

## Diseño de un radio enlace para la transmisión de datos desde la Universidad de Cundinamarca hasta la Unidad Agroambiental el Vergel en Facatativá

### Desing of a radio link for data transmisión from the Universidad de Cundinamarca to the Unidad Agroambiental el Vergel in Facatativá

Stiben Leonardo Ojeda Bernal<sup>1,\*</sup>, Cesar Yesid Barahona Rodriguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Cundinamarca. Diagonal 18 #20-29. Fusagasuga. Cundinamarca, Colombia.

\*Autor de correspondencia: [sojeda@ucundinamarca.edu.co](mailto:sojeda@ucundinamarca.edu.co)

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



**Recibido:** 8 julio 2022 **Aceptado:** 18 agosto 2022 **Publicado:** 1 septiembre 2022

#### Resumen

Colombia es uno de los países de Latinoamérica que aun presenta dificultades con la adopción de nuevas tecnologías que aporten a la transformación digital. Estas dificultades se presentan debido a la complejidad geográfica con la que cuenta el país, lo que impide que los beneficios de la era digital lleguen a todo el territorio. Estudios demuestran que el 50 % de los hogares colombianos no usan internet, y el 38 % de las personas tampoco tienen acceso a datos, siendo el caso donde se encuentra ubicada la Unidad Agroambiental el Vergel, una zona veredal que no cuenta con servicios de internet. Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta una alternativa para solventar el problema de comunicación, como son los sistemas de radio enlace que son sistemas que se adaptan fácilmente a las condiciones geográficas donde se implementen; asociado a esto son sistemas inalámbricos que trabajan mediante la propagación de ondas electromagnéticas. De esta manera se desea proveer con datos la unidad Agroambiental el vergel desde la Universidad de Cundinamarca en la ciudad de Facatativá, bajo el modelo Longley-Rice se obtiene como resultado que la potencia de salida de transmisión bajo las especificaciones técnicas ( $P_t = 105,95 \text{ dBm}$ ), es mayor que la potencia de salida de transmisión teórica ( $P_t = 38,58 \text{ dBm}$ ), por lo que sugiere, que los equipos del sistema de radioenlace son eficientes en un 174,62 %, concluyendo de esta manera, que el sistema responde eficientemente a la necesidad de proveer con servicios de datos o internet una zona veredal desprovista de tal beneficio.

**Palabras clave:** conectividad, radio enlace, red de datos, zonas rurales

#### Abstract

Colombia is one of the Latin American countries that still has difficulties with the adoption of new technologies that contribute to the digital transformation, these difficulties arise due to the geographical complexity of the country, which prevents the benefits of the digital era to reach the entire territory. Studies show that 50 % of Colombian households do not use the internet, and 38 % of people do not have access to data. This is the case where the Unidad Agroambiental El Vergel is located, a rural area that does not have internet services. Taking into account this, an alternative to solve the communication problem is presented, such as radio link systems, which are systems that easily adapt to the geographical conditions where they are implemented, in addition to this; they are wireless systems that work through the propagation of electromagnetic waves. In this way it is desired to provide data to the Unidad Agroambiental El Vergel from the Universidad de Cundinamarca in the city of Facatativá, under the Longley-Rice model it is obtained as a result that

the transmission output power under the technical specifications ( $P_t=105.95$  dBm), is higher than the theoretical transmission output power ( $P_t= 38.58$  dBm). This suggests that the radio-link system equipment is 174.62 % efficient, thus concluding that the system responds efficiently to the need to provide data or internet services in a rural area lacking such benefit.

**Keywords:** connectivity, radio links, data network, rural areas

## 1. Introducción

Colombia es uno de los países que por condiciones climatológicas y topográficas se contempla como uno de los territorios con mayor complejidad geográfica, convirtiéndose en una problemática que obstaculiza el desarrollo tecnológico de todo el pueblo colombiano, según un estudio anual realizado por la empresa Ciberseguridad SurfShark, el índice de calidad de vida digital (DQL-Digital Quality Life) ubica a Colombia en el puesto 65 entre 110 países que se encuentran debajo del promedio en la asequibilidad a internet. Según la directora del departamento de matemáticas aplicadas y ciencia de la computación de la Universidad del Rosario, Valerie Gauthier, asegura que “El 50 % de los hogares colombianos no usan internet y el 38 % de las personas no tienen acceso a datos, debido a que Colombia se encuentra sectorizada geográficamente, por tal motivo resulta complejo que las facilidades de la era digital lleguen a todas las regiones del país”. En relación a lo anterior, Facatativá es una de las cabeceras municipales de Colombia.

Según los datos del plan de desarrollo de Facatativá, el municipio cuenta con un porcentaje de penetración de banda ancha del 12,39 %, lo cual indica que aún se presenta un déficit en la conectividad a una red de datos o servicios ISP (Internet Service Provider), situación que se ve reflejada en la Unidad Agroambiental el Vergel, que se encuentra en una zona rural del municipio de Facatativá y que no cuenta con los beneficios de la era digital y las telecomunicaciones. Por tal motivo, se realiza un proceso investigativo donde se identifica que hay más países en donde la problemática es similar, se encontró que la solución más efectiva fue la implementación de un sistema de radioenlace. En Perú, en la provincia General Sánchez Cerro-Moquegua, en la necesidad de aportar al desarrollo educativo y la comunicación, implementan el mismo sistema de radiocomunicación para proveer con internet tres zonas rurales Querala, Torata, Chojata ya que al estar retiradas de la ciudad no disfrutaban de los servicios ISP [1]. En Ecuador, en beneficio de la salud y en pro al mejoramiento de las condiciones de vida de los pacientes, se implementa un sistema de radio enlace con el fin de poder prestar una atención medica oportuna, a los pacientes que residen en zonas rurales alejadas de la Dirección distrital de Salud 11D05 Espinosa-Salud, beneficiando no solo a la población sino también a los profesionales de la salud [2]. En Colombia, en la región de Sucre mediante radioenlaces se crea una red de retorno (BackHaul) buscan reducir la brecha digital en áreas rurales que fueron escenarios de postconflicto armado extendiendo una red WiBack desde el municipio de Chalan y Ovejas [3]. En relación a lo anterior, se determina que los radio enlaces son sistemas inalámbricos que se adaptan fácilmente a cualquier entorno, son sistemas que pueden transmitir grandes cantidades de datos eficientemente mediante ondas electromagnéticas, de esta manera, el objetivo es diseñar un sistema de radioenlace que permita transmitir datos o proveer servicios ISP a la Unida Agroambiental el Vergel, desde la Universidad de Cundinamarca en Facatativá [4].

## 2. Materiales y Métodos

Para poder realizar el cálculo del radioenlace se hizo el estudio individual de las zonas donde se instalarán las estaciones de transmisión y recepción (antenas Tx y Rx), con el fin de identificar las condiciones en las que se enfrentarán los equipos encargados del enlace de transmisión y recepción de los datos, se realiza el perfil de elevación teniendo en cuenta las coordenadas exactas donde se

espera instalar las antenas, de tal modo que se pueda conocer de manera visual, que obstáculos pueden interferir en la línea de vista entre las antenas mediante la simulación por software, así como proveer estrategias que permitan garantizar una comunicación eficiente entre los radio enlaces. Empleando el modelo Longley-Rice, se desea calcular y determinar la predicción troposférica para la transmisión de radio sobre terreno irregular en enlaces de largo-medio alcance, permitiendo, además, tener múltiples utilidades de apoyo al diseño y simulación de los enlaces, para ello se emplean cálculos como, pérdidas del sistema, ganancia de la antena, pérdidas en la trayectoria por el espacio libre, margen de desvanecimiento, potencia mínima de entrada al receptor, sensibilidad del receptor todo esto con el fin de hallar el valor de la potencia de transmisión teórica. Se considera también las especificaciones técnicas de los equipos para contrastar los cálculos de los valores técnicos, con los cálculos de los valores teóricos de la potencia de transmisión, así mismo, determinar si el sistema de radio enlace cumple con las características necesarias para proveer datos o internet a la Unidad Agroambiental el Vergel.

### *Conectividad en zonas rurales*

En Colombia se lleva a cabo el Plan Nacional de Conectividad Rural, el cual promueve condiciones de acceso a internet garantizando la disponibilidad de redes, de esta manera, contribuirá al mejoramiento de la calidad de vida, el desarrollo y la prosperidad social, mediante el despliegue de infraestructura que garantice el acceso a internet en cabeceras municipales. Sin embargo en los elementos de diagnóstico se encontró que de acuerdo a la encuesta sectorial del DANE (2018) la penetración media de internet fijo en hogares alcanzaba el 37,5 % en todo el territorio Colombiano, presentando diferencias claves entre las poblaciones urbanas y rurales. Es decir, 45,7 % en cabeceras municipales y 6,2 % en centros poblados y rurales dispersos. Según la encuesta, la principal razón por la que los hogares carecen de servicios es su elevado costo. Es decir, un 49,7 % para el total Nacional, y no tener cobertura de internet un 4,5 %, lo que sugiere la necesidad de fortalecer la infraestructura existente en algunos municipios del país, con el fin de mejorar la calidad en la prestación del servicio.

En Cundinamarca, en el 2008 el 80 % del territorio Cundinamarqués contaba con conectividad satelital, lo cual implicaba mayores costos para el departamento y muy baja calidad del servicio. La secretaria de Conectividad junto con el Ministerio Tic y el Ministerio de educación idealizaron un proyecto que consiste en instalar tecnologías inalámbricas, 60 nodos en igual número de cerros, para proveer conectividad solo a hospitales, sedes educativas, puesto de policía y algunas zonas de acceso para la comunidad. La gobernación de Cundinamarca expresa “El relieve del departamento es bastante montañoso por lo que los enlaces para conectar algunos municipios y la mayoría de zonas rurales son bastante complejas. A su vez el clima en muchas ocasiones afecta los equipos de telecomunicación generando pérdidas de equipos y por consiguiente cortes en el servicio de internet”, dado por entendido, que aún hay muchos hogares en zonas rurales que no cuentan con el beneficio del servicio de internet. Por otra parte, el municipio de Facatativá, solo cuenta con un 56,1 % (DANE 2018) de las viviendas conectadas a servicios de internet. Por tal motivo y en respuesta a una solución con la comunidad Facatativeña, el alcalde del municipio en calidad de su gobierno, presenta el proyecto “Facatativá correcta, un propósito común 2020-2024”, en el programa “Educación con calidad acceso a tecnologías de la información y la comunicación y desarrollo de ciencia, tecnología e innovación”, se contempla pasar de ese 56,1 % al 70 % de las viviendas conectadas a internet en un plazo no mayor a 4 años, proponiendo llegar a 14 zonas wifi veredales Municipales, manteniendo puntos de conectividad segura en espacios públicos. Sin embargo, a lo largo y ancho del municipio aún existen veredas o zonas rurales que no cuentan con estos servicios de internet, ya que muchos habitantes no pueden tener conexión a internet ni poseer los dispositivos de conectividad.

A grandes rasgos, la conectividad ha sido un tema importante, que se ha tomado en cuenta en los planes estratégicos de desarrollo en los últimos años. Sin embargo, dadas las circunstancias de la sectorización geográfica del país y el relieve montañoso que se pronuncia por todo el territorio colombiano, ha intervenido de manera constante en las estrategias de desarrollo para las comunidades, generando que las brechas tecnológicas de comunicación aun subsistan, de tal manera que aun en zonas rurales y sectores veredales exista el mismo panorama, donde aún no cuentan con acceso a datos o a servicios de internet por parte de los proveedores de este tipo de servicio.

### *Sistemas de radioenlace*

Cualquier interconexión entre terminales de telecomunicación realizado por ondas de radio se denomina generalmente como radioenlace, se pueden definir a su vez como radioenlaces terrestres o radioenlaces de servicio fijo, ya que hacen uso de la propagación troposférica en condiciones de visibilidad directa entre las antenas, en consecuencia, por ser sistemas inalámbricos poseen algunas limitaciones en el alcance, por tanto, en esos casos se implementan estaciones repetidoras, aunado a esto, un radioenlace está constituido por una estación de transmisión (Tx), otra estación de recepción (Rx), y un conjunto de repetidores. Un factor a tener en cuenta en estos sistemas guiados, son los fenómenos atmosféricos, ya que todo tipo de hidrometeoro puede afectar la propagación electromagnética del sistema. Sin embargo, también existen unas series de ventajas, y es que no solo proporcionan cobertura a zonas donde por dificultades técnicas, o por ubicación geográfica no se provee con algún servicio de internet, sino que también permiten transmitir grandes cantidades de datos eficientemente, al ser sistemas inalámbricos los costes de implementación en comparación con otros métodos convencionales, son relativamente bajos. Sin duda alguna, estos sistemas son de fácil implementación ya que la instalación solo depende de ubicar bien las antenas garantizando una línea de vista directa libre de cualquier tipo de obstáculo, y por último, la separación entre estaciones puede estar dada, en metros o hasta en kilómetros de distancia, superando incluso las irregularidades del terreno donde se prevé la instalación [5].

### *Ubicación geográfica*

#### *Facatativá, Cundinamarca*

Facatativá es uno de los municipios que comprende el departamento de Cundinamarca. Se encuentra geográficamente ubicado en el extremo occidental de la sabana de Bogotá D.C a 36 Km de la ciudad capital, cerrándose en dos ramificaciones de la cordillera oriental, al occidente sur por los cerros de “Santa Elena” y “Aserraderos”; al occidente sur forma el cerro de Manjuy, de occidente oriente forma los cerros “Churrasi”, “Piedrecitas” y “Mancilla”, terminando así en el camino que conduce a Subchoque. Facatativá cuenta con una extensión total de 158 Km<sup>2</sup>, con una extensión de área urbana de 6 Km<sup>2</sup>, una extensión área rural de 152 km<sup>2</sup>. Su altura a nivel del mar es de 2.586 m, con una temperatura media de aproximadamente 16°C.

#### *Vereda Macilla, Cundinamarca*

Se encuentra ubicada al nororiente del municipio de Facatativá, con un área de 1.290 hectáreas, ocupa el 8,16 % del área total del municipio. Se ubica a una altura sobre el nivel del mar aproximadamente de 2650 m, con una temperatura media de 12,1°C. Se caracteriza por ser una zona rural montañosa, llena de biodiversidad en fauna y flora.

### *Ubicación de radioenlaces*

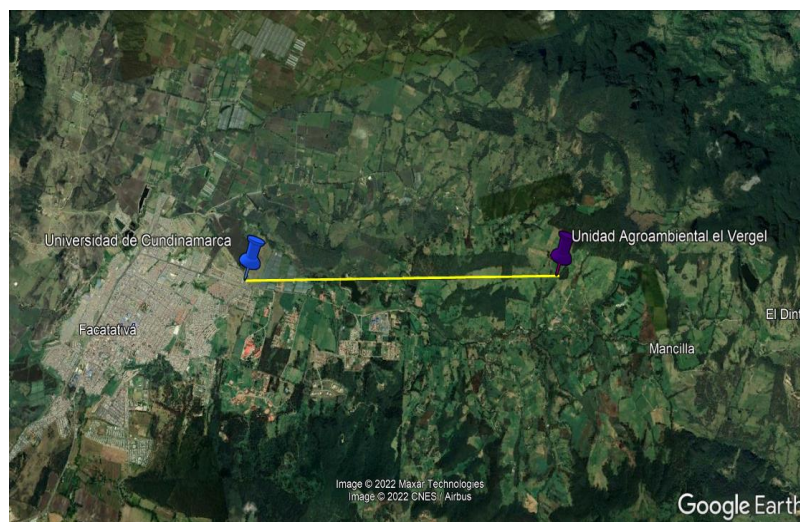
Para la proyección teórica y el estudio de campo para el diseño del radioenlace, para proveer con datos la Unidad Agroambiental el vergel desde la Universidad de Cundinamarca, es de vital



importancia considerar la topografía de la zona, asegurando puntos elevados, libres de interferencias por obstáculos. Una vez que se visualiza la ubicación de las estaciones de comunicación, lo siguiente será tomar la ubicación exacta donde se instalarán estas estaciones, una vez obtenidas las coordenadas exactas mediante un dispositivo GPS, lo que sigue es ingresar esos datos en un software de mapas, como por ejemplo Google Earth Pro, ya que permite trazar una trayectoria entre ubicaciones geo referenciadas. Aunado a esto, calcula el perfil de elevación, lo cual permite de manera visual identificar no solo la distancia entre un punto A y un punto B, sino también, cual es la condición del terreno a lo largo del enlace o la línea de vista entre las antenas encargadas de la radio propagación de los datos [6]. Mediante el apoyo de geolocalización que ofrece Google Earth, se ingresan las coordenadas (Tabla 1). De esta forma se localizan las posiciones en donde se instalarán las antenas, mientras al mismo tiempo, el software nos permite observar la línea de vista que hay entre las antenas. Así mismo, de manera visual permite identificar si hay algún tipo de obstrucción que interfiera a lo largo de la línea de vista entre las estaciones del sistema de radioenlace; aunado a esto, muestra la topografía de las zonas objetivo donde se instalara el sistema. En la Figura 2, se puede observar la ubicación de la estación en la Universidad de Cundinamarca siendo el punto más bajo y la estación en la Unidad Agroambiental el Vergel siendo el punto más alto.

**Tabla 1.** Ubicación de los radioenlaces

Población	Latitud	Longitud	Color	Estación
<b>Unidad Agroambiental el vergel</b>	4,8706333	-74,3452	Purpura	Rx
<b>Universidad de Cundinamarca</b>	4,82913	-74,35525	Azul	Tx



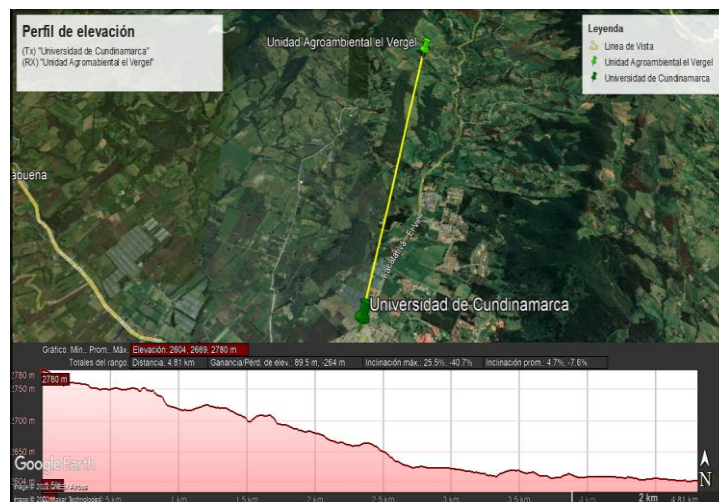
**Fig.1** Ubicación de las estaciones Tx y Rx

Según el estudio topográfico realizado, en la Tabla 2, se puede determinar que la población con un perfil de elevación más alta, es Mancilla donde precisamente se encuentra la Unidad agroambiental el vergel, de tal manera, que se considera que su ubicación es adecuada para instalar la estación Rx, la cual se encargara precisamente de recibir la información transmitida desde la Universidad de Cundinamarca. En consecuencia, en la Figura 2, se logra evidenciar que la línea de vista es adecuada y no posee, ningún tipo de obstrucción, lo que facilita la comunicación entre estaciones. Por consiguiente, se procede a hacer los cálculos necesarios que permitan mediante

especificaciones técnicas, lograr el diseño adecuado que garantice un óptimo funcionamiento del sistema [5].

**Tabla 2.** Perfil de elevación de las estaciones Tx y Rx

Población	Altitud	Unidad
<b>Unidad Agroambiental el Vergel</b>	2780	msnm
<b>Universidad de Cundinamarca</b>	2605	msnm



**Fig.2** Perfil de elevación y línea de vista entre las estaciones Tx y Rx

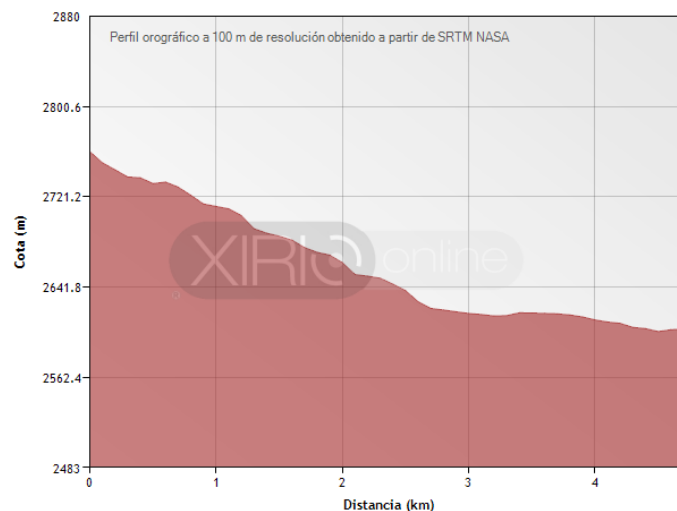
### 3. Resultados y Discusión

A continuación, se realizan los cálculos necesarios para contrastar la potencia de transmisión del sistema frente a parámetros técnicos junto con los parámetros teóricos. Para ello, lo que se hace es considerar las especificaciones técnicas para el cálculo de la potencia de salida de transmisión del radioenlace, y luego hacer el balance de la potencia de salida de transmisión bajo los parámetros teóricos, con el fin de contrastar ambos resultados calculados previamente, de tal manera que se pueda llegar a comprobar y determinar si el sistema bajo parámetros técnicos superan las expectativas teóricas.

#### *Cálculo de radioenlace (Análisis técnico)*

Bajo el uso del software gratuito XIRIO online, se realiza la simulación de los radioenlaces para conectar la estación transmisora en la Universidad de Cundinamarca con la estación receptora en la Unidad Agroambiental el vergel en la vereda de Mancilla, en el municipio de Facatativá, con el fin de confirmar el perfil de elevación, la distancia que separan en kilómetros las estaciones y la línea de vista. Para ello, se ingresan los datos exactos de las ubicaciones de las zonas objetivo donde se instalarán las estaciones. También se ingresan especificaciones técnicas de los equipos de transmisión y recepción de datos, junto con las características físicas de las antenas. Esto permitirá que el software tenga la información necesaria para simular el recorrido que tendrá la señal electromagnética al ser transmitida por el sistema de radioenlace, siendo el objetivo primordial de

la simulación, encontrar obstáculos que causen interferencia en la misma ya que las señales Wireless pueden tener problemas para atravesar elementos sólidos [7]; cuantos más objetos hayan entre el transmisor y el receptor, mayor es la posibilidad de que la señal pierda potencia de tal manera que se degrade a lo largo de la trayectoria. La simulación obtenida por el software de Xirio online se muestra en la Figura 3, en contraste con la simulación realizada en el software de Google Earth de la Figura 2, muestra que, los datos simulados en ambos softwares dan un resultado prácticamente igual, la altura máxima es de 2780 msnm para la Unidad Agroambiental el vergel y 2650 msnm para la Universidad Cundinamarca, considerando también que hay una distancia entre las zonas objetivo de aproximadamente 4.731 m, lo que corresponde a una distancia de 4,731 Km. Para realizar el cálculo de la zona de Fresnel, se debe considerar la distancia en kilómetros y la frecuencia en Giga Hertz. Por tal motivo la ecuación para su cálculo se determina de la siguiente manera:



**Fig.3** Verificación del perfil de elevación en el software Xirio online

**Tabla 3.** Valores para determinar el valor del radio de la primera zona de Fresnel

Nombre	Símbolo	Valor	Unidades
Distancia	d	4,7	Km
Frecuencia	f	5,8	GHz

$$r = 17,32 \sqrt{\frac{d(\text{Km})}{4f(\text{GHz})}} \quad (1)$$

$$r = 7,79 \text{ m} \quad (2)$$

$$r (60\%) = 4,6\text{m} \quad (3)$$

Para el radio enlace de 4,7 Km a una frecuencia de 5,8 GHz, el radio de la zona de Fresnel en el punto medio del enlace, debe tener 7,79 m según lo calculado en la Ecuación 2. Para asegurar que la zona de Fresnel sea aceptable según el estándar en el diseño de radioenlaces, la primera zona de Fresnel previamente calculada, debe estar despejada un 60 % a lo largo de toda la extensión del enlace. Es decir, que se debe garantizar que la zona de Fresnel esté totalmente despejada de cualquier objeto que obstruya la comunicación entre los radioenlaces [8]. En este caso, el 60 %

corresponde a 4,6 m como muestra la Ecuación 3. De esta manera, la altura del mástil que sostendrá la antena debe medir entre 4,6 m a 5 m. Así mismo, considerando las especificaciones técnicas de los equipos estimados para el sistema de radioenlace, se establecen los cálculos para determinar la potencia de transmisión, de esta manera obtener el resultado de la proyección bajo especificaciones técnicas.

**Tabla 4.** Especificaciones técnicas de los equipos de transmisión

Características	Valor	Unidad
<b>Rango de frecuencias</b>	5180 - 5800	MHz
<b>Potencia de transmisión</b>	27	dBm
<b>Ganancia de la antena</b>	22	dB
<b>Sensibilidad de recepción</b>	-96	dB

Al buscar un análisis técnico en base a las especificaciones de las tecnologías, es necesario contemplar, la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE), que es de 0,5 W lo que equivale respectivamente a 27 dBm. En ese mismo contexto, para completar los valores de la Ecuación 6, se deben calcular primeramente las pérdidas, y así obtener el valor de la potencia de portadora de transmisión de los radioenlaces según las especificaciones técnicas.

**Tabla 5.** Valores para encontrar las pérdidas

Nombre	Símbolo	Valor	Unidades
<b>Pérdidas de trayectoria por espacio libre</b>	Lp	121,11	dB
<b>Pérdidas en alimentador de guía de onda</b>	Lf	0	dB
<b>Pérdida total por acoplamiento o por ramificación</b>	Lb	3	dB

$$L = L_p + L_f + L_b \quad (4)$$

$$L = 118,11 \text{ dB} \quad (5)$$

**Tabla 6.** Especificaciones técnicas para calcular la potencia de portadora de transmisión

Nombre	Símbolo	Valor	Unidades
<b>Potencia Isotrópica Radiada equivalente</b>	PIRE	27	dBm
<b>Pérdidas</b>	L	118,11	dB
<b>Ganancia de la antena</b>	Ga	22	dB

$$P_t = \text{PIRE} + L - G_a \quad (6)$$



$$P_t = 123,11 \text{ dBm} \quad (7)$$

En efecto, tomando el resultado del cálculo de las pérdidas de la Ecuación 5, la potencia de portadora de transmisión es de 123,11 dBm, Ecuación 7.

*Cálculo de radioenlace (análisis teórico)*

Mediante los valores de la Señal Recibida y Potencia Isotrópica Radiada Equivalente se determina el valor de la Ganancia del sistema, que se define como la diferencia entre la potencia del transmisor y la sensibilidad del transmisor [9]. En términos generales, la ecuación de la ganancia del sistema es [10].

**Tabla 7.** Valores para calcular la ganancia del sistema

Nombre	Símbolo	Valor	Unidades
<b>Ganancias</b>			
<b>Ganancia de la antena de transmisión</b>	At	22	dB
<b>Ganancia de la antena de recepción</b>	Ar	22	dB
<b>Pérdidas</b>			
<b>Pérdidas de trayectoria por espacio libre</b>	Lp	121,11	dB
<b>Pérdidas en alimentador de guía de onda</b>	Lf	0	dB
<b>Pérdida total por acoplamiento o por ramificación</b>	Lb	6	dB
<b>Margen de desvanecimiento para determinar objeto de confiabilidad</b>	Fm	-6,46	dB

$$L_p = 92.4 + 20 \log(f) + 20 \log(D) \quad (8)$$

$$L_p = 121,11 \text{ dB} \quad (9)$$

$$F_m = 30 \log(D) + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad (10)$$

$$F_m = 76,65 \text{ dB} \quad (11)$$

$$G_s = P_t - C_{\min} \geq F_m + L_p + L_f + L_b - A_t - A_r \quad (12)$$

$$G_s = 76,65 \text{ dB} \quad (13)$$

Los resultados indican que para que el sistema funcione con confiabilidad de 99,99 % dada las condiciones del terreno, red de distribución, líneas de transmisión y antenas, la potencia de salida del transmisor, debe ser como mínimo de 76,65 dB mayor que la potencia de la señal recibida. De esto se desprende, el cálculo de portadora a ruido, que es quizás uno de los parámetros más importantes que se considera al evaluar el funcionamiento de un sistema de comunicación inalámbrico, de tal manera que, la potencia mínima de portadora de banda ancha  $C_{min}$  a la entrada de un receptor de salida útil de banda base, se llama *umbral de receptor* o *sensibilidad del receptor*. Este umbral depende de la potencia del ruido de banda ancha presente de la entrada de un receptor, antes de poder calcular  $C_{min}$  se debe determinar la potencia de ruido en la entrada [10].

**Tabla 8.** Valores para hallar la potencia de ruido

Nombre	Símbolo	Valor	Unidades
Constante de Boltzmann	K	$1,38 \times 10^{-23}$	J/K
Temperatura del ruido del receptor	T	292,15	K
Ancho de banda del ruido	B	$6,25 \times 10^8$	Hz

$$N = 10 \log \frac{KT}{0.001} + 10 \log B \quad (14)$$

$$N = -8,60 \times 10^1 \text{ Watts} \quad (15)$$

Para calcular la potencia mínima de entrada al receptor ( $C_{min}$ ) dado por la Ecuación 12, es importante tener en cuenta los valores.

**Tabla 9.** Valores para hallar la potencia mínima de entrada al receptor

Nombre	Símbolo	Valor	Unidades
Sensibilidad del receptor	C/N	-96	dBm
Potencia de ruido	N	$-8,60 \times 10^1$	dBm

$$C_{min} = \frac{C}{N} + N \quad (16)$$

$$C_{min} = -181,99 \quad (17)$$

En contraste, solo queda encontrar el valor de la Potencia de salida del transmisor ( $P_t$ ), para ello lo que resta es despejar  $P_t$  de la Ecuación 12, remplazar los valores ya encontrados, así que, para determinar el valor teórico de la potencia de salida, la potencia mínima de portadora de transmisión es [7].

**Tabla 10.** Valores para hallar la potencia mínima de portadora de transmisión

Nombre	Símbolo	Valor	Unidades
Ganancia del sistema	Gs	76,65	dBm
Potencia mínima de entrada al receptor	Cmin	-181,99	dBm

$$Pt = Gs + Cmin \quad (18)$$

$$Pt = -105,34 \text{ dBm} \quad (19)$$

Mediante los resultados obtenidos, se debe garantizar que la diferencia de la potencia de portadora de transmisión entre la potencia mínima de entrada al receptor sea mayor o igual que la diferencia entre las pérdidas y las ganancias (Ecuación 12), lo que permitirá determinar que la ganancia del sistema funcione con la confiabilidad del 99,99 % dadas las condiciones del terreno, redes de distribución líneas de transmisión y antenas [10].

$$Gs = Pt - Cmin \geq \text{Perdidas} - \text{Ganancias} \quad (20)$$

$$Gs = 76,65 \geq 76,65 \quad (21)$$

En efecto, el cálculo de la ganancia del sistema es correcto, lo cual demuestra, que la potencia de salida de transmisión bajo las especificaciones técnicas ( $Pt = 123,11 \text{ dBm}$ ) es mayor que la potencia de salida de transmisión teórica ( $Pt = -105,34 \text{ dBm}$ ). Por lo que sugiere, que los equipos del sistema de radioenlace, en virtud de los resultados obtenidos, son sistemas realmente eficientes ya que superan la potencia de transmisión esperada teóricamente; lo que quiere decir, que si se pensara en implementar el sistema de radio enlace, este responderá asertivamente como una solución al problema de conectividad a datos o internet.

#### 4. Conclusiones

Las comprobaciones matemáticas muestran que mediante el análisis técnico y el análisis teórico del sistema de radio enlace, en virtud de los resultados obtenidos por parámetros técnicos, son más eficientes en relación que los obtenidos mediante los parámetros teóricos. La respuesta del sistema sea más apropiada para poder asegurar una probabilidad del 99,99 % de éxito en la transmisión de datos o de internet, para que los usuarios que accedan a ella realmente se vean beneficiados de la cobertura. En este caso, los sistemas de radio enlace responden con una potencia de 123,11 dBm, atendiendo a estas consideraciones, la investigación concluye que la Universidad de Cundinamarca podría transmitir datos o internet mediante el sistema de radio enlace a la Unidad agroambiental el vergel beneficiando de igual manera con cobertura toda la zona veredal gracias a las frecuencias libres de 5 GHz.

#### Referencias

1. Sobrino, M.A., *Diseño de un sistema de radioenlace para brindar servicios de datos a los pueblos más alejados de la provincia General Sánchez Cerro-Moquegua. Tesis de Grado*, 2020. Universidad Nacional de Piura.

2. Gahona, A.R., *Diseño de radioenlaces para la provisión de internet en siete subcentros de salud del cantón Espíndola en la provincia de Loja*. Tesis de Maestría, 2016. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador.
3. Cortés, C., Montaña, M., Osorio, A., Guerrero, N., *Diseño de una red BackHaul autogestionable para conectividad rural en sucre*. Revista UIS Ingenierías, 2020. p. 67-78. DOI: <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n1-2021006>.
4. Khalil, M., Shamsi, Z., Shabbir, A., Samad, A., *A comparative study of rural networking solutions for global internet access*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/CISCT.2019.8777422>.
5. Panigrahi, D., Dutta, P., Jaiswal, S., Naidu, K.V.M., Rastogi, R., *Minimum cost topology construction for rural wireless mesh networks*. Proceedings-IEEE INFOCOM, 2008. p. 1445-1453. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOM.2007.128>.
6. Brown, P.E., Czapiga, K., Jotshi, A., Kanza, Y., Kounev, V., *Interactive Testing of Line-of-Sight and Fresnel Zone Clearance for Planning Microwave Backhaul Links and 5G Networks*. GIS: Proceedings of the ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, 2020. p. 143-146. DOI: <https://doi.org/10.1145/3397536.3422332>.
7. Chebrolu, K., Raman, B., Sen, S., *Long-distance 802.11b links: Performance measurements and experience,* in *Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM*, 2006. **2006**: p. 74-85.
8. Michler, O., *Outdoor radiolinks for 2.4 GHz-frequencies: Measurement results and experiences within the radio communication network 'intermobil Region Dresden*. Advances in Radio Science, 2003. **1**: p. 301-307. DOI: <https://doi.org/10.5194/ars-1-301-2003>.
9. Hilt, A., *Availability and fade margin calculations for 5G microwave and millimeter-wave anyhaul links*. Applied Sciences, 2019. **9**(23): DOI: <https://doi.org/10.3390/app9235240>.
10. Tomasi, W., *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Cuarta Ed., 2003. México: Pearson Educación. ISBN: 970-26-0316-1

### Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló gracias al apoyo de la Universidad de Cundinamarca y el grupo de Investigación GISTFA (Grupo de Investigación de Sistemas y Tecnología de Facatativá), Colombia

### Conflicto de Intereses

Los autores consideran que no existen conflictos de intereses.

### Contribución de los autores

**Stiben leonardo Ojeda Bernal**. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1971-9475>

Diseño y desarrollo de los experimentos. Redacción del manuscrito.

**Cesar Yesid Barahona Rodríguez**. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7673-7381>

Diseño y desarrollo de los experimentos. Redacción del manuscrito.