ 250,00	4	\$ 1.000,00
TOTALES	\$ 3.830.000,00			\$ 193.213,11

El costo de instalación estimado requiere una inversión inicial sin contar herramientas, comprando los elementos para los usuarios permitidos por la red **\$3.830.000**, sobre los que se debe

sumar los gastos de ancho de banda mencionado anteriormente el operador Azteca Comunicaciones ofrece 20Mb por \$900.000 al mes.

Estos datos de la mensualidad del internet dedicado sugieren una brecha importante, entre el servicio dedicado en ciudades grandes o intermedias con múltiples competidores en el sector de las telecomunicaciones. Y hacen entrever un monopolio de la empresa Azteca Comunicaciones en la venta al mayoreo del servicio de internet en la región, dado que la inversión realizada por esta fue financiada en gran parte por el proyecto estatal que pretendía dotar a los centros poblados más apartados con una mejor calidad en el servicio fijo de internet.

Si revisamos datos de otros competidores en otras ciudades de Colombia encontramos que se paga un sobre costo por el servicio, dado que los principales operadores tienen tarifas muy inferiores por el servicio, sin mencionar que se trabajan una disponibilidad del servicio superior al 99.97%. En la siguiente figura, se presenta la tabla de tarifas del costo por Mb de la empresa Claro Colombia, a nivel empresarial.

Figura 34

Tarifas Internet Dedicado Claro Colombia

Internet 16 megas	Internet 25 megas	Internet 50 megas	Internet 100 megas
Cargo fijo mensual \$ 187.000 Sin impuestos incluidos ver detalle >	Cargo fijo mensual \$ 217.000 Sin impuestos incluidos ver detalle >	Cargo fijo mensual \$ 339.000 Sin impuestos incluidos ver detalle >	Cargo fijo mensual \$ 589.000 Sin impuestos incluidos ver detalle >
Velocidad de descarga 16 Mbps	Velocidad de descarga 25 Mbps	Velocidad de descarga 50 Mbps	Velocidad de descarga 100 Mbps
Velocidad de carga 8 Mbps	Velocidad de carga 12.5 Mbps	Velocidad de carga 25 Mbps	Velocidad de carga 50 Mbps
Dominio 1 Ej: elnombredetunegocio.com	Dominio 1, Ej: elnombredetunegocio.com	Dominio 1, Ej: elnombredetunegocio.com	Dominio 1 Ej: elnombredetunegocio.com
Página web Plan Comienza	Página web Plan comienza	Página web Plan comienza	Página web Plan Comienza
Solicítalo aquí >	Solicítalo aquí >	Solicítalo aquí >	Solicítalo aquí >

Nota: No se incluye por temas de espacio en la página, pero el plan de 200Mb de internet, sin impuestos incluidos es de \$870.000 pesos mensuales. Menor al sugerido por el operador Azteca y con 10 veces mayor capacidad en el enlace. Tomado de Claro Colombia [Planes y precios de internet fibra óptica para negocios y pymes \(claro.com.co\)](http://claro.com.co)

Suponiendo que la totalidad de lo recolectado por la facturación por usuario se reinvertido, y un hipotético proveedor con costos del servicio dedicado inferiores o mayor capacidad Mb por el mismo precio el beneficio neto sin contar gasto operativo con 18 usuarios con una mensualidad de **\$35.000** generarían un ingreso de **\$630.000** con tarifas como las de Claro contratando el plan de **25Mb \$217.000**, las ganancias sin operativos mensuales serían de **\$413.000** por tanto los gastos en consumibles tardarían 10 meses en ser cubiertos, a los que es necesario adicionar gastos de mantenimientos de equipos dado el desgaste por las condiciones ambientales, personal operativo, el desgaste del material, nueva herramienta. Y hay que tener en cuenta que solo es con caso hipotético realmente con los 18 usuarios y aumentando la mensualidad a **\$45000** por 3Mb se tendría un déficit mensual de **\$90.000** solo en la tarifa de conexión.

No se genera en las condiciones actuales ningún beneficio, esto implica que no existe la posibilidad de para contratar personal, como mínimo es necesario personal de mantenimiento técnico que realicen las instalaciones, personal oficina (facturación), y como adicional por normativa se debe mantener un hosting debido a que para el servicio de **ISP** se requiere de manera obligatoria un registro TIC (Comunicaciones, 2019).

Factibilidad Técnico-Legal

Derivado al registro TIC adicional a los costos del servicio Web, se requiere que la inscripción sea por medio de una empresa debidamente identificada ante el RUT, y se cuenta con un plazo de 1 mes para realizar la petición. Ahora la Agencia Nacional del Espectro hace seguimiento del uso del espectro según la resolución 000105 de 27/03/2020 (Agencia Nacional del Espectro, 2020) se establecen

limitaciones para el uso de la banda para fines con ánimo de lucro, y también se reglamenta la potencia transmitida el límite de esta intensidad para la banda entre los como aparece en la página 41 de la resolución es de 2400Mhz a los 2483.5Mhz permiten una intensidad máxima del campo de 50mV/m medidos a 3 metros, y en la porción de banda de los 2483.5-5725Mhz donde se encuentra el resto de la banda tanto de Wi-Fi como de radioenlace a 500μV/m medidos a 3 metros. Estos generan un limitante técnico adicional para la transmisión.

No obstante, según los datos recolectados en campo, transmitiendo en la banda de los 2.4Ghz a una frecuencia de 2412Mhz encontramos que potencia **mínima** para una conexión a 1.1Km con condiciones favorables para esta conexión, generar un enlace estable y disponiendo de un ancho canal para realizar una conexión viable, es de 12dBm de potencia con Rx 10.50Mbps y Tx 4.95Mbps solo con condiciones climáticas favorables.

La legislación colombiana permite siempre que los valores de intensidad de campo no superen unos valores, estos valores son capturados con equipos que no determina la norma pero miden campo electromagnético si convertimos estos valores de 500μV/m medidos a 3 metros de distancia asumiendo una carga de 50Ω para la antena transmitiendo entre una frecuencia **2483.5-5725** Mhz el valor de potencia percibido por los equipos debe ser menor a **-73.019dBm** y dado que utilizamos la frecuencia inferior 2412Mhz la potencia máxima que podría ser usada es de aumenta a los **-13.01dBm** generando un limitante el rango 27dBm que permite el equipo a niveles muy superiores a los de la norma, esto quiere decir que si transmite una potencia de alrededor de los 500mW sin contar que la ganancia isotrópica por la antena es de 9dBi, se estaría excediendo ampliamente la legislación local, para cumplir con la legislación se requiere disminuir la potencia emitida a valores por debajo de los 10dBm, en estos niveles técnicamente no es factible realizar la conexión en el ambiente rural establecido.

Por lo anterior, es generado otro limitante por legislación al factor técnico dada las limitaciones a la potencia permitida por la legislación en Colombia (Urduy & Freddy, 2018) es factible realizar la

conexión con un servicio estable a las pruebas condiciones de las pruebas, según datos recolectados en campo se logra establecer que variando la potencia en la base y manteniendo en todo momento una potencia en la estación de 27dBm con los 9dBi que cuenta la antena la conexión se puede dar exitosamente. Al realizar el cambio de región en ambos dispositivos (base y estación) la potencia máxima de trabajo para región Colombia disminuye 23dBm (por encima de la legislación) al modificar la región de "Test_Mode" a Colombia, dado que la potencia tanto en estación como en base disminuye no es posible conectar las 2 antenas.

Dada la limitación en potencia el proyecto para conectar la zona rural en la vereda La Cuchilla y Rincón es factible en las condiciones de las pruebas, se requiere la posibilidad de transmisión a la potencia total en las estaciones, la potencia en la base puede modificarse para cumplir los parámetros de la legislación, pero no en la estación. Hay que destacar que la legislación actual que rige para Colombia permite transmitir en las frecuencias inferiores a los 2483Mhz a mayor potencia, generando un beneficio desde el apartado técnico al usar los equipos de la banda de 2.4Ghz sobre los equipos que usan frecuencia superiores por lo menos nivel de potencia permitida. A pesar de estas ventajas, los grandes fabricantes han hecho un mayor enfoque en las ventajas de los equipos de 5Ghz, dado que ofrecen mejores BitRates, para el caso particular de las zonas rurales funcionarían mejor los enlaces de 2.4Ghz tanto por legislación como por la posibilidad de atravesar pequeños obstáculos.

Realizando la actividad censal en campo, se encuentra que la mayoría de los equipos los prestadores del servicio de internet (ISP) en la zona hacen uso de los recursos disponibles para realizar la instalación, se encuentran equipos ubicados en arbolado o haciendo con varas u otros elementos que no cumplen con normas de compatibilidad eléctrica. Estos aumentan el riesgo de descargas eléctricas, se inventan con la finalidad de reducir el costo de la instalación más allá de los consumibles requeridos para la instalación básicos, pero pueden llegar a presentar un potencial riesgo dado que los equipos

funcionan como un pararrayos dado el material conductor del cable RJ-45 generalmente cobre o una aleación de este.

Conclusiones

- Para este tipo de aplicaciones en zonas rurales se recomienda utilizar equipos que usen las bandas 1-13 de 2.4Ghz en el caso de requerir un uso libre, dado que la legislación permite emitir a una mayor potencia y cada dBm adicional representa mejor conectividad y un cubrimiento potencial mayor en cuanto usuarios.
- No existe viabilidad económica para realizar un proyecto de suministro de servicio de internet para la zona debido a que los clientes existen los suficientes clientes potenciales, si existieran el número ideal de clientes no se llegarían a cubrir los costos de instalación, y no se genera beneficio suficiente para crear puestos operativos, en gran parte debido a que el precio de conexión dedicada por el único prestador en la zona es en extremo elevado la rentabilidad del proyecto es negativa en las condiciones del estudio.
- Se requiere de manera obligatoria línea de vista y visibilidad de plena entre las estaciones y la base para realizar la conexión, esta debe evaluarse en campo ninguno de las alternativas teóricas refleja la realidad de este enlace en específico, principalmente por variables como vegetación, condiciones ambientales que interceptan el enlace y no permite el vínculo. El punto ideal donde presenta una transmisión estable para los enlaces trabajados se trata de una recepción de -65dBm o superior en la estación.
- Debido al poco rango de emisión permitido por la legislación colombiana no existe viabilidad técnica para realizar la conexión del enlace en las condiciones actuales sin infringir ninguna norma vigente. Sin embargo, si se omite este apartado de limitación y se opta por no acatar

estándar establecido por la **ANE** de 50mv/m medidos a 3 metros, si es técnicamente factible realizar una conexión inalámbrica en el sector de las veredas Cuchilla y Rincón del municipio de Puente Nacional, Santander. Esto se podría incurrir en un proceso de multas, pero ante la ausencia de la autoridad en la región es posible que muchos operadores actuales incurran en violaciones de la ley por el desconocimiento de esta dado que la legislación mide campo electromagnético y no potencia emitida.

- En cuanto a los datos recolectados en campo de los pobladores de la zona, aparte de la ausencia de un beneficio económico suficiente para cubrir el mínimo personal recorrido para dar viabilidad al proyecto (personal técnico) según los datos se encuentra que no existe la cantidad suficiente de clientes potenciales para generar una rentabilidad dado que más del 40% de los entrevistados no estaban interesados en el servicio.

Referencias

- Agencia Nacional del Espectro, A. (2020). *Resolucion N° 000105 de 27-03-2020*. 74.
- Aurrecoechea, C., Campbell, A. T., & Hauw, L. (1998). A survey of QoS architectures. *Multimedia Systems*, 6(3), 138–151.
- Bloch, H. P. (2009). Ingress Protection code explained. *World Pumps*, 2009(11), 26.
- Comunicaciones, M. de las T. de la I. y las. (2019). *Ley 1978 del 25-07-2019*. 19782.
- Freeman, R. L. (2006). *Radio system design for telecommunications* (Vol. 98). John Wiley & Sons.
- Freeman, R. L., & Wiley, J. (1999). Fundamentals of telecommunications. In *Choice Reviews Online* (Vol. 37, Issue 01). <https://doi.org/10.5860/choice.37-0345>
- Ghasemi, A., Abedi, A., & Ghasemi, F. (2013). Propagation engineering in radio links design. In *Propagation Engineering in Radio Links Design* (Vol. 9781461453). <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5314-7>

- Hata, M. (1980). Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 29(3), 317–325. <https://doi.org/10.1109/T-VT.1980.23859>
- Kester, W. (2009). Understand SINAD, ENOB, SNR, THD, THD+ N, and SFDR so You Don't Get Lost in the Noise Floor. *Analog Devices Tutorial, MT-003, Rev. A*, 2–9.
<http://instrumentation.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-003.pdf>
- Memento Database*. (n.d.). Retrieved June 9, 2021, from <https://mementodatabase.com/>
- Mendelson, G. (2004). All you need to know about Power over Ethernet (PoE) and the IEEE 802.3 af Standard. *Internet Citation, [Online] Jun*.
- Moreland, K., Ayachit, U., Geveci, B., & Ma, K.-L. (2011). Dax toolkit: A proposed framework for data analysis and visualization at extreme scale. *2011 IEEE Symposium on Large Data Analysis and Visualization*, 97–104.
- Muñoz, E. C., Blanco, H. J. E., & Calderón, J. A. F. (2015). Gestión del espectro radioeléctrico en Colombia. *Tecnura*, 19(45), 159–173.
- Nelson, R., & Kleinrock, L. (1985). Spatial TDMA: A collision-free multihop channel access protocol. *IEEE Transactions on Communications*, 33(9), 934–944.
- Okumura, Y. (1968). Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio service. *Rev. Electr. Commun. Lab.*, 16, 825–873.
- Ortiz, F. L. (2010). El estándar IEEE 802.11 wireless lan. *Univ. Politécnica Madr*.
- Pedersen, G. F. (1999). COST 231-Digital mobile radio towards future generation systems. In *Cost 231-Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems* (pp. 92–96). EU.
- Pinto Mangones, Á., Torres, J., García Bello, A., Pérez, N., & Uzcátegui, J. (2016). Modelo para Estimación de Pérdidas de Propagación en Sistema de Televisión Digital Abierta. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 37(2), 67–81.
- Power, B. I., Excel, U., Desktop, P. B., & Tiles, P. (2021). Microsoft power bi. *Available Here*:

[https://Powerbi. Microsoft. Com/En-Us](https://Powerbi.Microsoft.Com/En-Us).

Qualcom. (2018). *Qualcomm ® S napdragon TM 845 Mobile Platform Capturing cinema grade videos*.

<https://www.qualcomm.com/media/documents/files/snapdragon-845-mobile-platform-product-brief.pdf>

Trevisan, M., Giordano, D., Drago, I., Munafò, M. M., & Mellia, M. (2020). Five years at the edge:

Watching internet from the isp network. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 28(2), 561–574.

Urduy, C., & Freddy, J. J. (2018). *Regulación de las señales electromagnéticas en Colombia a partir de la vigilancia y control del espectro*.

Webb, C. (2014). *Power query for power BI and Excel*. Apress.