

Diseño de una infraestructura inalámbrica metropolitana para interconectar los centros de desarrollo infantil y bienestar familiar en Ocaña, Norte de Santander

Ramón Hernán Bacca Picón

Asesor

Fabián Ranulfo Cuesta Quintero

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI
Ingeniería de Telecomunicaciones

2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, por ser mi pilar incondicional en cada paso de este camino. A mi madre Angelina Picón Carrascal por su amor, sacrificio y apoyo constante; a mi tío Jesús Edgardo Picón Carrascal por su dedicación y ser mi soporte en este proceso académico; a mis abuelos Ramon Adolfo Picón Vega y Fanny María Carrascal Vega, por su amor incondicional desde mis inicios de vida que, de una u otra forma, siempre creyeron en mí. A mi novia Myshell Johanna Oropeza Castro, por ser luz en los días difíciles, por su paciencia, amor incondicional y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Su compañía ha sido un sostén invaluable en este camino. Gracias por enseñarme que los sueños se alcanzan con esfuerzo, constancia y corazón.

Agradecimientos

Agradezco, en primer lugar, a Dios por darme la fuerza y sabiduría necesarias para culminar este proceso. A mis profesores y tutores, por su orientación, exigencia y enseñanzas que marcaron mi formación. A mis compañeros de estudio, por compartir este camino lleno de aprendizajes y desafíos. Y, sobre todo, a mi familia, por su amor incondicional y motivación en los momentos más difíciles. Este logro es tan mío como de ustedes.

Resumen

El presente trabajo desarrolla el diseño de una infraestructura inalámbrica metropolitana para interconectar los Centros de Desarrollo Infantil (CDI) y Bienestar Familiar en Ocaña, Norte de Santander. Este proyecto tiene como objetivo optimizar la conectividad tecnológica entre estas instituciones, mejorando su eficiencia operativa y fortaleciendo los servicios educativos, asistenciales y administrativos ofrecidos a niños en situación de vulnerabilidad. La propuesta se basa en la caracterización de los perfiles topográficos y el uso de tecnologías inalámbricas avanzadas que operan en bandas ISM (Industrial, Científica y Médica), aprovechando su versatilidad y rentabilidad para la implementación en áreas geográficamente dispersas. Estas tecnologías son evaluadas mediante simulaciones técnicas para garantizar la viabilidad y sostenibilidad del diseño. Además, el proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 3 (Salud y Bienestar) y 4 (Educación de Calidad), promoviendo la equidad en el acceso a recursos digitales y servicios esenciales. Este trabajo ofrece una solución tecnológica robusta y escalable que responde a los desafíos geográficos y económicos de la región, contribuyendo significativamente al cierre de la brecha digital y al desarrollo socioeconómico de Ocaña.

Palabras clave: Infraestructura, tecnología, inalámbrico, topografía.

Abstract

This work develops the design of a metropolitan wireless infrastructure to interconnect the Child Development Centers (CDI) and Family Welfare Centers in Ocaña, Norte de Santander. This project aims to optimize technological connectivity between these institutions, improving their operational efficiency and strengthening the educational, healthcare, and administrative services offered to children in vulnerable situations. The proposal is based on the characterization of topographic profiles and the use of advanced wireless technologies operating in ISM (Industrial, Scientific, and Medical) bands, leveraging their versatility and cost-effectiveness for implementation in geographically dispersed areas. These technologies are evaluated through technical simulations to ensure the viability and sustainability of the design. Furthermore, the project aligns with Sustainable Development Goals 3 (Good Health and Well-being) and 4 (Quality Education), promoting equity in access to digital resources and essential services. This project offers a robust and scalable technological solution that addresses the region's geographic and economic challenges, significantly contributing to closing the digital divide and supporting the socioeconomic development of Ocaña.

Keywords: Infrastructure, technology, wireless, topography.

Tabla de Contenido

Introducción	10
Definición del problema	12
Antecedentes del problema	12
Formulación del problema	12
Descripción del problema	13
Justificación	14
Objetivos.....	16
Objetivo General.....	16
Objetivos Específicos.....	16
Marco referencial	17
Marco teórico	17
Marco conceptual.....	18
Propagación de las Ondas de Radio	19
Bandas ISM.....	21
Zona Fresnel	22
La Curvatura de la Tierra	23
Ancho de Banda y Canales de Comunicación.....	25
Perfiles Topográficos	27
Marco de Estado del Arte.....	28
Contexto Internacional	28
Contexto Nacional (Colombia)	29
Contexto Local (Ocaña, Norte de Santander)	29

Esquema Temático.....	31
Determinación de alturas y análisis de perfiles topográficos de los nodos.....	31
Análisis de Línea de Vista en Infraestructuras Inalámbricas.....	31
Factores de Pérdida en la Propagación de Radiofrecuencia.....	37
Topología propuesta a través del simulador.....	38
Configuraciones.....	40
Configuración de los Servidores.....	41
Configuración de los Puntos de Acceso.....	44
Configuración de los Switch donde se alojan los servidores.....	46
Configuración de uno de los Switch que representa los CDIs de la topología.....	52
Pruebas de comunicación entre los nodos.....	59
Ping desde el PC ubicado en el CDI dorado has cada uno de los servidores.....	59
Telnet y Ping desde el Switch ubicado en pueblo nuevo hasta cada uno de los Switch que representan cada CDI.....	61
Resultados o impactos esperados.....	65
Divulgación.....	66
Conclusiones.....	67
Bibliografía.....	69

Listas de Tablas

Tabla 1 <i>Cálculo de altitud de los nodos</i>	32
Tabla 2 <i>Cálculo, pérdida de propagación del proyecto</i>	38
Tabla 3 <i>Direccionamiento IP servidores</i>	40
Tabla 4 <i>Direccionamiento IP equipos inalámbricos</i>	40
Tabla 5 <i>Direccionamiento IP Switch</i>	40

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Tipos de propagación de ondas de radio.</i>	19
Figura 2 <i>Propagación de señales específicas en las bandas ISM</i>	21
Figura 3 <i>Zonas de Fresnel en un radioenlace</i>	23
Figura 4 <i>Influencia de la curvatura terrestre y refracción troposférica</i>	25
Figura 5 <i>Ancho de Banda y Canales de Comunicación</i>	26
Figura 6 <i>Perfiles Fotográficos</i>	27
Figura 7 <i>Vista aérea, CDI y Bienestar Familiar en Ocaña</i>	31
Figura 8 <i>Perfil de Elevación entre Torre_Pueblo Nuevo y Cdi_Dorado</i>	32
Figura 9 <i>Perfil de Elevación entre Torre_Pueblo Nuevo e ICBF</i>	33
Figura 10 <i>Perfil de elevación entre Torre_Pueblo Nuevo y CDI_LLano,</i>	34
Figura 11 <i>Perfil de elevación entre Torre_Pueblo Nuevo y Cristo-Rey</i>	35
Figura 12 <i>Perfil de elevación entre torre_pueblo nuevo y cdi_piñuela</i>	36
Figura 13 <i>Perfil de elevación entre torre_Pueblo Nuevo y cdi_Ocaña</i>	37
Figura 14 <i>Configuración de Parámetros</i>	39
Figura 15 <i>DNS</i>	42
Figura 16 <i>DHCP</i>	42
Figura 17 <i>WEB</i>	43
Figura 18 <i>EMAIL</i>	43
Figura 19 <i>FTP</i>	44
Figura 20 <i>Pueblo_Nuevo-CDIs</i>	45
Figura 21 <i>CDI_Dorado</i>	46

Introducción

En el contexto actual, el acceso eficiente a las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) es fundamental para impulsar el desarrollo social y económico en las regiones más vulnerables. En el municipio de Ocaña, Norte de Santander, los Centros de Desarrollo Infantil (CDI) y Bienestar Familiar desempeñan un papel esencial en la educación y atención de niños en situación de riesgo, lo cual exige una infraestructura tecnológica robusta para optimizar sus servicios y garantizar la conectividad entre estas instituciones.

Este proyecto se enfoca en diseñar una infraestructura inalámbrica metropolitana, cuyo objetivo principal es interconectar los centros mencionados y mejorar la eficiencia en la gestión de la información, así como en la provisión de servicios. El acceso a redes de comunicación avanzadas facilita tanto las actividades pedagógicas como las administrativas, además de optimizar los servicios de salud y bienestar que se prestan en estas instituciones.

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el despliegue de infraestructura tecnológica es clave para el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 4 (Educación de Calidad) y el ODS 3 (Salud y Bienestar), los cuales promueven la equidad en el acceso a servicios educativos y de salud (Naciones Unidas, 2015). La implementación de una red inalámbrica no solo mejorará las comunicaciones interinstitucionales, sino que también contribuirá a cerrar la brecha digital y potenciar el desarrollo socioeconómico de la región.

Para alcanzar este propósito, el estudio se plantea tres objetivos específicos. En primera instancia, se determinará la tecnología más adecuada y las especificaciones técnicas, como la altura de las estructuras necesarias, para garantizar un transporte eficiente y estable de la señal de comunicación entre los centros. En segunda medida, se realizará una caracterización detallada de

los perfiles topográficos que conectan los Centros de Desarrollo Infantil, dado que las condiciones del terreno influyen en la propagación de las señales inalámbricas (Rappaport, 2002). Finalmente, se llevará a cabo la simulación de la topología de la red metropolitana, lo que permitirá validar su rendimiento y factibilidad técnica antes de su implementación definitiva.

El análisis abordará tecnologías inalámbricas avanzadas como WiMAX, enlaces de microondas y LTE, operando en bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical), las cuales han demostrado eficacia en la interconexión de áreas geográficamente dispersas (Goldsmith, 2005). Estas bandas, al ser de uso libre, permiten reducir costos en la implementación y son ampliamente utilizadas en aplicaciones inalámbricas debido a su robustez y versatilidad. Además, se considerarán desafíos técnicos, económicos y geográficos para garantizar que la solución propuesta sea viable y sostenible.

El proyecto proporciona una propuesta integral para fortalecer la conectividad tecnológica en los Centros de Desarrollo Infantil y Bienestar Familiar de Ocaña, Norte de Santander. La implementación de esta infraestructura no solo busca mejorar la comunicación y la gestión de los servicios, sino que también pretende generar un impacto positivo y duradero en el desarrollo educativo y social de la comunidad.

Definición del Problema

Antecedentes del Problema

Los Centros de Desarrollo Infantil (CDI) son instituciones creadas con el propósito de garantizar el desarrollo integral de niños en situación de vulnerabilidad social. Estos centros desempeñan un papel crucial al proporcionar servicios educativos, nutricionales y de bienestar. Sin embargo, la falta de acceso a recursos adecuados, en particular tecnológicos, perpetúa las desigualdades y limita las oportunidades de desarrollo desde edades tempranas (UNICEF, 2020).

En Colombia, el gobierno nacional ha reconocido la importancia de fortalecer los CDI para brindar servicios de calidad a las poblaciones más vulnerables. A pesar de estos esfuerzos, muchos de estos centros aún enfrentan deficiencias en infraestructura tecnológica, lo cual impide una coordinación eficiente y un acceso equitativo a plataformas educativas y de gestión (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

La integración de las TIC se presenta como una solución clave para transformar esta realidad. Al interconectar los CDI mediante una infraestructura inalámbrica, es posible crear un entorno colaborativo donde se compartan recursos educativos, programas de salud y herramientas de gestión de manera eficiente. Esto no solo permite optimizar el funcionamiento de los centros, sino que también se alinea con iniciativas internacionales que promueven el uso de la tecnología para el desarrollo social (ITU, 2019).

Formulación del Problema

¿Cómo diseñar una infraestructura inalámbrica metropolitana para interconectar los Centros de Desarrollo Infantil y Bienestar Familiar en Ocaña, Norte de Santander, mejorando la calidad de sus servicios educativos y sociales?

Descripción del Problema

Los Centros de Desarrollo Infantil (CDI) son instituciones creadas con el propósito de garantizar el desarrollo integral de niños en situación de vulnerabilidad social. Estos centros desempeñan un papel crucial al proporcionar servicios educativos, nutricionales y de bienestar. Sin embargo, la falta de acceso a recursos adecuados, en particular tecnológicos, perpetúa las desigualdades y limita las oportunidades de desarrollo desde edades tempranas (UNICEF, 2020).

En Colombia, el gobierno nacional ha reconocido la importancia de fortalecer los CDI para brindar servicios de calidad a las poblaciones más vulnerables. A pesar de estos esfuerzos, muchos de estos centros aún enfrentan deficiencias en infraestructura tecnológica, lo cual impide una coordinación eficiente y un acceso equitativo a plataformas educativas y de gestión (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

La integración de las TIC se presenta como una solución clave para transformar esta realidad. Al interconectar los CDI mediante una infraestructura inalámbrica, es posible crear un entorno colaborativo donde se compartan recursos educativos, programas de salud y herramientas de gestión de manera eficiente. Esto no solo permite optimizar el funcionamiento de los centros, sino que también se alinea con iniciativas internacionales que promueven el uso de la tecnología para el desarrollo social (ITU, 2019).

Justificación

La propuesta de diseñar una infraestructura inalámbrica metropolitana para interconectar los Centros de Desarrollo Infantil (CDI) y Bienestar Familiar en Ocaña, Norte de Santander, responde a una necesidad crítica de optimizar la eficiencia y efectividad de estas instituciones. Los CDI juegan un rol vital en la protección y desarrollo integral de los niños en situación de vulnerabilidad, proporcionando servicios educativos y asistenciales indispensables para su bienestar (UNICEF, 2020). No obstante, la falta de conectividad y coordinación entre estos centros limita la capacidad para maximizar su impacto.

El diseño de una red inalámbrica metropolitana permitirá una comunicación fluida y colaborativa entre los CDI. Esto facilitará el intercambio de recursos educativos y asistenciales, la coordinación de programas de desarrollo infantil y la aplicación de mejores prácticas en la gestión de los centros. De acuerdo con la OECD (2015), una infraestructura tecnológica eficiente mejora considerablemente los resultados educativos y sociales al proporcionar acceso equitativo a recursos digitales.

Además, la conectividad permitirá implementar plataformas educativas en línea y recursos digitales adaptados a las necesidades específicas de los niños, lo cual contribuirá a cerrar las brechas de desigualdad en el acceso a la educación (World Bank, 2018). La ITU (2019) enfatiza que las TIC son herramientas clave para reducir las desigualdades sociales y promover la equidad en contextos educativos y asistenciales.

Esta propuesta también se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente el ODS 4 (Educación de Calidad) y el ODS 3 (Salud y Bienestar). El ODS 4 promueve una educación inclusiva, equitativa y de calidad, mientras que el ODS 3 busca garantizar el bienestar y la salud en todas las edades (United Nations, 2015). La red

metropolitana no solo mejorará la operatividad y la coordinación de los servicios ofrecidos, sino que también fomentará el desarrollo profesional del personal de los CDI, permitiendo capacitaciones virtuales y el acceso a recursos especializados.

Por consiguiente, la propuesta se fundamenta en su sostenibilidad y escalabilidad. Las soluciones inalámbricas, al ser rentables y adaptables a nuevas tecnologías, permiten una implementación progresiva y actualizaciones futuras con menor inversión en infraestructura física (ITU, 2019). De este modo, la red no solo beneficiará a los CDI en el presente, sino que también garantizará una base tecnológica sólida y adaptable para atender las necesidades futuras de la comunidad infantil en Ocaña.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar una infraestructura inalámbrica metropolitana para interconectar los centros de desarrollo infantil y bienestar familiar en Ocaña, Norte de Santander.

Objetivos Específicos

Determinar la tecnología óptima y altura de las estructuras para el transporte de servicio de comunicaciones de los centros.

Caracterización de los perfiles topográficos entre los centros de desarrollo infantil con bienestar familiar.

Elaborar la topología simulada de la red metropolitana interconectando los centros de desarrollo infantil

Marco Referencial

Marco Teórico

Selección y Despliegue de Tecnologías Inalámbricas: La elección de tecnologías inalámbricas adecuadas requiere una evaluación rigurosa de aspectos técnicos, económicos y ambientales. Entre las opciones disponibles, tecnologías como WiMAX, LTE y enlaces de microondas se destacan por su capacidad de transmisión de datos, eficiencia energética y escalabilidad:

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access): Permite una cobertura de largo alcance y una velocidad adecuada para conectar instituciones distribuidas geográficamente. Esta tecnología opera en bandas ISM, permitiendo despliegues rentables en áreas rurales y suburbanas (Goldsmith, 2005).

LTE (Long Term Evolution): Reconocida por su capacidad de manejar grandes volúmenes de datos con baja latencia, es ideal para entornos con alta demanda de conectividad y estabilidad en la transmisión (Stallings, 2017).

Enlaces de microondas: Facilitan la comunicación punto a punto a distancias considerables con velocidades que superan 1 Gbps, lo que las hace esenciales para redes metropolitanas inalámbricas robustas (Kurose & Ross, 2018).

La eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental son factores claves en la selección tecnológica. La implementación debe considerar equipos que optimicen el consumo energético y que reduzcan su impacto ambiental a través de prácticas sostenibles (Agrawal, 2002).

Impacto Social y Educativo de las TIC: Más allá del aspecto tecnológico, la interconexión de los Centros de Desarrollo Infantil (CDI) representa una oportunidad significativa para transformar las dinámicas sociales y educativas de la región. Según la OECD

(2015), el acceso a infraestructura tecnológica fortalece la equidad en el acceso a la educación, permitiendo compartir recursos, mejores prácticas y programas asistenciales.

La inclusión digital es uno de los beneficios fundamentales de este proyecto. La conectividad entre los CDI facilitará el acceso a plataformas educativas en línea, contribuyendo a una oferta académica más diversificada y adaptada a las necesidades específicas de los niños en situación de vulnerabilidad (Blanco Coronado, 2021).

Eficiencia y Sostenibilidad de Infraestructuras Inalámbricas: Las redes inalámbricas metropolitanas (WMAN) no solo son una solución eficiente en términos económicos, sino también sostenibles y escalables. Estas infraestructuras permiten adaptaciones progresivas a medida que aumentan las necesidades de conectividad, reduciendo costos asociados a futuras expansiones (ITU-T, 2019). Además, fomentan la colaboración interdisciplinaria en áreas como la optimización del espectro de frecuencias y la evaluación del impacto social de las TIC.

La sostenibilidad tecnológica implica no solo el despliegue inicial, sino también la capacidad de la red para operar de manera eficiente a lo largo del tiempo, utilizando equipos de bajo consumo y fomentando la innovación en redes inalámbricas (Agrawal, 2002).

Perspectiva Interdisciplinaria y Académica: El diseño de una infraestructura inalámbrica no solo constituye un desafío técnico, sino también un terreno fértil para la investigación y la colaboración interdisciplinaria. Temas como la eficiencia energética de las redes, la cobertura en áreas geográficamente dispersas y el impacto social de las TIC deben ser abordados con rigor académico y relevancia práctica (ITU-T, 2019). Este enfoque contribuye a la formación de futuros ingenieros comprometidos con el desarrollo sostenible y la innovación tecnológica.

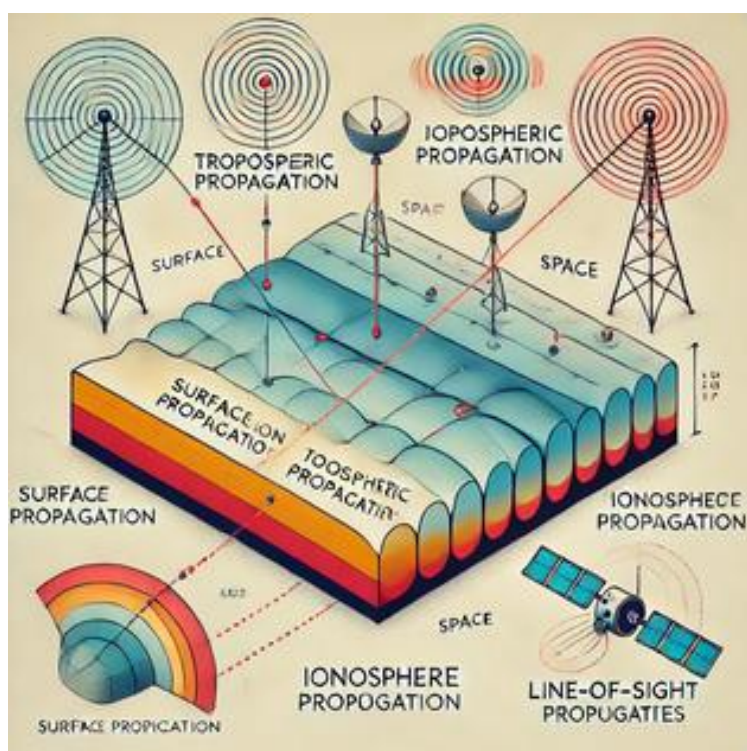
Marco Conceptual

Propagación de las Ondas de Radio

La propagación de las ondas de radio describe cómo las señales electromagnéticas se transmiten a través de diferentes medios, siendo influenciadas por factores como la frecuencia, el entorno y las condiciones atmosféricas (Rappaport, 2018). Los distintos métodos de propagación permiten aplicaciones específicas en telecomunicaciones terrestres, marinas y espaciales.

Figura 1

Tipos de propagación de ondas de radio.



Fuente: OpenAI (2024).

Propagación en Superficie. La propagación en superficie ocurre cuando las ondas de radio siguen la curvatura de la Tierra y viajan cerca de su superficie. Este fenómeno es característico de las frecuencias bajas (LF) y medias (MF), como las utilizadas en transmisiones de radio AM. Su alcance depende principalmente de la potencia de la señal y las características

conductoras del terreno, siendo más efectiva sobre cuerpos de agua, como océanos o mares, debido a su baja atenuación (Stallings, 2020; Seybold, 2005).

Propagación Troposférica. En la propagación troposférica, las señales se refractan debido a las diferencias de densidad en la troposfera, la capa de la atmósfera que se extiende hasta 10-15 km desde la superficie terrestre. Este tipo de propagación puede ocurrir en dos formas: por visión directa, cuando el transmisor y el receptor están alineados, o por refracción troposférica, donde las señales se curvan y son devueltas a la superficie. Esta última permite alcanzar mayores distancias más allá del horizonte (Freeman, 2016).

Propagación Ionosférica. La propagación ionosférica utiliza la reflexión de ondas de radio en la ionosfera, una capa de la atmósfera que contiene partículas ionizadas y se encuentra entre 60 y 500 km de altitud. Es especialmente efectiva para frecuencias altas (HF, entre 3 y 30 MHz) y permite cubrir grandes distancias al reflejar las señales de vuelta a la superficie terrestre. Este fenómeno es crucial en radiocomunicaciones de largo alcance, como en transmisiones militares o radioaficionados (Davies, 2008; Seybold, 2005).

Propagación por Visión Directa. La propagación por visión directa ocurre cuando las señales viajan en línea recta entre el transmisor y el receptor sin obstáculos. Es característica de las frecuencias muy altas (VHF) y ultraaltas (UHF), utilizadas en enlaces microondas, redes móviles y sistemas de transmisión de televisión. Para evitar pérdidas, las antenas deben ubicarse a suficiente altura, asegurando una línea de visión clara y evitando la curvatura terrestre (Rappaport, 2018).

Propagación por Espacio. En este tipo de propagación, las ondas de radio viajan a través del espacio sin interferencias atmosféricas. Es la base de las comunicaciones satelitales, donde una señal emitida desde la superficie terrestre es captada por un satélite en órbita y

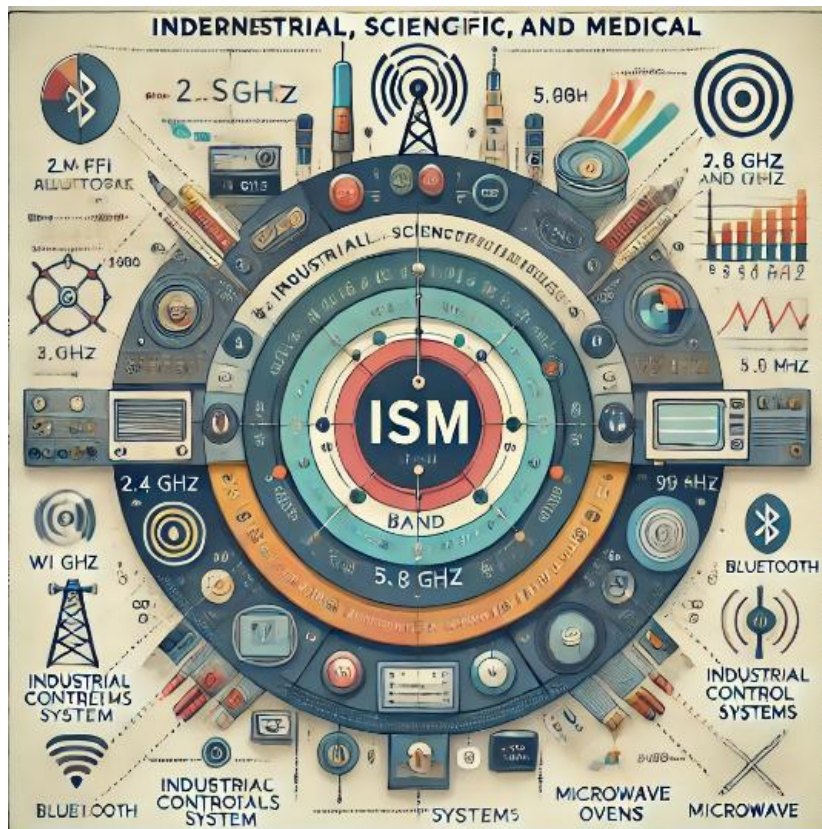
reenviada a un receptor ubicado en otro punto del planeta. Las frecuencias más utilizadas para este propósito son las microondas, debido a su alta capacidad de transmisión de datos y baja interferencia (Freeman, 2016).

Bandas ISM

Las bandas ISM (Industrial, Scientific, and Medical) son segmentos del espectro electromagnético que están reservados para uso libre y general, sin la necesidad de adquirir una licencia de operación. Estas bandas se designaron con el propósito de ser utilizadas en aplicaciones industriales, científicas y médicas, según lo establece la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-R, 2016).

Figura 2

Propagación de señales específicas en las bandas ISM



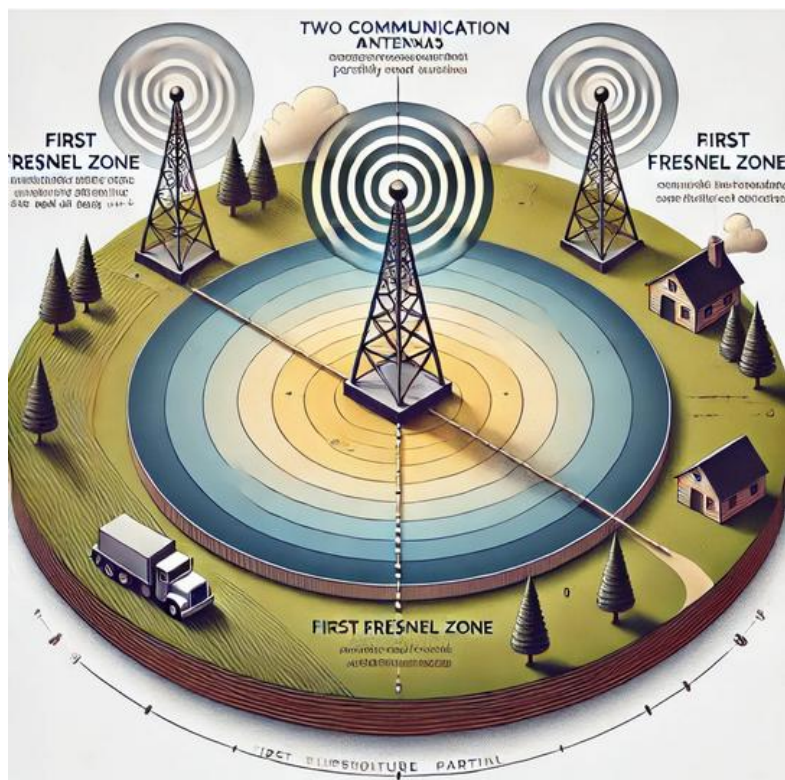
Fuente: UIT-R Radiocomunicaciones (2016)

A diferencia de otras regiones del espectro, que suelen estar altamente reguladas y requieren licencias costosas para operar, las bandas ISM permiten su uso sin restricciones siempre y cuando no se generen interferencias significativas. Esta flexibilidad las hace atractivas para tecnologías como redes inalámbricas, dispositivos Bluetooth y sistemas de control industrial. En contraste, las bandas controladas están destinadas a aplicaciones de alto impacto, como la televisión, la radio y las telecomunicaciones de voz y datos, las cuales dependen de un orden estricto para evitar interferencias (UIT-R Radiocomunicaciones, 2016).

Zona Fresnel

Las zonas de Fresnel son volúmenes elipsoidales que rodean la línea de visión directa entre un transmisor y un receptor en un radioenlace. Estas zonas describen el área por donde las ondas de radio pueden viajar y son fundamentales para garantizar una transmisión eficiente y evitar pérdidas de señal. La primera zona de Fresnel es la más relevante, ya que cualquier obstrucción dentro de ella puede ocasionar difracción, interferencias y atenuación significativa de la señal (Rappaport, 2018).

El tamaño de las zonas de Fresnel depende de la distancia entre las antenas y la frecuencia de la señal utilizada. Una obstrucción de hasta el 20% de la primera zona es aceptable, pero si la obstrucción supera el 40%, el rendimiento del enlace se ve gravemente afectado debido a la interferencia destructiva causada por la difracción de las ondas (Stallings, 2020).

Figura 3*Zonas de Fresnel en un radioenlace*

Fuente: Stallings (2020)

El cálculo de las zonas de Fresnel es esencial en la planificación de enlaces de microondas y radiofrecuencia para asegurar un despeje adecuado y evitar bloqueos físicos como edificios, montañas o árboles. Este factor es especialmente importante en enlaces de larga distancia, donde la curvatura terrestre también influye en la calidad de la señal (Freeman, 2016).

La Curvatura de la Tierra

En los radioenlaces de larga distancia, la curvatura de la Tierra se convierte en un factor crítico que puede interferir en la propagación de señales electromagnéticas. Aunque comúnmente los obstáculos como edificios o árboles son los más evidentes, la propia superficie terrestre

puede actuar como un impedimento. Las principales formas en que la curvatura terrestre afecta un radioenlace son las siguientes (Blázquez, 2015; Freeman, 2016):

Incremento en la altura de los obstáculos intermedios: Al aumentar la distancia entre las antenas, los obstáculos naturales o artificiales parecen más elevados debido a la curvatura del planeta.

Curvatura del haz electromagnético por refracción troposférica: Las ondas de radio, al interactuar con la troposfera, tienden a desviarse ligeramente hacia la superficie terrestre, causando errores en los cálculos de enlaces si no se consideran estos efectos.

La Tierra como un obstáculo directo: En enlaces extremadamente largos, la curvatura terrestre bloquea la señal directamente, requiriendo un incremento de la altura de las antenas para mantener la línea de visión.

Cálculo de la Corrección de Altura: Flecha de la Curvatura Terrestre. Para evaluar el impacto de la curvatura terrestre en un radioenlace y verificar que no obstruya la primera zona de Fresnel, se aplica un factor corrector conocido como la flecha o corrección de altura. La fórmula utilizada es la siguiente (Freeman, 2016):

$$h = \frac{d_1 d_2}{2k a}$$

Dónde:

d_1 : Distancia desde el punto de cálculo hasta la antena emisora.

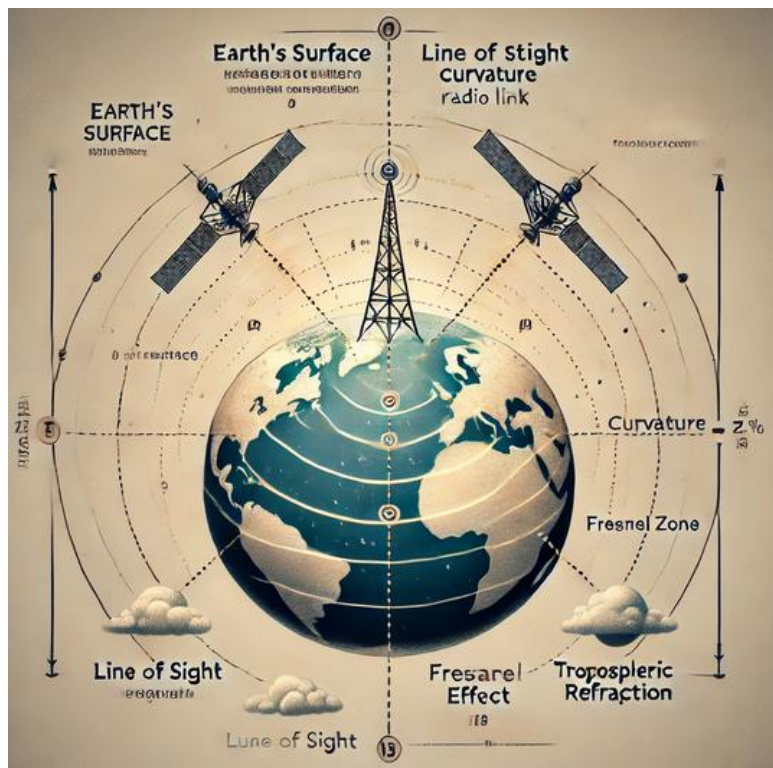
d_2 : Distancia desde el punto de cálculo hasta la antena receptora.

k : Constante de la Tierra ficticia, usualmente con un valor de 4/3.

a : Radio promedio de la Tierra, aproximadamente 6,370 km.

Figura 4

Influencia de la curvatura terrestre y refracción troposférica



Fuente: Adaptado de Blázquez (2015)

Importancia del Factor Corrector. La fórmula de la flecha permite calcular la altura adicional que deben tener las antenas para contrarrestar la obstrucción causada por la curvatura de la Tierra. Este cálculo es esencial en radioenlaces de larga distancia, donde ignorar este efecto puede provocar pérdida de señal o interferencias, comprometiendo la eficiencia del sistema.

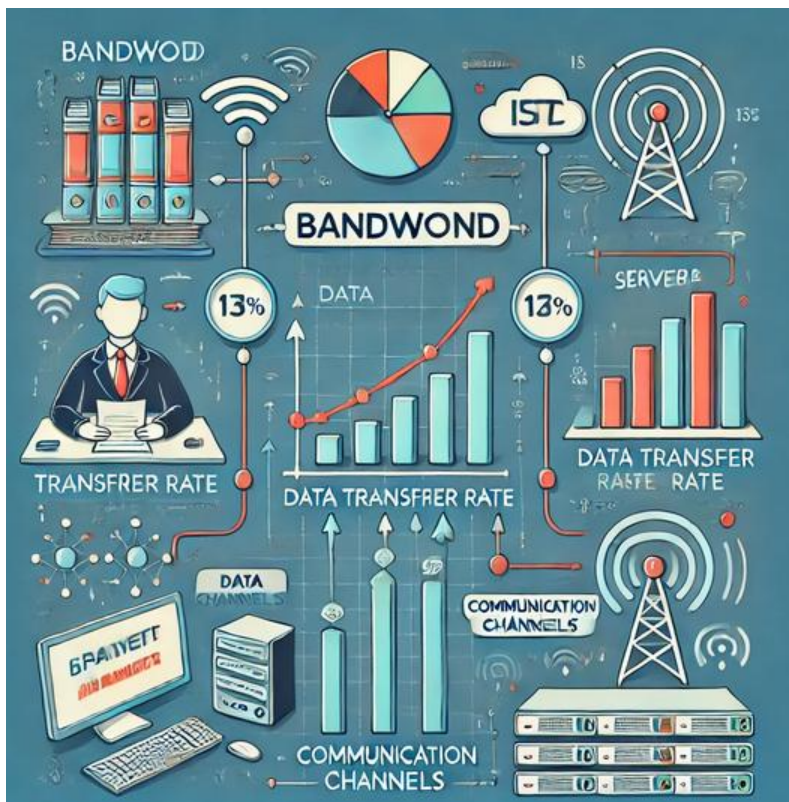
Ancho de Banda y Canales de Comunicación

El ancho de banda representa la cantidad máxima de datos que pueden transmitirse a través de una red en un tiempo determinado, generalmente medido en bits por segundo (bps). Este parámetro es fundamental para el diseño y la planificación de redes, ya que define la capacidad del sistema para manejar tráfico de datos simultáneo sin causar congestión. Un mayor ancho de banda implica una mayor capacidad de transferencia, lo cual es clave para aplicaciones

modernas como videoconferencias, streaming de alta definición y redes empresariales (Forouzan, 2017).

Figura 5

Ancho de Banda y Canales de Comunicación



Fuente: Autoría Propia

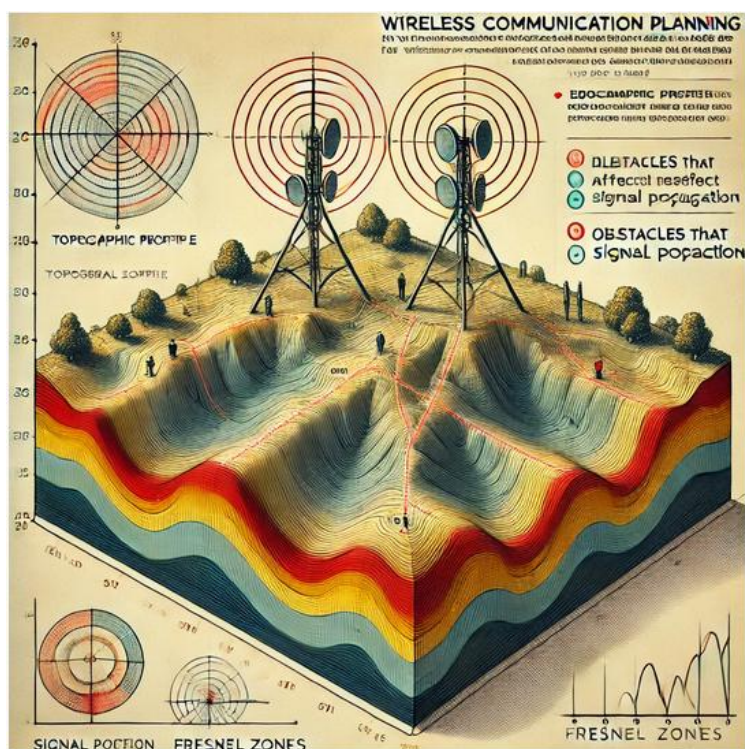
Por otro lado, los canales de comunicación son las rutas específicas por las cuales viajan los datos dentro de una red. La asignación eficiente de estos canales resulta crucial para evitar interferencias y garantizar un rendimiento óptimo. Los canales pueden operar en distintas frecuencias o divisiones, como en las redes inalámbricas donde se utilizan técnicas de multiplexación y segmentación del espectro para optimizar el uso de recursos (Stallings, 2017).

Perfiles Topográficos

Los perfiles topográficos son representaciones gráficas de las elevaciones del terreno a lo largo de un trayecto definido entre dos puntos geográficos. Estas representaciones son fundamentales en el diseño y planificación de enlaces de comunicación inalámbrica, ya que las irregularidades del terreno pueden obstruir o interferir con la propagación de señales electromagnéticas (Amante, 2016).

Figura 6

Perfiles Fotográficos



Fuente: Autoría Propia

En aplicaciones de telecomunicaciones, el análisis detallado de los perfiles topográficos permite identificar obstáculos que podrían afectar las zonas de Fresnel, lo que es crítico para garantizar la eficiencia y calidad del enlace. Además, este análisis facilita la determinación de la

altura óptima de las antenas y la ubicación de las estaciones repetidoras en terrenos irregulares, maximizando la cobertura de la red y minimizando pérdidas de señal (Stallings, 2017).

La planificación precisa basada en perfiles topográficos también contribuye a optimizar recursos y reducir costos en el despliegue de la infraestructura, especialmente en áreas con condiciones geográficas complejas.

Marco de Estado del Arte

Contexto Internacional

A nivel global, la implementación de infraestructuras inalámbricas ha sido una solución efectiva para conectar comunidades en contextos rurales, urbanos y de difícil acceso. La International Telecommunication Union (ITU, 2019) destaca que tecnologías como WiMAX y LTE son esenciales para la cobertura de áreas remotas, proporcionando servicios educativos, sociales y sanitarios de calidad.

Por ejemplo, en India, el programa Digital India ha implementado redes inalámbricas en zonas rurales, permitiendo a escuelas y centros comunitarios acceder a plataformas de aprendizaje virtual (World Bank, 2018). De manera similar, en África subsahariana, proyectos como AfricaConnect han desplegado redes WiMAX para facilitar la educación a distancia y el acceso a servicios de salud en regiones remotas (UNESCO, 2020).

En Europa, países como España y Alemania han desarrollado redes metropolitanas inalámbricas (WMAN) que interconectan instituciones educativas y gubernamentales, optimizando los procesos administrativos y la colaboración. Proyectos como e-Schools y Wi-Fi4EU han demostrado que la conectividad inalámbrica promueve la inclusión digital y la equidad educativa en zonas urbanas y suburbanas (OECD, 2015).

Estos casos resaltan cómo la infraestructura inalámbrica, adaptada a las características geográficas y sociales, contribuye al desarrollo sostenible y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 4 (Educación de Calidad) y el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura).

Contexto Nacional (Colombia)

En Colombia, el acceso a redes de comunicación inalámbrica ha sido una prioridad para reducir las brechas de conectividad y promover la inclusión digital en comunidades marginadas. El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC, 2021) ha impulsado programas como Zonas Digitales y Centros Digitales, que buscan garantizar el acceso a Internet en más de 10,000 puntos rurales y urbanos del país.

Un caso de éxito es el proyecto “Colombia Conectada”, que ha permitido implementar enlaces de microondas y redes LTE en municipios del departamento del Chocó, facilitando la comunicación entre centros educativos y servicios públicos (Gómez & Ramírez, 2019). Estos avances han mejorado la calidad de la educación y la atención a poblaciones vulnerables.

Por otro lado, en Bogotá y Medellín, se han desplegado redes metropolitanas inalámbricas para interconectar instituciones gubernamentales, educativas y de salud, optimizando la gestión de servicios públicos y fortaleciendo la infraestructura digital urbana (Universidad Nacional de Colombia, 2021). Sin embargo, estudios recientes indican que aún persisten desafíos relacionados con la orografía compleja del país y la falta de infraestructura en zonas rurales, lo cual limita la propagación de las señales inalámbricas.

Contexto Local (Ocaña, Norte de Santander)

En el municipio de Ocaña, Norte de Santander, la falta de una infraestructura robusta de redes inalámbricas ha limitado significativamente la interconexión entre los Centros de

Desarrollo Infantil (CDI) y Bienestar Familiar. Según Martínez (2021), factores como la topografía montañosa y la escasez de recursos tecnológicos han dificultado el despliegue de soluciones de conectividad sostenibles.

Estudios locales realizados por la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS) evidencian que las tecnologías como WiMAX y enlaces de microondas son viables para superar las barreras geográficas de la región. Estas tecnologías, al operar en bandas ISM, permiten un despliegue más económico y eficiente en áreas rurales y suburbanas (Blanco, 2020).

Además, la Alcaldía de Ocaña (2022) subraya la necesidad de implementar una red inalámbrica metropolitana que permita compartir recursos educativos y administrativos entre los CDI, facilitando una atención más eficiente y equitativa a los niños en situación de vulnerabilidad. Este proyecto no solo busca mejorar la cobertura tecnológica, sino también garantizar la sostenibilidad y escalabilidad de la infraestructura.

Un ejemplo local es la instalación de puntos de acceso Wi-Fi en instituciones educativas y plazas públicas, que ha permitido a estudiantes y docentes acceder a contenidos educativos digitales. Sin embargo, la falta de un análisis topográfico detallado y la planificación de las zonas de Fresnel en los radioenlaces representan desafíos técnicos que deben ser abordados en proyectos futuros.

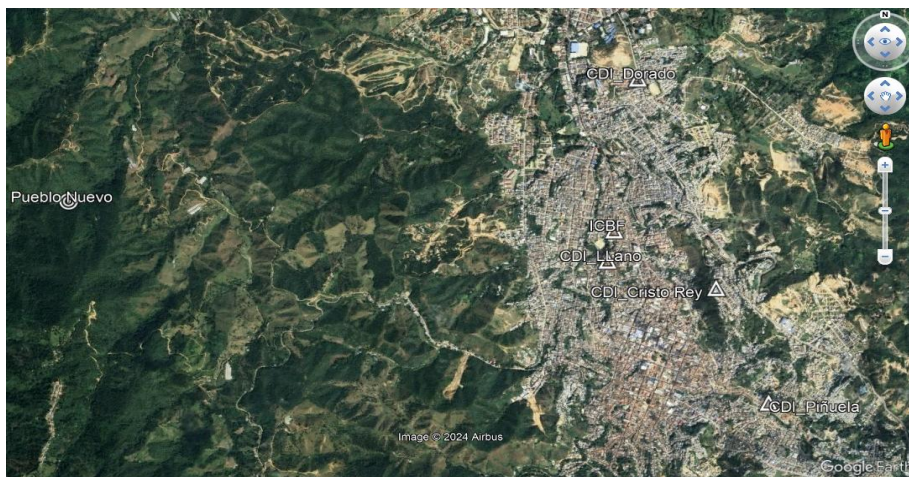
Esquema Temático

Determinación de Alturas y Análisis de Perfiles Topográficos de los Nodos

El diseño de una infraestructura inalámbrica metropolitana para interconectar los Centros de Desarrollo Infantil (CDI) y Bienestar Familiar en Ocaña, Norte de Santander, requiere un análisis detallado de las alturas y perfiles de elevación entre los nodos que conformarán la red. Este análisis es esencial para garantizar una línea de visión clara y optimizar la propagación de las señales, reduciendo interferencias y pérdidas de señal causadas por obstáculos naturales o artificiales.

Figura 7

Vista aérea, CDI y Bienestar Familiar en Ocaña



Análisis de Línea de Vista en Infraestructuras Inalámbricas

En este capítulo se realiza el análisis de la línea de vista entre los nodos de la red, evaluando la existencia de obstáculos que puedan interferir con la propagación de las señales. A través de herramientas de simulación y análisis topográfico, se determinan las condiciones óptimas para garantizar una conectividad eficiente, asegurando un despeje adecuado en las zonas de Fresnel y optimizando el rendimiento de la infraestructura inalámbrica.

Tabla 1

Cálculo de altitud de los nodos.

Cálculo de Altitud	
Nodo	Altura sobre el nivel del mar (m)
CDI_Dorado	1188
Torre_Pueblo_Nuevo	1651
ICBF	1172
CDI_Llano	1177
CDI_CristoRey	1262
CDI_Piñuela	1194

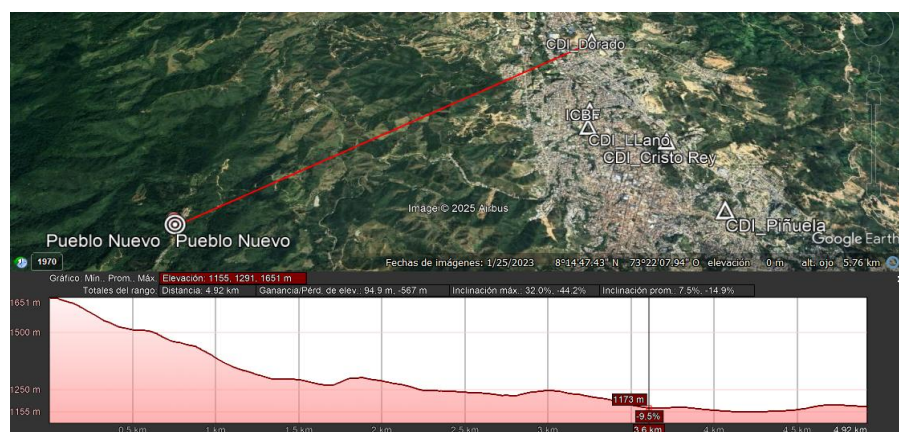
Fuente: Autoría Propia

Al tener las alturas gracias a la herramienta google earth, se procede a determinar las distancias y encontrar el perfil de elevación a través de la herramienta.

Perfil de elevación entre Torre_Pueblo Nuevo y CDI_Dorado, se puede evidenciar que la distancia entre los nodos a interconectar es de 4.92 km y la diferencia de las alturas es de 4.73 m, lo que indicaría por simple inspección que el radio enlace es factible.

Figura 8

Perfil de Elevación entre Torre_Pueblo Nuevo y Cdi_Dorado



Fuente: Tomado de google earth

Cálculo de la primera zona Fresnel

Formula Fresnel sin obstáculos

$$r = 8.657 \sqrt{\frac{d}{f}}$$

$$R = 7.8 \text{ M}$$

Como se puede apreciar en la figura, en el perfil de elevación no hay ningún tipo de obstáculo u obstrucción entre los nodos, ya que se ubican en la copa de diferentes montañas, lo cual ubicando las antenas a una altura de 7.8 metros por encima de la altitud de cada sitio facilitaría la comunicación entre ellas.

Perfil de elevación entre Torre_Pueblo Nuevo e ICBF, se puede evidenciar que la distancia entre los nodos a interconectar es de 4.25 km y la diferencia de las alturas es de 478 m, lo que indicaría por simple inspección que el radio enlace es factible.

Figura 9

Perfil de Elevación entre Torre_Pueblo Nuevo e ICBF



Fuente: Tomado de Google Earth.

Cálculo de la primera zona Fresnel

Formula Fresnel sin obstáculos

$$r = 8.657 \sqrt{\frac{d}{f}}$$

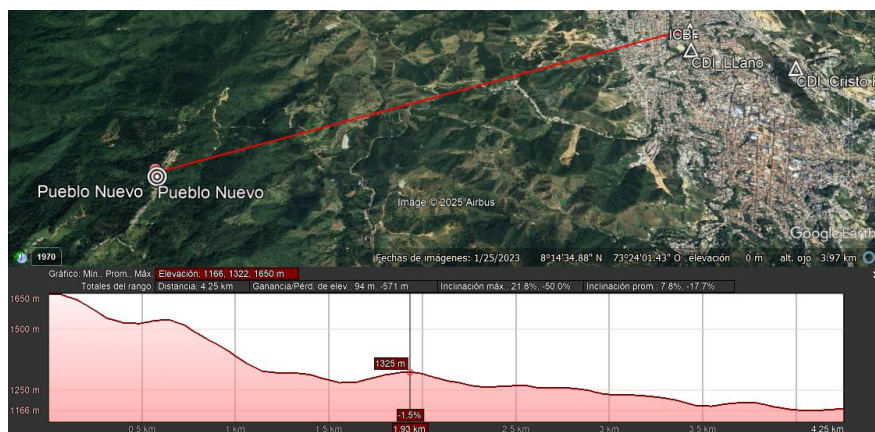
$$R = 6.3 \text{ m}$$

Como se puede apreciar en la figura, en el perfil de elevación no hay ningún tipo de obstáculo u obstrucción entre los nodos, ya que se ubican en la copa de diferentes montañas, lo cual ubicando las antenas a una altura de 6.3 metros por encima de la altitud de cada sitio facilitaría la comunicación entre ellas.

Perfil de elevación entre Torre_Pueblo Nuevo y CDI el LLANO, se puede evidenciar que la distancia entre los nodos a interconectar es de 4.13 km y la diferencia de las alturas es de 474 m, lo que indicaría por simple inspección que el radio enlace es factible.

Figura 10

Perfil de elevación entre Torre_Pueblo Nuevo y CDI_LLano,



Fuente: Tomado de google earth

Cálculo de la primera zona Fresnel

Formula Fresnel sin obstáculos

$$r = 8.657 \sqrt{\frac{d}{f}}$$

$$R = 7.3 \text{ m}$$

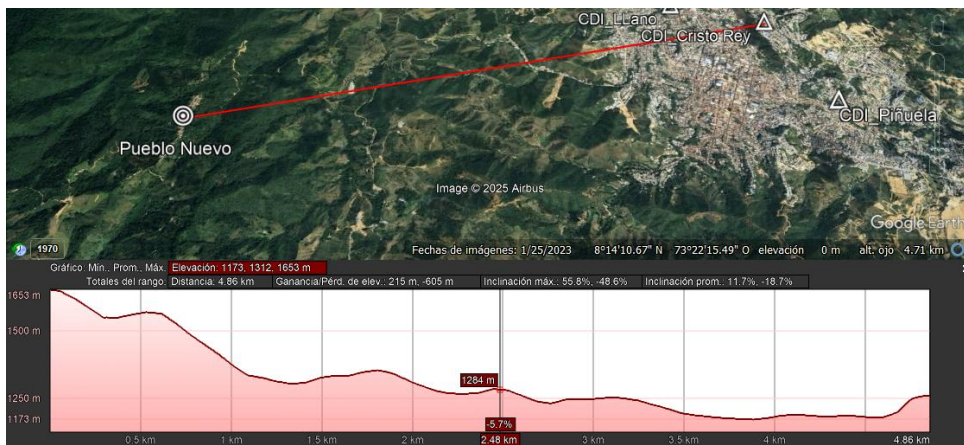
Como se puede apreciar en la figura, en el perfil de elevación no hay ningún tipo de obstáculo u obstrucción entre los nodos, ya que se ubican en la copa de diferentes montañas, lo

cual ubicando las antenas a una altura de 7.3 metros por encima de la altitud de cada sitio facilitarían la comunicación entre ellas.

Perfil de elevación entre Torre_Pueblo Nuevo y Cristo Rey, se puede evidenciar que la distancia entre los nodos a interconectar es de 4.86 km y la diferencia de las alturas es de 3.88 m, lo que indicaría por simple inspección que el radio enlace es factible.

Figura 11

Perfil de elevación entre Torre_Pueblo Nuevo y Cristo-Rey



Fuente: Tomado de google earth

Cálculo de la primera zona Fresnel

Formula Fresnel sin obstáculos

$$r = 8.657 \sqrt{\frac{d}{f}}$$

$$R = 7.9 \text{ m}$$

Como se puede apreciar en la figura, en el perfil de elevación no hay ningún tipo de obstáculo u obstrucción entre los nodos, ya que se ubican en la copa de diferentes montañas, lo cual ubicando las antenas a una altura de 7.9 metros por encima de la altitud de cada sitio facilitarían la comunicación entre ellas.

Perfil de elevación entre Torre_Pueblo Nuevo y Piñuela, se puede evidenciar que la distancia entre los nodos a interconectar es de 5.1 km y la diferencia de las alturas es de 455 m, lo que indicaría por simple inspección que el radio enlace es factible.

Figura 12

Perfil de elevación entre torre_pueblo nuevo y cdi_piñuela



Fuente: Tomado de google earth

Cálculo de la primera zona Fresnel

Formula Fresnel sin obstáculos

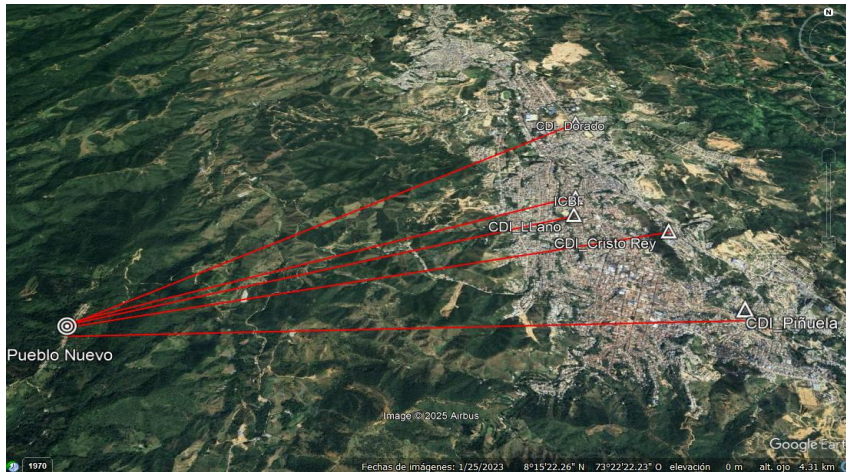
$$r = 8.657 \sqrt{\frac{d}{f}}$$

$$R = 8.1 \text{ M}$$

Como se puede apreciar en la figura, en el perfil de elevación no hay ningún tipo de obstáculo u obstrucción entre los nodos, ya que se ubican en la copa de diferentes montañas, lo cual ubicando las antenas a una altura de 8.1 metros por encima de la altitud de cada sitio facilitaría la comunicación entre ellas.

Figura 13

Perfil de elevación entre torre_Pueblo Nuevo y cdi_Ocaña



Fuente: Autoría Propia

Factores de Pérdida en la Propagación de Radiofrecuencia

Este apartado aborda los factores que afectan la propagación de las señales de radio entre los nodos de la red. La pérdida de propagación es la cantidad de señal necesaria para llegar de un extremo de la conexión Wireless al otro. Es decir, la cantidad de señal que se pierde al atravesar un espacio. Para hacer los cálculos en espacio libre (sin obstáculos) la formula quedaría resumida en la siguiente:

$$Pp = 20\text{Log}10\left(\frac{d}{1000}\right) + 100$$

Donde Pp indica la pérdida de propagación en decibelios (dB) y d es la distancia en metros.

De acuerdo a nuestro caso de estudio tenemos:

Tabla 2*Cálculo, pérdida de propagación del proyecto.*

Enlace	Distancia (m)	Perdida de Propagación (-)
Pueblo_Nuevo-CDI_Dorado	492	-113.84
Pueblo_Nuevo-ICBF	425	-112.8
Pueblo_Nuevo-CDI_LLano	413	-112.32
Pueblo_Nuevo-CDI_Cristo_Rey	486	-113.73
Pueblo_Nuevo-CDI_Piñuela	510	-114.15

*Fuente: Autoría Propia***Topología Propuesta a Través del Simulador**

El simulador Cisco Packet Tracer es una herramienta ampliamente utilizada en el ámbito académico y profesional para la configuración y prueba de redes en un entorno virtual. Su capacidad para emular redes cableadas es bastante completa y permite una simulación precisa de protocolos y dispositivos de comunicación. Sin embargo, en el ámbito de las redes inalámbricas, presenta ciertas limitaciones, especialmente cuando se trata de la implementación de enlaces de radio, como los utilizados en infraestructuras de comunicación de larga distancia.

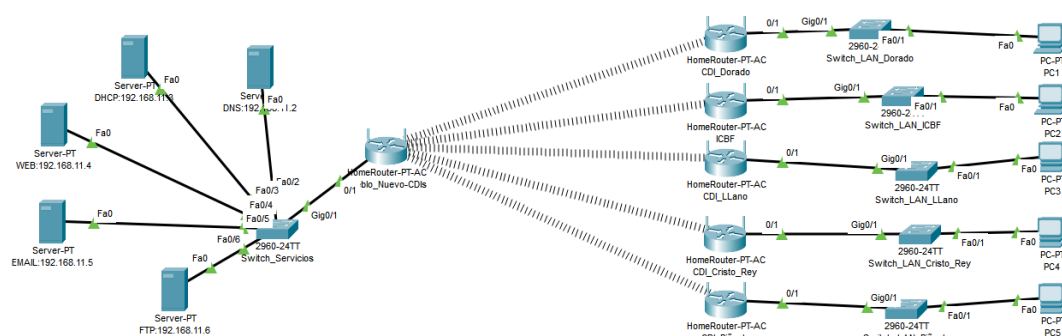
A pesar de estas restricciones, se ha logrado realizar una simulación funcional utilizando dispositivos específicos dentro del entorno del simulador. Este proceso permitió validar la viabilidad de la propuesta, demostrando que, con los ajustes adecuados, es posible representar configuraciones que, en un entorno real, serían utilizadas para establecer conexiones inalámbricas de alto rendimiento.

Para lograr esta simulación, se requirió la selección adecuada de equipos dentro de Cisco Packet Tracer, así como la configuración precisa de parámetros que emularan de la mejor manera posible las condiciones de un enlace de radio. En este documento, se presentan los detalles del

procedimiento seguido, incluyendo los dispositivos empleados, la configuración aplicada y los resultados obtenidos a partir de la simulación.

Figura 14

Configuración de Parámetros



Fuente: Autoría Propia

Para el direccionamiento de la red, se implementó el estándar definido en la RFC 1918, específicamente utilizando direcciones de la clase C, las cuales están reservadas para redes privadas. Con el objetivo de optimizar la administración y el control de la red, se decidió emplear direcciones IP estáticas para los servidores. Por otro lado, con el propósito de facilitar la gestión de los equipos de usuario y garantizar una asignación eficiente de direcciones IP, se configuró un servidor DHCP en la sede de Pueblo Nuevo. Este servidor es responsable de suministrar automáticamente las direcciones IP a los PCs de las oficinas, que representan los Centros de Desarrollo Infantil (CDIs), evitando la necesidad de configuraciones manuales y permitiendo una mejor administración de los recursos de red. Esta estrategia de direccionamiento permite no solo un uso eficiente del espacio de direcciones privadas, sino también una mejor escalabilidad y gestión de la infraestructura de red, asegurando una conectividad estable y confiable entre los diferentes nodos de la red.

Tabla 3*Direccionamiento IP servidores.*

Servidores	Dirección IP	Mascara
DNS	192.168.11.2	255.255.255.0
DHCP	192.168.11.3	255.255.255.0
WEB	192.168.11.4	255.255.255.0
EMAIL	192.168.11.5	255.255.255.0
FTP	192.168.11.6	255.255.255.0

*Fuente: Autoría Propia***Tabla 4***Direccionamiento IP equipos inalámbricos.*

APs	Dirección IP	Modo
Pueblo_Nuevo-CDIs	N/A	Transparente
CDIs		
CDI_Dorado	N/A	Bridge
ICBF	N/A	Bridge
CDI_LLano	N/A	Bridge
CDI_Cristo_Rey	N/A	Bridge
CDI_Cristo_Piñuela	N/A	Bridge

*Fuente: Autoría Propia***Tabla 5***Direccionamiento IP Switch.*

Switch	Dirección IP	Mascara	Contraseñas
Servicios	192.168.10.2	255.255.255.0	cdi
LAN_Dorado	192.168.10.3	255.255.255.0	class
LAN_ICBF	192.168.10.4	255.255.255.0	
LAN_LLano	192.168.10.5	255.255.255.0	
LAN_Cristo_Rey	192.168.10.6	255.255.255.0	
LAN_Cristo_Piñuela	192.168.10.7	255.255.255.0	

Fuente: Autoría Propia

Configuraciones

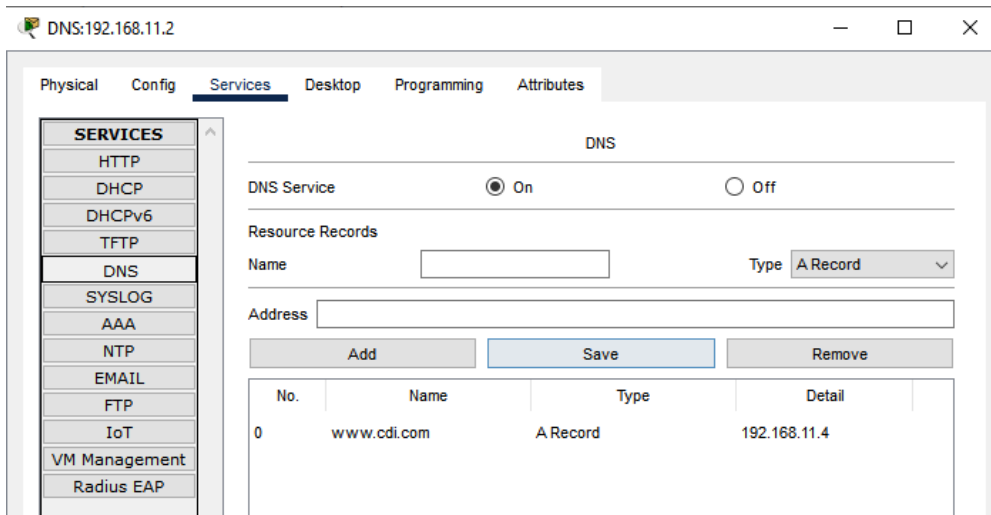
A continuación, se describen las configuraciones implementadas en la infraestructura de red, abarcando los diferentes componentes esenciales para su correcto funcionamiento. Se inicia con la configuración de los servicios fundamentales, entre ellos el servidor DHCP, encargado de asignar direcciones IP de manera automática a los dispositivos dentro de la red, y el servidor DNS, que facilita la resolución de nombres de dominio para mejorar la comunicación entre los equipos. Asimismo, se abordarán otros servicios clave que contribuyen a la estabilidad y eficiencia de la red. Seguidamente, se detallará la configuración de los puntos de acceso inalámbricos, los cuales cumplen un papel crucial al permitir la conectividad de dispositivos sin necesidad de cables físicos. Se explicará cómo se estableció el SSID, los protocolos de seguridad utilizados para proteger la red y los métodos de autenticación configurados para evitar accesos no autorizados.

En lo referente a los switches, se describirá el proceso de segmentación de la red mediante VLANs, lo que permite optimizar el tráfico y fortalecer la seguridad al dividir la red en diferentes dominios de difusión. Finalmente, se abordará la configuración de los equipos finales, como los PCs de las oficinas, asegurando que cuenten con la dirección IP adecuada, la puerta de enlace configurada correctamente y los parámetros necesarios para garantizar su conectividad dentro de la red. Se incluirán pruebas de conectividad realizadas con herramientas como ping y traceroute, verificando que todos los dispositivos se comuniquen de manera eficiente y sin errores.

Configuración de los Servidores

Figura 15

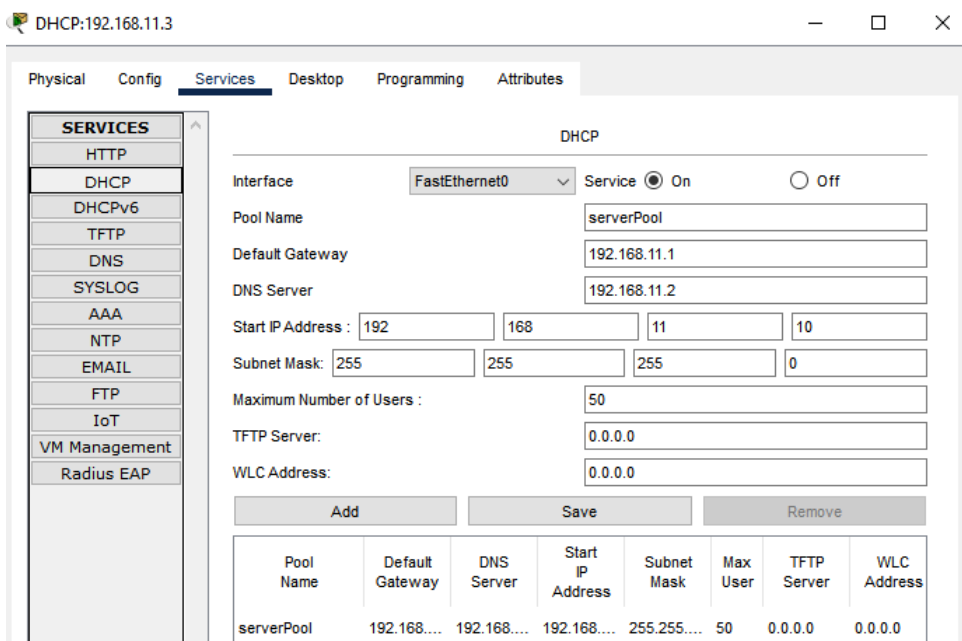
DNS



Fuente: Autoría Propia

Figura 16

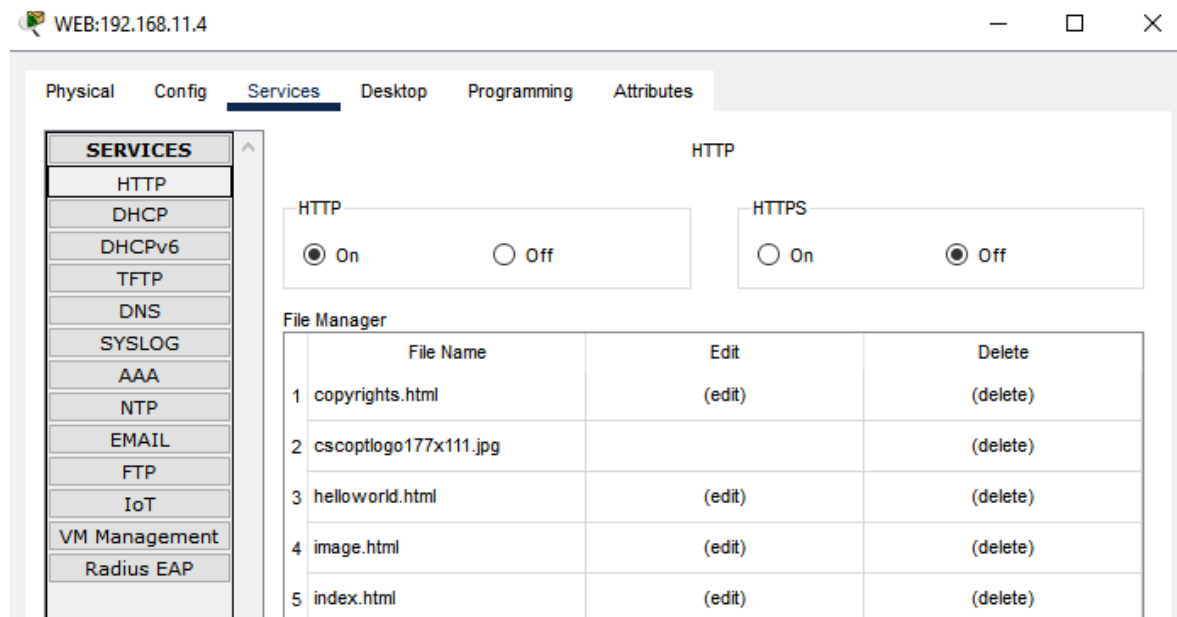
DHCP



Fuente: Autoría Propia

Figura 17

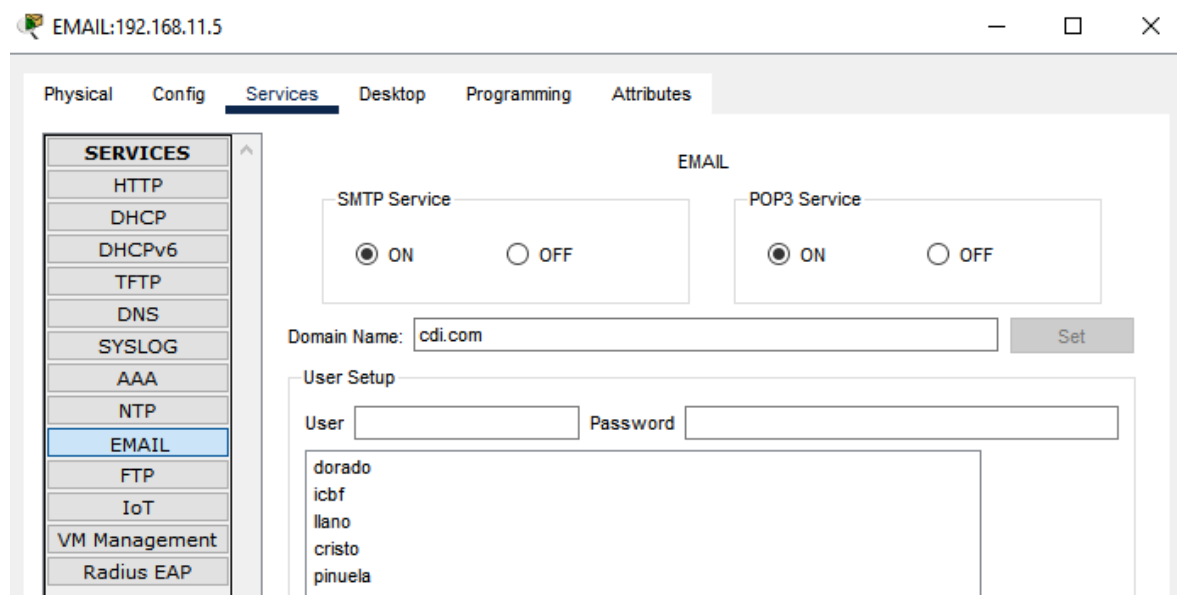
WEB



Fuente: Autoría Propia

Figura 18

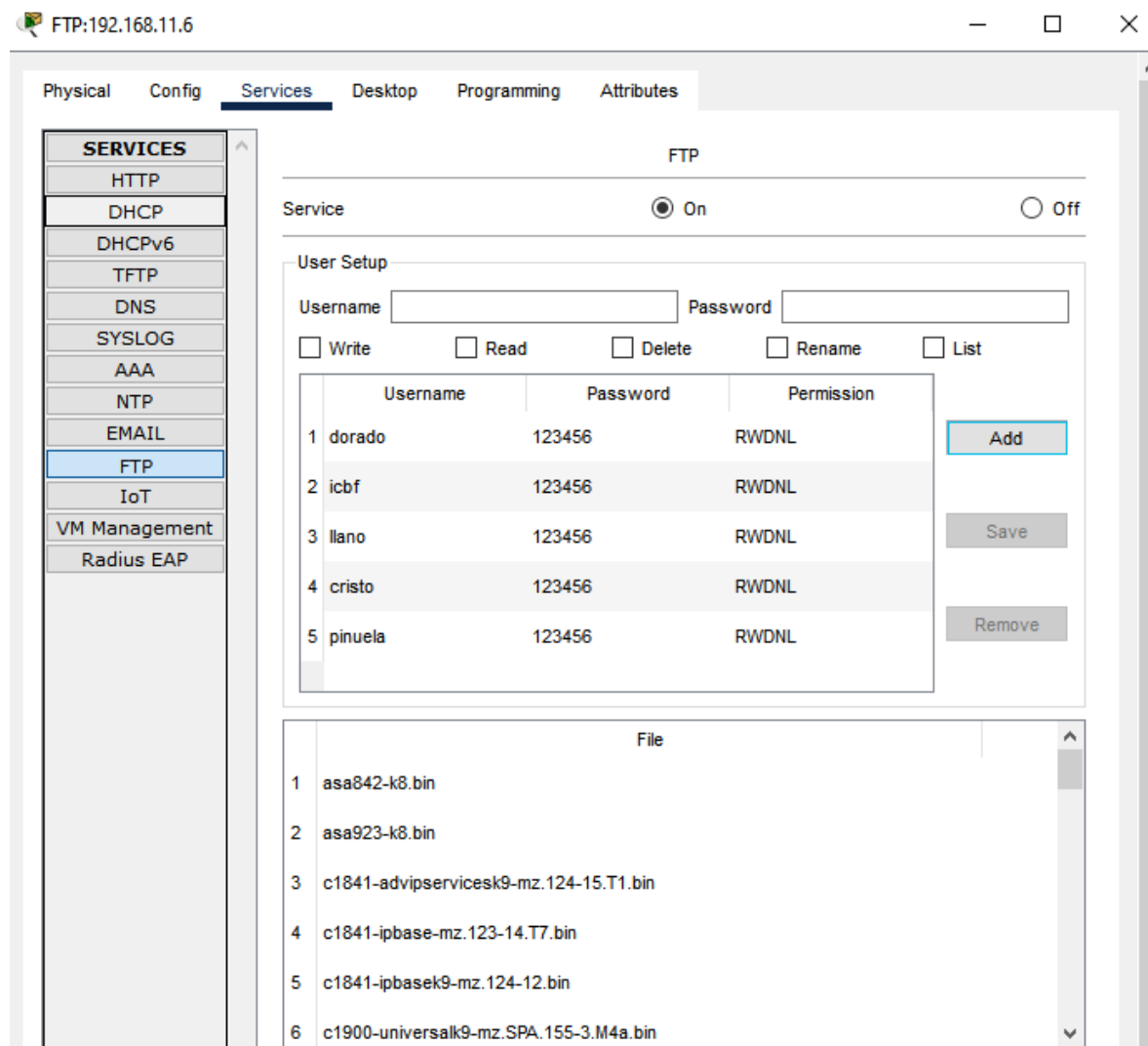
EMAIL



Fuente: Autoría Propia

Figura 19

FTP



Fuente: Autoría Propia

Configuración de los Puntos de Acceso

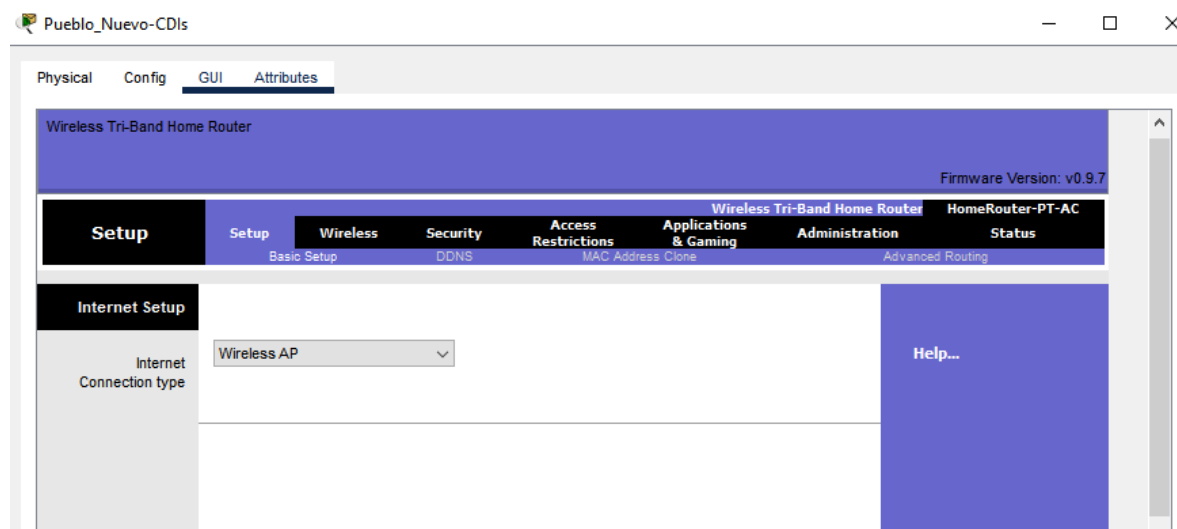
El dispositivo Home Router-PT fue clave en la implementación de la infraestructura de red, ya que permitió configurarlo tanto como punto de acceso (AP) como en modo bridge. En la topología diseñada, su función como punto de acceso se asignó al equipo ubicado en Pueblo Nuevo, el cual actúa como la antena principal encargada de establecer los enlaces de

comunicación con cada uno de los Centros de Desarrollo Infantil (CDIs). Este dispositivo servirá como el nodo central de la red inalámbrica, permitiendo la interconexión eficiente de todas las sedes. Por otro lado, en cada uno de los CDIs, los dispositivos Home Router-PT fueron configurados en modo bridge, lo que les permite operar como puntos de enlace sin generar nuevas redes inalámbricas, sino extendiendo la conexión proveniente de Pueblo Nuevo. De esta manera, se logra establecer una comunicación fluida y estable entre los centros sin la necesidad de múltiples SSIDs ni redes independientes, optimizando la distribución del tráfico y garantizando la conectividad de los equipos dentro de cada sede.

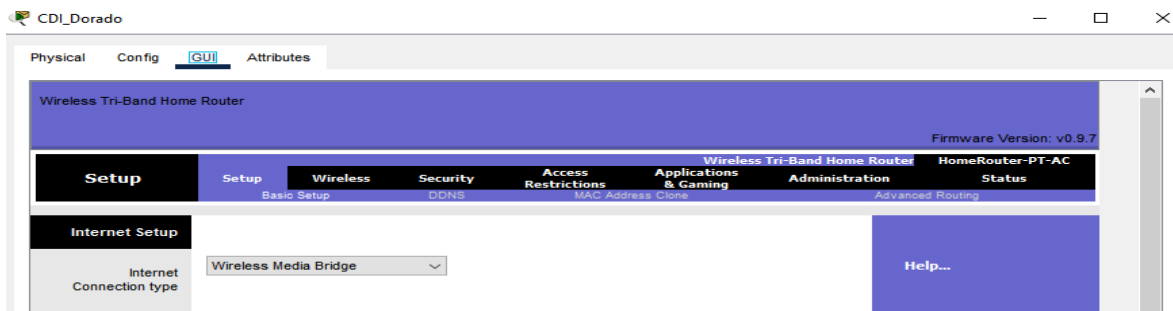
Este esquema de configuración no solo facilita la integración de los CDIs dentro de la infraestructura de red diseñada, sino que también mejora el rendimiento y la estabilidad de los enlaces inalámbricos, asegurando una transmisión eficiente de los datos entre las distintas ubicaciones.

Figura 20

Pueblo_Nuevo-CDIs



Fuente: Autoría Propia

Figura 21*CDI_Dorado**Fuente: Autoría Propia****Configuración de los Switch donde se Alojjan los Servidores***

```
PN_Servicios#show running-config
```

```
Building configuration...
```

```
Current configuration : 2579 bytes
```

```
!
```

```
version 12.2
```

```
no service timestamps log datetime msec
```

```
no service timestamps debug datetime msec
```

```
service password-encryption
```

```
!
```

```
hostname PN_Servicios
```

```
!
```

```
enable secret 5 $1$mERr$9cTjUIEqNGurQiFU.ZeCi1
```

```
!
```

```
!
```

```
!
```

```
no ip domain-lookup
!
!
!
spanning-tree mode pvst
spanning-tree extend system-id
!
interface FastEthernet0/1
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
!
interface FastEthernet0/2
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
!
interface FastEthernet0/3
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
!
interface FastEthernet0/4
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
!
```

```
interface FastEthernet0/5
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
!
interface FastEthernet0/6
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
!
interface FastEthernet0/7
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
!
interface FastEthernet0/8
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
!
interface FastEthernet0/9
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
!
interface FastEthernet0/10
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
```

```
!  
interface FastEthernet0/11  
  switchport access vlan 10  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/12  
  switchport access vlan 10  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/13  
  switchport access vlan 10  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/14  
  switchport access vlan 10  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/15  
  switchport access vlan 10  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/16  
  switchport access vlan 10
```

```
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/17
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/18
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/19
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/20
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/21
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/22
```

```
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/23
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/24
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface GigabitEthernet0/1
switchport access vlan 10
!
interface GigabitEthernet0/2
switchport access vlan 10
!
interface Vlan1
no ip address
shutdown
!
interface Vlan10
ip address 192.168.10.2 255.255.255.0
```

```
!  
!  
!  
!  
line con 0  
password 7 08224847  
logging synchronous  
login  
!  
line vty 0 4  
password 7 08224847  
login  
line vty 5 15  
password 7 08224847  
login  
!  
!  
!  
!  
end  
PN_Servicios#
```

Configuración de uno de los Switch que Representa los CDIs de la Topología

```
S_Dorado#show running-config
```

Building configuration...

Current configuration : 2575 bytes

!

version 12.2

no service timestamps log datetime msec

no service timestamps debug datetime msec

service password-encryption

!

hostname S_Dorado

!

enable secret 5 \$1\$mERr\$9cTjUIEqNGurQiFU.ZeCi1

!

!

!

no ip domain-lookup

!

!

!

spanning-tree mode pvst

spanning-tree extend system-id

!

interface FastEthernet0/1

switchport access vlan 10

```
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/2
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/3
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/4
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/5
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/6
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/7
```

```
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/8
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/9
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/10
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/11
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/12
switchport access vlan 10
switchport mode access
!
```

```
interface FastEthernet0/13
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
!
interface FastEthernet0/14
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
!
interface FastEthernet0/15
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
!
interface FastEthernet0/16
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
!
interface FastEthernet0/17
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
!
interface FastEthernet0/18
  switchport access vlan 10
  switchport mode access
```

```
!  
interface FastEthernet0/19  
  switchport access vlan 10  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/20  
  switchport access vlan 10  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/21  
  switchport access vlan 10  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/22  
  switchport access vlan 10  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/23  
  switchport access vlan 10  
  switchport mode access  
!  
interface FastEthernet0/24  
  switchport access vlan 10
```

```
switchport mode access
!
interface GigabitEthernet0/1
switchport access vlan 10
!
interface GigabitEthernet0/2
switchport access vlan 10
!
interface Vlan1
no ip address
shutdown
!
interface Vlan10
ip address 192.168.10.3 255.255.255.0
!
!
!
!
line con 0
password 7 08224847
logging synchronous
login
!
```

```
line vty 0 4
password 7 08224847
login
line vty 5 15
password 7 08224847
login
!
!
!
!
end
S_Dorado#
```

Pruebas de Comunicación entre los Nodos

Este segmento describe el proceso de validación de la infraestructura de red diseñada mediante la realización de pruebas técnicas a través del comando ping telnet.

Ping desde el PC Ubicado en el CDI Dorado has cada uno de los Servidores

```
C:\>ping 192.168.11.2
```

```
Pinging 192.168.11.2 with 32 bytes of data:
```

```
Reply from 192.168.11.2: bytes=32 time=74ms TTL=128
```

```
Reply from 192.168.11.2: bytes=32 time=72ms TTL=128
```

```
Reply from 192.168.11.2: bytes=32 time=35ms TTL=128
```

```
Reply from 192.168.11.2: bytes=32 time=47ms TTL=128
```

```
Ping statistics for 192.168.11.2:
```

Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),

Approximate round trip times in milli-seconds:

Minimum = 35ms, Maximum = 74ms, Average = 57ms

C:\>ping 192.168.11.3

Pinging 192.168.11.3 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.11.3: bytes=32 time=24ms TTL=128

Reply from 192.168.11.3: bytes=32 time=62ms TTL=128

Reply from 192.168.11.3: bytes=32 time=11ms TTL=128

Reply from 192.168.11.3: bytes=32 time=13ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.11.3:

Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),

Approximate round trip times in milli-seconds:

Minimum = 11ms, Maximum = 62ms, Average = 27ms

C:\>ping 192.168.11.4

Pinging 192.168.11.4 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.11.4: bytes=32 time=55ms TTL=128

Reply from 192.168.11.4: bytes=32 time=14ms TTL=128

Reply from 192.168.11.4: bytes=32 time=13ms TTL=128

Reply from 192.168.11.4: bytes=32 time=19ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.11.4:

Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),

Approximate round trip times in milli-seconds:

Minimum = 13ms, Maximum = 55ms, Average = 25ms

C:\>ping 192.168.11.5

Pinging 192.168.11.5 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.11.5: bytes=32 time=107ms TTL=128

Reply from 192.168.11.5: bytes=32 time=13ms TTL=128

Reply from 192.168.11.5: bytes=32 time=25ms TTL=128

Reply from 192.168.11.5: bytes=32 time=26ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.11.5:

Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),

Approximate round trip times in milli-seconds:

Minimum = 13ms, Maximum = 107ms, Average = 42ms

C:\>ping 192.168.11.6

Pinging 192.168.11.6 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.11.6: bytes=32 time=51ms TTL=128

Reply from 192.168.11.6: bytes=32 time=30ms TTL=128

Reply from 192.168.11.6: bytes=32 time=18ms TTL=128

Reply from 192.168.11.6: bytes=32 time=13ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.11.6:

Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),

Approximate round trip times in milli-seconds:

Minimum = 13ms, Maximum = 51ms, Average = 28ms

Telnet y Ping desde el Switch ubicado en Pueblo Nuevo hasta cada uno de los Switch que

Representan cada CDI

PN_Servicios#ping 192.168.10.3

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.10.3, timeout is 2 seconds:

!!!!

Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 2/16/30 ms

PN_Servicios#ping 192.168.10.4

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.10.4, timeout is 2 seconds:

!!!!

Success rate is 60 percent (3/5), round-trip min/avg/max = 10/33/68 ms

PN_Servicios#ping 192.168.10.5

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.10.5, timeout is 2 seconds:

!!!!

Success rate is 60 percent (3/5), round-trip min/avg/max = 10/16/24 ms

PN_Servicios#ping 192.168.10.6

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.10.6, timeout is 2 seconds:

!!!!

Success rate is 60 percent (3/5), round-trip min/avg/max = 11/19/29 ms

PN_Servicios#ping 192.168.10.7

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.10.7, timeout is 2 seconds:

!!!!

Success rate is 60 percent (3/5), round-trip min/avg/max = 14/37/61 ms

PN_Servicios#telnet 192.168.10.3

Trying 192.168.10.3 ...Open

User Access Verification

Password:

S_Dorado>enable

Password:

S_Dorado#exit

[Connection to 192.168.10.3 closed by foreign host]

PN_Servicios#telnet 192.168.10.4

Trying 192.168.10.4 ...Open

User Access Verification

Password:

S_ICBF>enable

Password:

S_ICBF#exit

[Connection to 192.168.10.4 closed by foreign host]

PN_Servicios#

PN_Servicios#telnet 192.168.10.5

Trying 192.168.10.5 ...Open

User Access Verification

Password:

S_LLano>enable

Password:

S_LLano#exit

[Connection to 192.168.10.5 closed by foreign host]

PN_Servicios#telnet 192.168.10.6

Trying 192.168.10.6 ...Open

User Access Verification

Password:

S_Cristo>enable

Password:

S_Cristo#exit

[Connection to 192.168.10.6 closed by foreign host]

PN_Servicios#telnet 192.168.10.7

Trying 192.168.10.7 ...Open

User Access Verification

Password:

S_Pinuela>enable

Password:

S_Pinuela#exit

[Connection to 192.168.10.7 closed by foreign host]

PN_Servicios#

PN_Servicios#

Resultados o Impactos Esperados

El análisis detallado de los perfiles topográficos y la evaluación de los enlaces inalámbricos permitieron corroborar la viabilidad del diseño planteado. A través de herramientas de simulación y cálculos de la zona de Fresnel, se evidenció que los radioenlaces pueden ser implementados sin interferencias significativas. Esto garantiza que la comunicación entre los Centros de Desarrollo Infantil (CDI) y el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) se mantenga estable y con un rendimiento óptimo en términos de transmisión de datos y calidad del enlace.

Para evaluar la eficacia del diseño, se realizaron pruebas dentro de un entorno de simulación que permitieron verificar la funcionalidad de la red. A través de herramientas de diagnóstico como ping y telnet, se comprobó la correcta transmisión de datos entre los diferentes nodos de la red, mostrando tiempos de respuesta dentro de los parámetros aceptables y una baja tasa de pérdida de paquetes. Estos resultados reflejan un diseño bien estructurado, capaz de garantizar la conectividad necesaria para las operaciones de los CDI e ICBF.

La implementación de la infraestructura de red inalámbrica no solo resuelve las deficiencias de conectividad en los CDI, sino que también abre nuevas oportunidades para el acceso a herramientas digitales en el ámbito educativo. Con una interconexión eficiente, se facilita el uso de plataformas de aprendizaje en línea, la capacitación del personal administrativo y educativo, así como la optimización de los procesos de gestión y comunicación. De esta manera, el proyecto contribuye al fortalecimiento de la equidad en el acceso a recursos tecnológicos, impactando de manera positiva la educación y el bienestar de los niños beneficiados.

Divulgación

Autorización para publicar el presenta trabajo monografía

Conclusiones

La red inalámbrica metropolitana diseñada representa un avance significativo en la conectividad de los Centros de Desarrollo Infantil y el ICBF, facilitando la integración de estos espacios mediante una infraestructura robusta y eficiente. Este proyecto permite una mejora sustancial en la comunicación entre las instituciones, optimizando la gestión de información y fortaleciendo la prestación de servicios asistenciales y educativos. Con esta implementación, se sientan las bases para el desarrollo de una red escalable, adaptable a futuras expansiones tecnológicas según las necesidades de la comunidad.

La carencia de infraestructura tecnológica en los CDI limitaba el acceso a recursos educativos digitales, generando desigualdades en la formación de los niños en situación de vulnerabilidad. La solución propuesta atiende esta problemática al proporcionar un sistema de conectividad que promueve la inclusión digital y mejora la calidad educativa. Con esta interconexión, los CDI podrán beneficiarse de programas de educación en línea, optimización de sus procesos administrativos y acceso a plataformas digitales de gestión, reduciendo significativamente las barreras que afectan a estas instituciones.

La elección de enlaces de microondas en la banda ISM como tecnología principal responde a la necesidad de garantizar una solución de conectividad eficiente, rentable y con bajo impacto en costos operativos. Este modelo ofrece la ventaja de ser una infraestructura flexible, que puede ser ampliada o adaptada a medida que evolucionen las necesidades de los centros educativos. Además, al tratarse de una tecnología de libre uso, se evita la dependencia de operadores de telecomunicaciones y se reducen los costos asociados al mantenimiento y operación de la red.

Más allá de su impacto en la conectividad de los CDI y el ICBF, este proyecto tiene un valor estratégico en la modernización de la infraestructura tecnológica del municipio de Ocaña. Su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 3 y ODS 4) refuerza su importancia como una iniciativa que no solo mejora la educación y el bienestar de los niños, sino que también promueve la transformación digital en comunidades con limitaciones en acceso a la tecnología. Este tipo de soluciones tecnológicas, cuando son bien diseñadas y planificadas, pueden generar un impacto positivo en la calidad de vida de la población, consolidando un ecosistema digital inclusivo y sostenible.

Referencias Bibliográficas

- Banco Interamericano de Desarrollo. (2019). *Tecnologías para la educación inclusiva*. BID Publishing.
- Blázquez, J. (2015). *Radiocomunicaciones y enlaces inalámbricos*. Editorial Técnica.
- Davies, K. (2008). *Ionospheric Radio*. Institution of Engineering and Technology.
- Freeman, R. L. (2016). *Radio System Design for Telecommunications* (3rd ed.). Wiley-IEEE Press.
- Goldsmith, A. (2005). *Wireless communications*. Cambridge University Press.
- ITU. (2019). *Measuring digital development: Facts and figures*. International Telecommunication Union.
- Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2018). *Computer networking: A top-down approach* (7th ed.). Pearson.
- Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Transformar nuestro mundo*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- OECD. (2015). *Students, Computers and Learning: Making the Connection*. OECD Publishing.
- Rappaport, T. S. (2002). *Wireless communications: Principles and practice* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Rappaport, T. S. (2018). *Wireless Communications: Principles and Practice* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Seybold, J. S. (2005). *Introduction to RF Propagation*. John Wiley & Sons.
- Stallings, W. (2017). *Wireless communications and networks* (2nd ed.). Pearson Education.
- Stallings, W. (2020). *Wireless Communications & Networks* (3rd ed.). Pearson.
- Stallings, W. (2020). *Wireless Communications & Networks* (3rd ed.). Pearson.

UIT-R Radiocomunicaciones. (2016). *Regulación de las bandas ISM para uso no licenciado*.

Unión Internacional de Telecomunicaciones.

UNESCO. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. UNESCO Publishing.

UNICEF. (2020). *La infancia en riesgo: Superando las desigualdades*. <https://www.unicef.org>

United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*.

United Nations.

World Bank. (2018). *World Development Report: Learning to realize education's promise*. The

World Bank.