

Diseño e implementación de un sistema de comunicaciones inalámbricas para el laboratorio de
comunicaciones UIS

Jairo Andrés Sánchez Castañeda, Javier Alexander Caballero Flórez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electrónico

Director

Efrén Darío Acevedo Cárdenas

Magíster en Ingeniería Electrónica

Codirector

Homero Ortega Boada

Ph.D of Engineering Science

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctricas, Electrónica y Telecomunicaciones

Ingeniería Electrónica

Bucaramanga

2024

Agradecimientos

Agradecimiento a mi esposa Angelica Zarayth Rodríguez Ortiz, a mi padre Jairo Sánchez, a mi Tía María Consuelo Sánchez, a mi madre Carmenza Castañeda, a mis hermanos y a la Universidad Industrial de Santander.

Agradecimiento especial al profesor Efrén Darío Acevedo Cárdenas por el apoyo que me ha ofrecido con la realización de este proyecto.

Jairo Andrés Sánchez Castañeda

En agradecimiento a mi madre Alexandra Flórez por haberme apoyado en cada instante de mi carrera, a mis hermanos por darme animo en todo momento, y expresando total gratitud a nuestro director de proyecto por su apoyo en todo momento.

Javier Alexander Caballero Flórez

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Objetivos	12
1.1 Objetivo general.....	12
1.2 Objetivos específicos	12
2. Marco Teórico.....	13
2.1 Redes inalámbricas	13
2.2 Tipos de redes inalámbricas.....	14
2.3 Despliegue de infraestructura	15
3. Diseño del laboratorio de radioenlace.....	16
3.1 Enlace 1.....	19
3.2 Enlace 2.....	22
3.3 Enlace 3.....	23
3.4 Enlace 4.....	26
4. Diseño 2 para aplicación de la prueba piloto en la UIS	29
4.1 Enlace 1.....	30
4.2 Enlace 2.....	31
4.3 Enlace 3.....	32
5. Desarrollo de la red de comunicaciones para prácticas de laboratorio.....	34
5.1 Laboratorio de Medición de Potencia y Velocidad de Transmisión.....	34
5.2 Laboratorio de Medición de Interferencias en Enlaces Inalámbricos.....	34

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES

INALÁMBRICAS PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES UIS 4

5.3 Validación del funcionamiento del enlace	35
6. Presupuesto técnico y económico	37
7. Resultados de practica de enlaces en el segundo diseño.....	38
8. Conclusiones.....	38
9. Recomendaciones	40
Referencias Bibliográficas.....	41
Apéndices	41

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Altura de edificaciones dentro del campus universitario.....	17
Tabla 2. Cálculos del diseño 1 – Enlace 1 (Ver anexo 8).....	21
Tabla 3. Cálculos del diseño 1 – Enlace 2 (Ver anexo 8).....	23
Tabla 4. Cálculos del diseño 1 – Enlace 3 (Ver anexo 8).....	25
Tabla 5. Cálculos del diseño 1 – Enlace 4 (Ver anexo 8).....	28
Tabla 6. Cálculos del diseño 1 – Enlace 1 (Ver anexo 8).....	31
Tabla 7. Cálculos del diseño 1 – Enlace 2 (Ver anexo 8).....	32
Tabla 8. Cálculos del diseño 1 – Enlace 3 (Ver anexo 8).....	33

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Tipos de estructuras definidas para protocolos de la Comisión de Regulación de Comunicaciones.....	15
Figura 2. Topología definida para el laboratorio de radioenlaces UIS.....	18
Figura 3. Topología en mapa de los enlaces para el laboratorio de radioenlaces UIS.....	19
Figura 4. Enlace entre el edificio LP y biblioteca con aplicación UISP Design Center.....	20
Figura 5. Enlace entre el edificio LP y biblioteca de la UIS con aplicación UISP Design Center con afectación en su propagación en zona lluviosa, se permite solo en enlaces de 60 GHZ.....	20
Figura 6. Proyección del enlace entre los edificios de LP y Biblioteca.....	21
Figura 7. Enlace entre el edificio LP y Biblioteca con aplicación UISP Design Center.....	22
Figura 8. Proyección de la primera reflexión entre edificio de biblioteca y mantenimiento.....	23
Figura 9. Proyección de enlace entre el edificio Alta Tensión y Biblioteca.....	24
Figura 10. Proyección de reflexión entre el edificio de biblioteca y al edificio de Alta Tensión..	25
Figura 11. Proyección de enlace entre el edificio Alta Tensión y Biblioteca	26
Figura 12. Proyección de reflexión entre el edificio de E3T y la torre en biblioteca.....	27
Figura 13 Proyección del enlace entre LP y Auditorio Luis A. Calvo con afectación de RF noise urbano.....	28
Figura 14. Proyección de reflexión entre el edificio de LP y el edificio de mantenimiento.....	30
Figura 15. Proyección de reflexión entre el edificio de mantenimiento y el edificio de Humanas 2.....	31
Figura 16. Proyección de reflexión entre el edificio de LP y el edificio de Humanas 2.....	33
Figura 17. Ejemplo de configuración usando plataforma de TP-link cpe 710.....	35

Lista de Apéndices

Apéndice A. <i>Guía de montaje</i>	42
Apéndice B. <i>Códigos de programación</i>	47
Apéndice C. <i>Análisis de enlaces</i>	53
Apéndice D. <i>Tablas y gráficos</i>	55
Apéndice E. <i>Registro de enlaces y espectros</i>	60
Apéndice F. <i>Presupuesto</i>	68
Apéndice G. <i>Catálogos de antenas</i>	71
Apéndice H. <i>Cálculos de los enlaces</i>	73
Apéndice I. <i>Catálogo antena</i>	77
Apéndice J. <i>Guía práctica</i>	78

Resumen

Título: Diseño e implementación de un sistema de comunicaciones inalámbricas para el laboratorio de comunicaciones UIS*

Autor: Jairo Andrés Sánchez Castañeda, Javier Alexander Caballero Flórez**

Palabras Clave: Radioenlace, Antena, IEEE 802.11, Radio propagación, telecomunicaciones, medios de transmisión.

Descripción:

El presente trabajo de grado tiene como objetivo ampliar los alcances del laboratorio de comunicaciones de la Universidad Industrial de Santander (UIS) mediante la implementación de dispositivos comerciales de propósito específico. Estos dispositivos permitirán a los estudiantes enfrentar retos reales en la implementación de sistemas de transmisión inalámbrica, integrando teoría y práctica de manera efectiva.

Para ello, se propone el diseño de una red local que posibilite la convergencia de diversos tipos de radioenlaces en diferentes rangos de frecuencia. Este diseño conceptual brindará a los estudiantes la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos en clase, transformándolos en soluciones prácticas.

Durante el desarrollo del proyecto, se validarán las alternativas planteadas en el modelo conceptual y se implementarán pruebas de comunicación en nodos ubicados dentro del campus universitario, con el fin de evaluar su desempeño en un entorno real.

Este proyecto tiene como finalidad no solo fortalecer los laboratorios de las asignaturas de Comunicaciones I, Comunicaciones II y Medios de Transmisión, sino también potenciar la visión de la UIS como un referente en innovación tecnológica, contribuyendo a su posicionamiento como un laboratorio de ciudad inteligente. Con este trabajo, se busca fomentar un aprendizaje más interactivo y aplicado, que inspire futuras iniciativas en el campo de las telecomunicaciones y beneficie a la comunidad académica.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Programa académico. Director: Efrén Darío Acevedo Cárdenas. MSC. Codirector: Homero Ortega Boada. PHD.

Abstract

Title: Design and implementation of a wireless communications system for the UIS communications laboratory*

Author(s): Jairo Andrés Sánchez Castañeda, Javier Alexander Caballero Flórez**

Key Words: Radio link, Antenna, IEEE 802.11 wireless, Radio propagation, telecommunications, transmission media.

Description:

The objective of this thesis is to expand the scope and capabilities of the communications laboratory at the Universidad Industrial de Santander (UIS) by incorporating commercial off-the-shelf devices. The use of these devices will provide students with the opportunity to engage directly with real-world challenges in the implementation and management of wireless transmission systems. By bridging the gap between theoretical knowledge and practical applications, the project aims to offer a more immersive and hands-on learning experience.

To meet this objective, a design for a local network is proposed that enables the convergence of various types of radio links operating across different frequency ranges. This conceptual network design will allow students to apply the theoretical concepts they have learned in class to real-world scenarios, fostering a deeper understanding of communication technologies.

Throughout the project's development, the proposed alternatives in the conceptual model will be rigorously tested and validated. Communication nodes will be deployed and tested on the university campus to evaluate their performance in a practical environment, ensuring the system's feasibility and effectiveness.

This project not only seeks to enhance the laboratories for subjects such as Communications I, Communications II, and Transmission Media but also aims to strengthen the vision of the Universidad Industrial de Santander as a leader in technological innovation, contributing to its positioning as a smart city laboratory.

* Degree Work

**School of Physical and Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Academic Program. Director: Efrén Darío Acevedo Cárdenas. MSC. Co-director: Homero Ortega Boada. PHD.

Introducción

Ante la creciente necesidad del ser humano de mantenerse conectado con el mundo usando la internet, se establece que “para el año 2025 se espera que a nivel mundial tan solo las conexiones inalámbricas WIFI estarán valorado en 4,9 billones de dólares, según estudio de asesoría de TELECOM y la conectividad alcanzará los 27 mil millones de dispositivos conectados por este medio” (Llorente, 2022). Atendiendo las tendencias tecnológicas que hay en el mundo en el ámbito de las comunicaciones inalámbricas, este proyecto plantea realizar el laboratorio de comunicaciones inalámbricas distribuido por el campus universitario central de la Universidad Industrial de Santander. Dentro de los objetivos de corto plazo, se planea adquirir un set de equipos comerciales, con el cual los estudiantes podrán realizar enlaces a diferentes bandas de frecuencias libres (2.4, 5.2 y 60 GHz).

En la actualidad, en el mercado existen una amplia gama de dispositivos de bajo costo que permiten el despliegue de infraestructura a gran escala. Bajo esta premisa, el modelo presentado en el presente trabajo es escalable en cuanto a la cantidad de nodos interconectados, esto con el fin de desarrollar una red de datos que permita integrar dispositivos enrutadores inalámbricos para la internet de las cosas (IoT). La IoT es una tecnología transversal a las áreas del conocimiento que son competencia de la ingeniería electrónica. Es decir, con esto podemos aunar esfuerzos con el diseño electrónico para crear dispositivos que atienden a demandas específicas del mercado; teniendo el despliegue de la red de IoT dentro del campus principal, se pueden proponer la implementación redes de sensores que permitan el estudio de instrumentación electrónica e impulsar los retos cotidianos de control de procesos.

En el laboratorio de comunicaciones UIS el principal problema es la falta de instrumentos que permitan al estudiante adquirir habilidades para el manejo de dispositivos inalámbricos que están a la vanguardia en el mercado, con esta premisa, se espera dar las herramientas para el futuro egresado al dar un paso al mercado laboral, pueda asumir los retos y se encuentre con herramientas similares con las que pudo formarse. En la actualidad, los laboratorios cuentan con herramientas como la Radio Definida por Software que permite el análisis desde la base conceptual de los sistemas de comunicaciones y crear una infinidad de escenarios reales que permitan contrastar con los modelos teóricos.

Al desarrollar el presente proyecto se contará con herramientas para el diseño de redes inalámbricas, la implementación del laboratorio de comunicaciones inalámbricas distribuidas, la elaboración de un presupuesto y el manual de buenas prácticas para la implementación de este tipo de proyectos. Con todo esto, se espera elevar el interés de los estudiantes por las comunicaciones inalámbricas, pero también, se espera contribuir al desarrollo de soluciones que requiere la industria en términos de conectividad.

Al observar la topología que tiene campus de la UIS se enfrentan grandes retos referentes a la infraestructura física y solucionarlos con la ubicación de puntos estratégicos dentro del mismo y ofrecer la solución a estos retos para que los estudiantes desarrollen mayores competencias en el despliegue de las redes inalámbricas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema distribuido de comunicaciones inalámbricas para prácticas con dispositivos comerciales con estándar IEEE 802.11 de redes wifi, como parte del laboratorio de comunicaciones de la UIS.

1.2 Objetivos específicos

El cumplimiento del objetivo general del trabajo de grado comprende:

- ✓ Diseñar un laboratorio de comunicaciones inalámbricas distribuido en el campus principal de la Universidad Industrial de Santander.
- ✓ Establecer el presupuesto necesario para el despliegue de la infraestructura necesaria para el laboratorio en sus diferentes fases.
- ✓ Implementar un piloto de comunicaciones inalámbricas que incluya un enlace fijo, móvil y un nodo de para la internet de las cosas.
- ✓ Desarrollar una red de comunicaciones inalámbricas confiable y segura para el laboratorio de comunicaciones que permita realizar experimentos y prácticas en un entorno controlado.
- ✓ Documentar el proceso de implementación de infraestructura de comunicaciones móviles basado en la experiencia piloto desarrollada.

2. Marco Teórico

2.1 Redes inalámbricas

Los enlaces inalámbricos son redes que utilizan ondas de radio para conectar los dispositivos, sin la necesidad de utilizar cables de ningún tipo. Hoy en día la configuración de red inalámbrica es sencilla de operar y hay una enorme cantidad de productos en el mercado, se puede elegir entre diferentes tecnologías aquella que mejor se adapte a los requisitos de la aplicación y al alcance, desde unos pocos metros hasta varios kilómetros. Sin duda, las redes inalámbricas ofrecen nuevas oportunidades para soluciones industriales, pero deben implementarse con especial atención a la seguridad.

El ser humano ha empleado diversas técnicas que han permitido a lo largo del tiempo realizar conexión entre diversos dispositivos como: la radio comercial, la televisión, telefonía móvil, enlaces satelitales, entre muchos otros. Para realizar enlaces inalámbricos, existen diferentes tipos de antenas según su directividad, algunos de ellos son:

Antenas Omnidireccionales: Estas antenas tienen un patrón de radiación que es igual en todas las direcciones. Son ideales para comunicaciones inalámbricas donde se requiere cubrir un área amplia y no se conoce la dirección exacta de la señal. (Yubero, 2022)

Antenas Direccionales: Estas antenas tienen un patrón de radiación que es más fuerte en una dirección específica y más débil en otras direcciones. Son ideales para aumentar la potencia de la señal en una dirección específica y para reducir interferencias en otras direcciones.

2.2 Tipos de redes inalámbricas

Para poder cumplir con los objetivos planteados en este proyecto debemos contemplar los análisis que nos permitan elegir el protocolo correcto.

En resumen, los principales estándares utilizados en la actualidad para el intercambio de información entre dispositivos en capa física, se encuentran:

IEEE 802.11a: Utiliza la banda de frecuencia de 5 GHz en un ancho de banda de 20 MHz. Rango de 35 Mbps en interiores, 119 Mbps de 11 a 54 Mbps en exteriores.

IEEE 802.11b: Utiliza la banda de frecuencia de 2,4 GHz en un ancho de banda de 20 MHz. Rango de 35 Mbps en interiores, 140 Mbps en exteriores 140 Mbps de velocidad.

IEEE 802.11g: Utiliza la banda de frecuencia de 2,4 GHz en un ancho de banda de 20 MHz. Rango de 38 en interiores, 140 Mbps de velocidad en exteriores 54 Mbps.

IEEE 802.11n: Utiliza la banda de frecuencia de 2,4/5 GHz en un ancho de banda de 20/40 MHz. Rango de 70 en interiores, 250 Mbps en exteriores y 150Mbps de velocidad.

IEEE 802.11ac (versión preliminar): Utiliza la banda de frecuencia de 5 GHz en un ancho de banda de 160 MHz. Rango de 70 Mbps en interiores, 250 En exteriores, 250 Mbps Velocidad máxima de 866 Mbps a 6,93 Gbps (basado en hasta 8 flujos de datos)

IEEE 802.11ad (WiGig): Utiliza la banda de frecuencia de 2,4/5/60 GHz. Rango de 1 a 10 velocidades de 6,75 Gbps (transmisión de video inalámbrico de calidad HD)

IEEE 802.11ac: Lanzado en 2013, funciona en la banda de frecuencia de 5 GHz y proporciona velocidades de datos que van desde 450 Mb/s hasta 1,3 Gb/s (1300 Mb/s). Usa la tecnología MIMO para mejorar el rendimiento de la comunicación. Se pueden admitir hasta ocho antenas.

2.3 Despliegue de infraestructura

De acuerdo con el código buenas prácticas para despliegue infraestructura telecomunicaciones, publicado por la CRC en el año 2020: “Antes de instalar cualquiera de las infraestructuras señaladas en zonas urbanas usualmente se evalúan otras alternativas para la instalación de antenas, dentro de las cuales se tienen en cuenta si los depósitos de agua, postes de energía, postes de centros comerciales, torres de iluminación, iglesias y otras construcciones de elevada altura, siempre y cuando la misma, sea suficiente para permitir el correcto funcionamiento de las antenas, sin que se vea afectada la calidad del servicio. Así mismo, debe existir conformidad por parte del potencial arrendador, y la resistencia estructural adecuada”. (Comisión de Regulación de Comunicaciones, 2020)

Figura 1.

Tipos de estructuras definidas para protocolos de la Comisión de Regulación de Comunicaciones



Nota. Comisión de regulación de comunicaciones, 2020.

Al implementar cualquier tipo de radioenlace, se debe tener en cuenta las estructuras establecidas en las diferentes recomendaciones dadas para brindar la seguridad suficiente de la

instalación de dispositivos, contemplando diferentes alternativas que existen en la actualidad sin dañar el paisajismo del campus universitario; aspectos que se evalúan también con los costos de implementación.

3. Diseño del laboratorio de radioenlace

A continuación, damos la base de este proyecto el cual es el diseño que cumple con las características plantadas y con el cual podemos lograr un laboratorio deseado utilizando softwares (UISP, MATLAB) como herramienta para tener los valores con lo cuales podemos hacer la comprobación.

Para desarrollar el modelo conceptual del laboratorio de comunicaciones inalámbricas se han utilizado dos herramientas que parten son parte de una solución comercial (UISP Design Center) y la otra desde un modelo teórico usando herramientas usadas por los estudiantes durante su paso por la academia (Matlab). Utilizando una herramienta que nos permite visualizar el diseño de un radioenlace llamado UISP Design Center, con el cual obtenemos datos que nos hacen ver si es viable nuestro enlace, ofrecida por la marca Ubiquiti en su sitio online. (Ubiquiti, 2003)

Por otro lado, creamos un modelo de propagación de trazado de rayos utilizando el método de disparo y rebote de rayos (SBR). “El modelo de propagación SBR utiliza el análisis de trazado de rayos para calcular las trayectorias de propagación y sus correspondientes pérdidas de trayectoria” (MathWorks, 2023). La pérdida de trayectoria se calcula a partir de la pérdida en el espacio libre, la pérdida por reflexión debida al material junto con la pérdida por polarización de la antena, utilizado la documentación en web del sitio oficial. (MATLAB, 2011)

Para poner de manera real la simulación de las edificaciones, utilizamos la opción de editor de openstreetmap (.osm). Con el cual podemos estructurar el plano que utiliza MATLAB en su

modelo de propagación SBR, teniendo en cuenta que cambiamos las alturas de las edificaciones implicadas en los enlaces y edificios que podrían afectar a estos.

Tabla 1.

Altura de edificaciones dentro del campus universitario.

Nombre Edificio	Niveles	Altura edificio (m)
Biblioteca Central	4	15
Instituto de Lenguas	3	11
Mamitza Bayer	3	12
UisSalud	2	8
Centic	5	15
Camilo Torres	4	13
Coliseo Uis	1	7
Auditorio Luis A. Calvo	1	17
Ciencias Humanas 2	9	27
Gestión Logística	7	18
Edificio Administración 1	3	9
Aula Máxima Ciencias	2	6
Ingeniería Mecánica	4	13

Para esto establecemos el número máximo de reflexiones y ajustamos la altura de los edificios, obteniendo la mayor cantidad de reflexiones posibles para el radio enlace, por medio de estos ajustes en el programa podemos obtener una simulación más cercana a la realidad.

Dentro de este diseño Importamos y visualizamos datos de edificios 3D en Site Viewer el cual se obtiene como archivo (.osm) el cual es de libre acceso. (MathWorks, 2023)

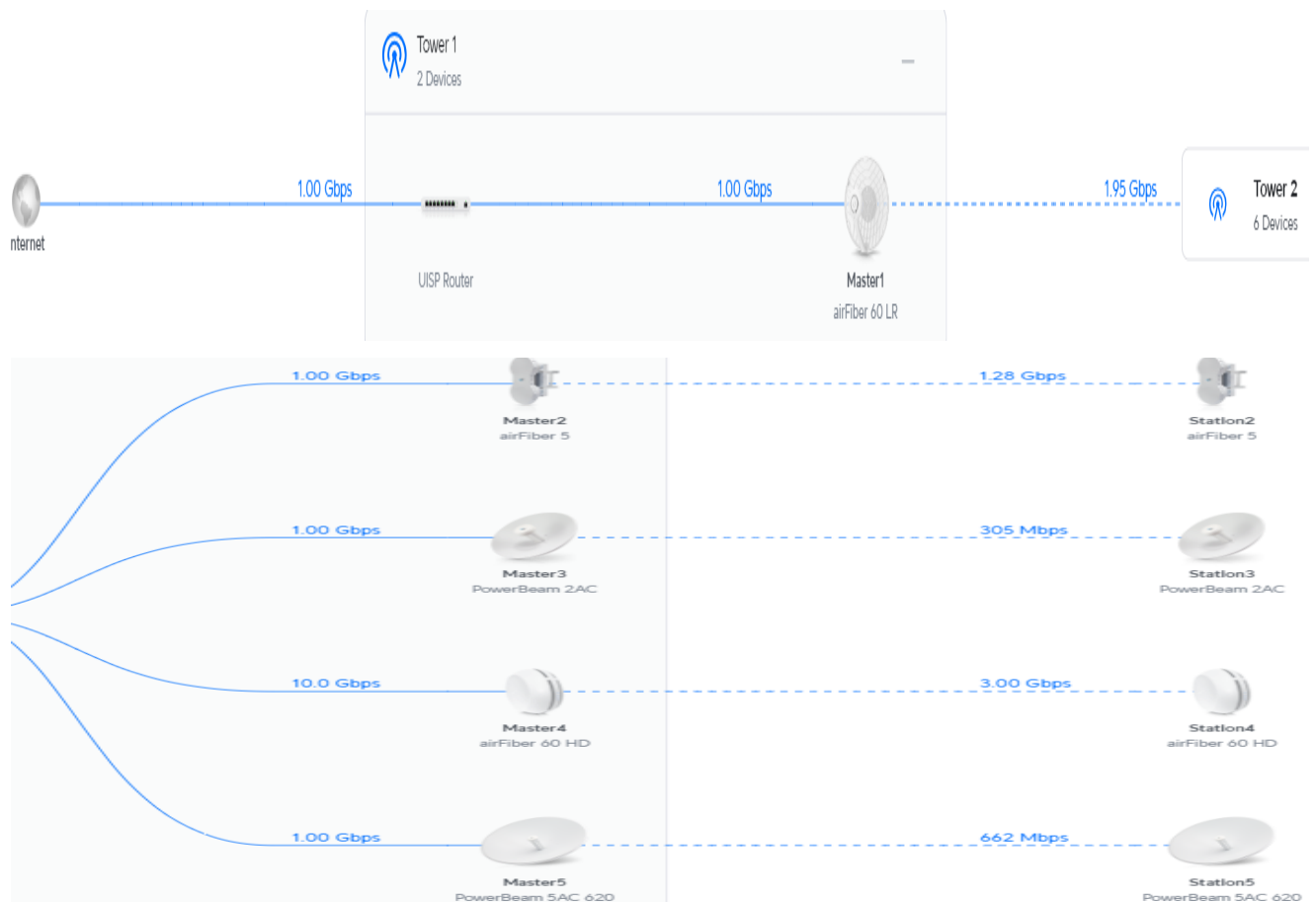
Buscamos topologías basadas en cubrir la gran mayoría de estudiantes de la Universidad Industrial de Santander; se define como región desde la entrada de la carrera 27 hasta el edificio de bienestar universitario, desde esta línea de acción se baja hasta la entrada de la carrera 25.

Observamos el mapa de cobertura correspondiente para un alcance máximo de 350 metros desde la estación base, donde se muestra la potencia recibida por un receptor en cada ubicación en tierra, pero no se calcula para las partes superiores o laterales de los edificios.

Para la realización de la siguiente topología empleamos la aplicación UISP Design Center.

Figura 2.

Topología definida en el diseño de los enlaces para el laboratorio de radioenlaces UIS



Nota. Tomado en UISP Design Center

Definido el campo de acción se utilizó una torre central que ubicamos en el edificio de biblioteca. Ya que nos permite obtener una buena recepción de señal en los diferentes enlaces a realizar. Por otro lado, tratamos de cubrir las frecuencias más utilizados con nuestros enlaces.

Figura 3.

Topología en mapa de los enlaces para el laboratorio de radioenlaces UIS



Nota. Tomado en UISP Design Center

3.1 Enlace 1

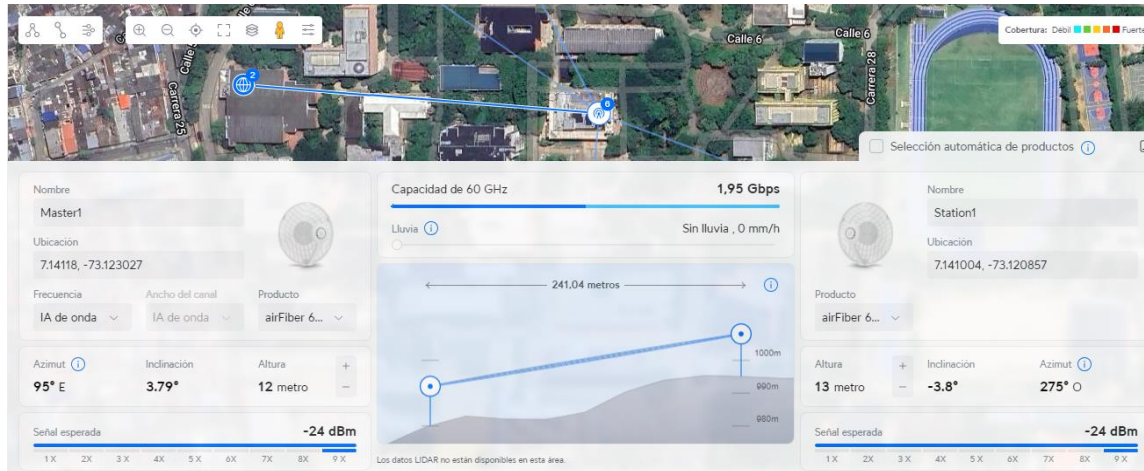
Para la realización del radioenlace se tuvieron en cuenta las coordenadas específicas sobre el nivel del mar del edificio LP de la UIS, la cual nos muestra la posición con una latitud de 7.14117, longitud de -73.12296 y altitud de 975 metros sobre el nivel del mar.

Por otro lado, tenemos que la posición geográfica del edificio de Biblioteca es latitud 7,14073, longitud -73,1209 y altitud de 995 metros sobre el nivel del mar.

Realizamos el diseño del enlace con dos antenas airFiber 60 LR (Ver manual en anexo 7). Por medio de la aplicación UISP Design Center obtuvimos un enlace de 1952 Mbps y una expectativa de señal de -24 dBm, tal como se muestra en la Figura 4.

Figura 4.

Enlace entre el edificio LP y biblioteca de la UIS con aplicación UISP Design Center

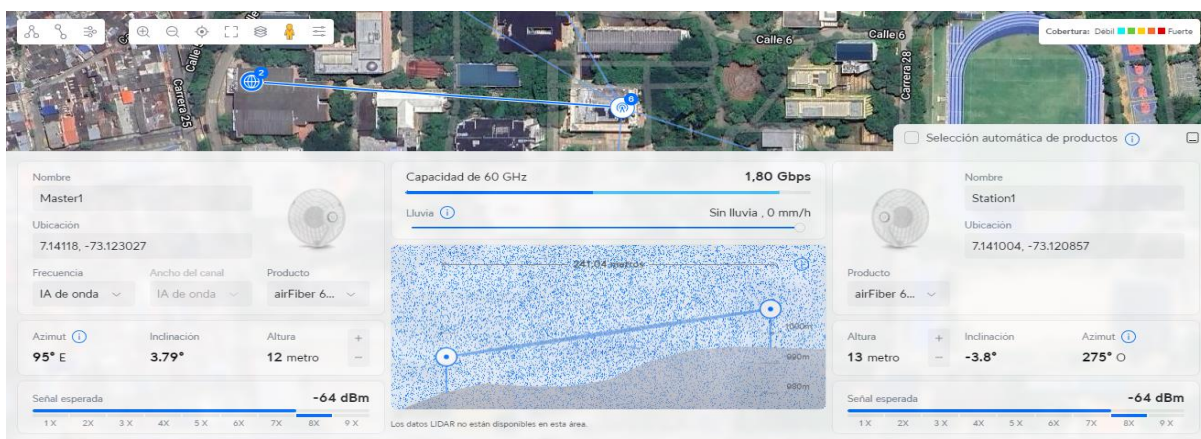


Nota. Tomado en UISP Design Center

En este enlace observamos la afectación que tiene la lluvia en altas frecuencias como podemos observar en la tabla 2 (ver anexo 4) con los valores obtenidos con la aplicación UISP Design Center como lo muestra la Figura 5.

Figura 5.

Enlace entre el edificio LP y biblioteca de la UIS con aplicación UISP Design Center con afectación en su propagación en zona lluviosa, se permite solo en enlaces de 60 GHz.

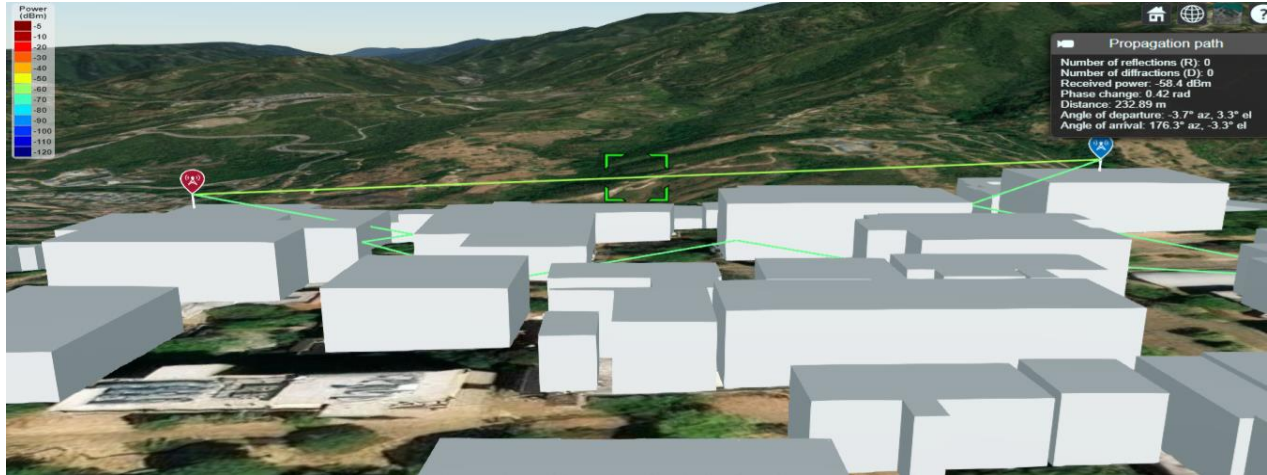


Nota. Tomado en UISP Design Center

En el análisis que realizamos con MATLAB obtenemos las siguientes reflexiones posibles como se observan en las Figura 6. Utilizando el código 1 que se encuentra en el anexo 2.

Figura 6.

Proyección del enlace entre los edificios de LP y Biblioteca.



Nota. Tomado en UISP Design Center

Observamos que obtenemos un enlace de alta calidad ya que el edificio de biblioteca se encuentra a una altura mayor sobre el nivel del mar esto nos permite obtener una buena transmisión de datos por la reflexión de línea de vista al observar que la segunda se presenta en una zona boscosa y dándonos una potencia de recepción de -58.4 dBm con la cual obtenemos un enlace con una buena estabilidad.

Tabla 2.

Cálculos del diseño 1 – Enlace 1(Ver anexo 8).

FSL	123.6 dB	MARGEN	25 dB	FRESNEL	0.73 m
ENLACE	-72 dB	PIRE	32 dB	SNR	66.74 dB

Analizando los resultados, obtuvimos un buen MARGEN, lo cual es favorable para las zonas urbanas, donde se recomienda que sea superior a 20 dB y con un SNR alto nos permite que el enlace no presente interferencias.

3.2 Enlace 2

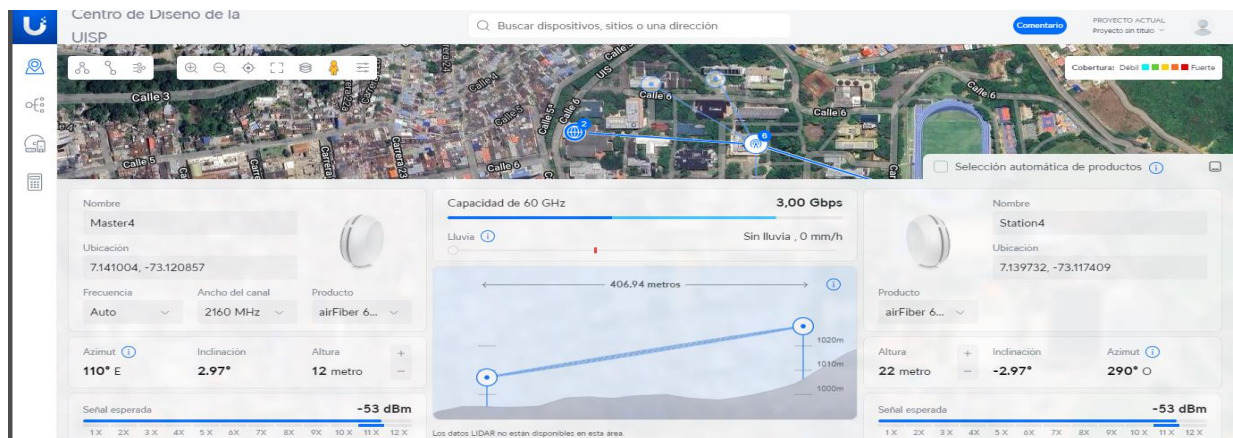
Para este enlace se escogió antenas airFiber 60 HD (Ver manual en anexo 7) por ser el enlace de mayor distancia y que puede ofrecer una mayor cantidad de área cubierta.

Tenemos que la posición geográfica del edificio de Biblioteca es latitud 7,14073, longitud -73,1209 y altitud de 995 metros sobre el nivel del mar.

Por otro lado, la posición geográfica del edificio de mantenimiento es latitud 7,1397, longitud -73,1174 y altitud de 1036 metros sobre el nivel del mar.

Figura 7.

Enlace entre el edificio LP y Biblioteca con aplicación UISP Design Center



Nota. Tomado en UISP Design Center

En la figura 8 observamos la conexión de los edificios de biblioteca y mantenimiento, lo cual nos presenta otros retos diferentes para el laboratorio. Para el análisis de afectación con lluvia se realiza el mismo procedimiento anterior y se tabula los datos en la tabla 2 (Ver anexo 4).

Para el análisis de propagación utilizamos MATLAB. Ver figura 10. Como resultado de la mejor reflexión el análisis de las otras reflexiones se encuentra en el anexo 3, utilizando el código 2 que se encuentra en el Anexo 2.

Figura 8.

Proyección de la primera reflexión entre el edificio de biblioteca y de mantenimiento



Nota. Tomado en UISP Design Center

Observamos que el enlace generado se da a larga distancia dentro de los límites del campus universitario siendo la potencia de recepción -79.9 dBm.

Tabla 3.

Cálculos del diseño 1 – Enlace 2(Ver anexo 8).

FSL	123.6 DB	MARGEN	25 DB	FRESNEL	0.73 M
ENLACE	-72 dB	PIRE	32 dB	SNR	66.74 dB

3.3 Enlace 3

Para este enlace escogimos el edificio de Alta de tensión para que el estudiante pueda realizar una conexión desde el laboratorio.

Para la realización del radioenlace 3 se tuvieron en cuenta las coordenadas específicas sobre el nivel del mar del edificio de Alta tensión de la UIS, la cual nos muestra la posición con una latitud de 7.141833, longitud de -73.1221 y altitud de 967 metros sobre el nivel del mar.

Por otro lado, tenemos que la posición geográfica del edificio de Biblioteca es latitud 7,14073, longitud -73,1209 y altitud de 995 metros sobre el nivel del mar.

Trabajamos con una frecuencia de 2.4 GHz ya que esta es una de las frecuencias más comerciales que se utilizan y presenta otros retos que se pueden observar en la transmisión de datos constantes como cámaras y otros gadgets.

Figura 9.

Proyección de enlace entre el edificio Alta Tensión y Biblioteca



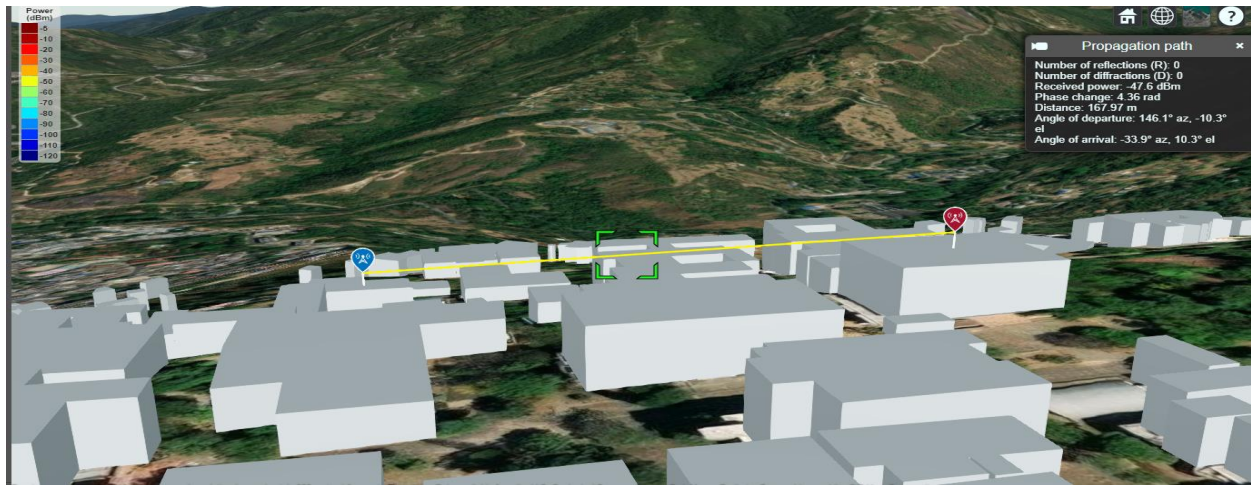
Nota. Tomado en UISP Design Center

En este enlace se obtiene una transmisión de 305 Mbps, lo cual nos permite conectarnos por medio de IP a las otras antenas que se encuentra en una red LAN, permitiendo que el estudiante pueda obtener datos del laboratorio sin salir del edificio; esto se puede generando una IP fija para cada antena y que ésta no tenga manipulación externa.

Para la propagación realizamos el análisis con MATLAB obteniendo las posibles reflexiones como se observan en la figura 13. Utilizamos el código 3 que se encuentra en el anexo 2.

Figura 10.

Proyección de reflexión entre el edificio de biblioteca y al edificio de Alta Tensión.



Nota. Tomado en UISP Design Center

Como este enlace se localiza en zona boscosa, las antenas se deben instalar a 5 m de altura en cada ubicación para afrontar estos retos, donde tenemos que la potencia de recepción es de -47.6 dBm, lo cual permite tener un enlace dentro de los estándares de una buena conexión.

Tabla 4.

Cálculos del diseño 1 – Enlace 3 (Ver Anexo 8).

FSL	87.6 DB	MARGEN	48 DB	FRESNEL	2.3 M
ENLACE	-48dB	PIRE	31 dB	SNR	110.74 dB

Observamos que el enlace genera un gran MARGEN, por lo que es posible una buena transmisión de datos y un SNR de 110.74 dB.

3.4 Enlace 4

Para este enlace escogimos el edificio de la E3T para que pueda tener un reto diferente ya que la antena permite tener una doble inclinación, en una frecuencia bastante comercial.

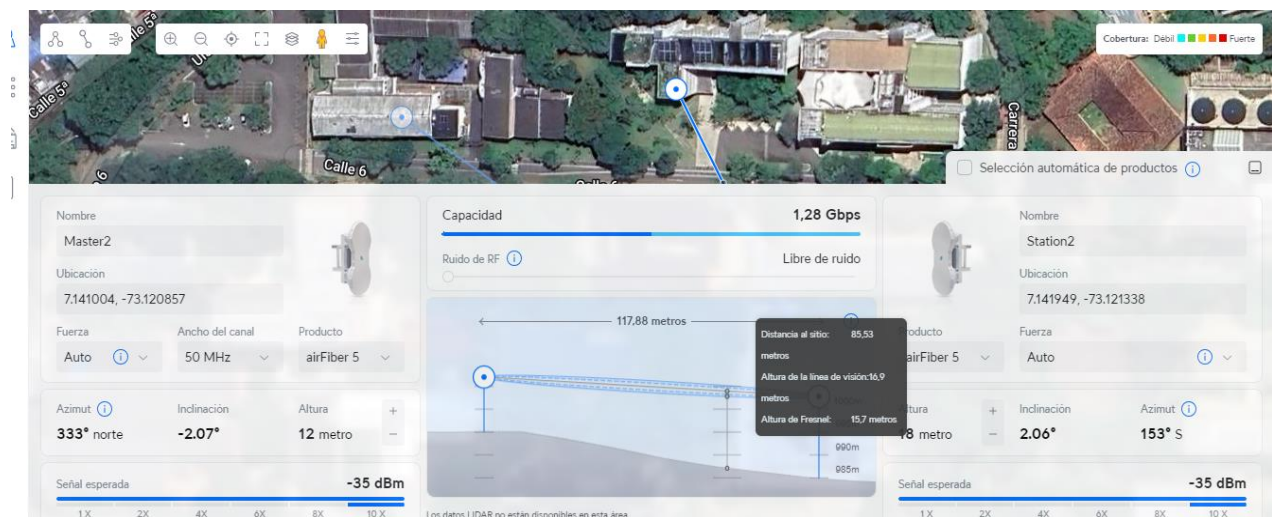
Para la realización del radioenlace 4 se tuvieron en cuenta las coordenadas específicas sobre el nivel del mar del edificio de E3T de la UIS, la cual nos muestra la posición con una latitud de 7.14096, longitud de -73.1209 y altitud de 990 metros sobre el nivel del mar.

Por otro lado, tenemos que la posición geográfica del edificio de Biblioteca es latitud 7,14073, longitud -73,1209 y altitud de 995 metros sobre el nivel del mar.

Trabajamos con una frecuencia de 5 GHz ya que ésta es una de las más comerciales, utilizando una antena diseñada para una gran capacidad de transmisión que nos permite demostrar que a una baja frecuencia podemos tener un enlace de gran transmisión.

Figura 11.

Proyección de enlace entre el edificio Alta Tensión y Biblioteca



Nota. Tomado en UISP Design Center

En este enlace se obtiene una transmisión 1.28 Gbps, siendo una solución viable para la utilidad que se le quiera dar en el ancho de banda y otras aplicaciones que le permitan la transmisión de datos. Para la propagación realizamos el análisis con MATLAB obteniendo las posibles reflexiones como se observan en la figura 14. Empleamos el código 4 que se encuentra en el anexo 2.

Figura 12.

Proyección de reflexión entre el edificio de E3T y la torre en biblioteca



Nota. Tomado en UISP Design Center

Encontramos un enlace que nos permite tener otra experiencia con respecto al manejo de la potencia del enlace, generando una buena recepción. Presentando en línea directa una medida de -51.1 dBm. Para el análisis de la 2 reflexión (Ver el Anexo 3).

Tabla 5.

Calculos del diseño 1 - Enlace 4 (Ver Anexo 8).

FSL	90.8 DB	MARGEN	37 DB	FRESNEL	1.33 M
ENLACE	-58dB	PIRE	35 dB	SNR	88.31 dB

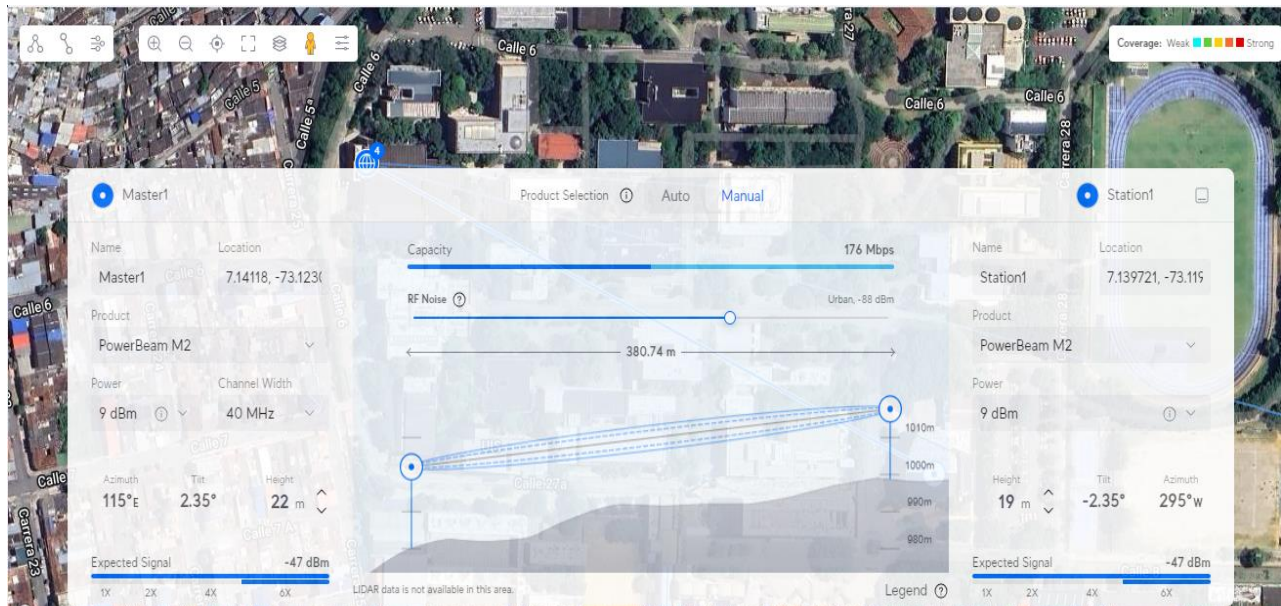
Del enlace entre los edificios E3T y la torre en biblioteca se da una diferencia de 6 dBm entre lo simulado y los cálculos realizados, por lo que se puede diseñar un enlace de -60 dBm, la potencia de trasmisión posee una zona de Fresnel pequeña permitiendo esquivar los árboles presentes en la línea de vista.

En la tabla 2 (ver anexo 4) podemos ver las afectaciones que tiene la lluvia y el RF noise que se encuentran en el ambiente interrumpiendo con una lluvia de 59 mm/hr, presentando una afectación en el enlace, siendo superior a -60 dBm.

Por otro lado, al presentar un enlace con RF noise de -88 dBm, el UISP Design Center lo proyecta como zona urbana, esto no genera afectaciones en nuestro enlace haciéndolo robusto ante la presencia de campos electromagnéticos establecidos en la normatividad de la resolución 2544 de 2009.

Figura 13.

Proyección del enlace entre LP y Auditorio Luis A. Calvo con afectación de RF noise urbano



Nota. Tomado en UISP Design Center

En la figura anterior observamos las afectaciones que tienen las señales por la contaminación que ocurre, en este caso, en las zonas urbanas se deben tener en cuenta para el análisis del enlace.

4. Diseño 2 para aplicación de la prueba piloto en la UIS

Dado que no se encontraron los fondos necesarios para la puesta en marcha del primer diseño se tomó la decisión de hacer un segundo diseño con antenas un poco más accesibles en el mercado pero que nos permitieran demostrar la validación que se debe realizar para la comprobación de un sistema de enlaces dentro del campus de la UIS. Cabe aclarar que nuestro diseño es completamente compatible para comprobar el establecimiento del primer diseño.

4.1 Enlace 1

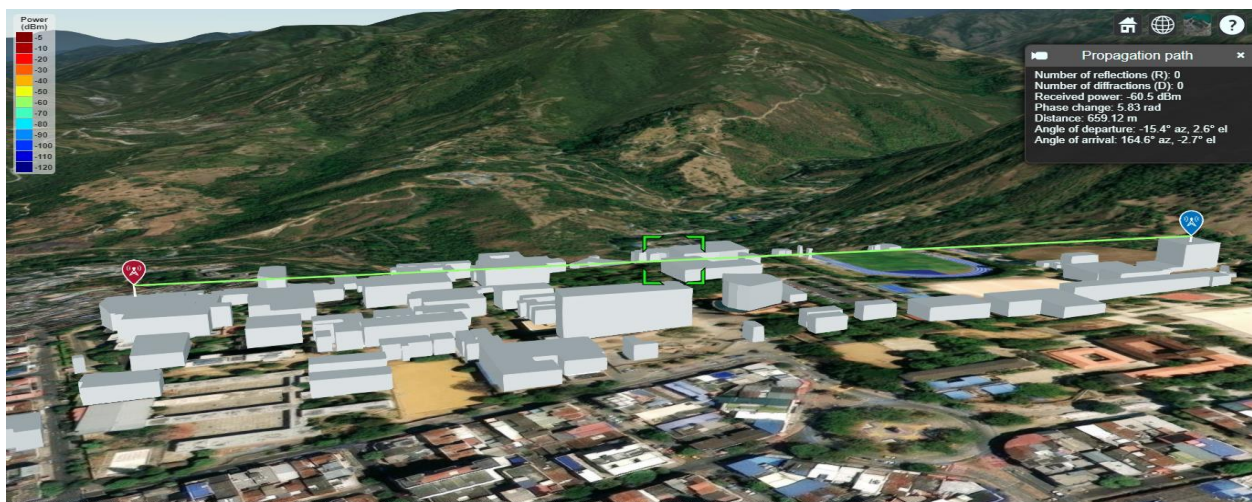
Este enlace quedo establecido como el enlace más largo que podemos obtener dentro del campus universitario. Utilizando antenas TP-link 5 GHz AC867 23 dBi Outdoor cpe 710 (Ver ANEXO 9) la cual nos permite una interfaz amigable. Comenzamos transmitiendo desde la torre ubicada en el edificio LP de la UIS, la cual nos muestra la posición con una latitud de 7.14117, longitud de -73.12296 y altitud de 975 metros sobre el nivel del mar.

Por otro lado, tenemos que la posición geográfica del edificio de mantenimiento es latitud 7,1397, longitud -73,1174 y altitud de 1036 metros sobre el nivel del mar. Trabajamos con una frecuencia de 5 GHz ya que esta es una de las frecuencias más comerciales a nivel nacional.

Para la propagación realizamos el análisis con MATLAB obteniendo las posibles reflexiones como se observan en las Figura 16, utilizando el código 5 que se encuentra en el anexo 2.

Figura 14.

Proyección de reflexión entre el edificio de LP y el edificio de mantenimiento



Nota. Tomado en Matlab

Una vez se tiene el enlace utilizando las medidas de altura de la tabla 1 obtenemos un enlace con una potencia de -60.5 dBm.

Tabla 6.

Calculos del diseño 2 – Enlace 1 (Ver Anexo 8)

FSL	105.8 DB	MARGEN	29 DB	FRESNEL	3.14 M
ENLACE	-66dB	PIRE	28 dB	SNR	92.33 dB

Es el enlace de mayor distancia que se puede hacer con respecto a utilizar las azoteas de las edificaciones que están dentro del campus universitario, por otro lado, a mayor distancia tenemos que cuidar la zona de Fresnel ya que se hace más grande, pero por el contrario tenemos un enlace de un buen MARGEN y un buen SNR.

4.2 Enlace 2

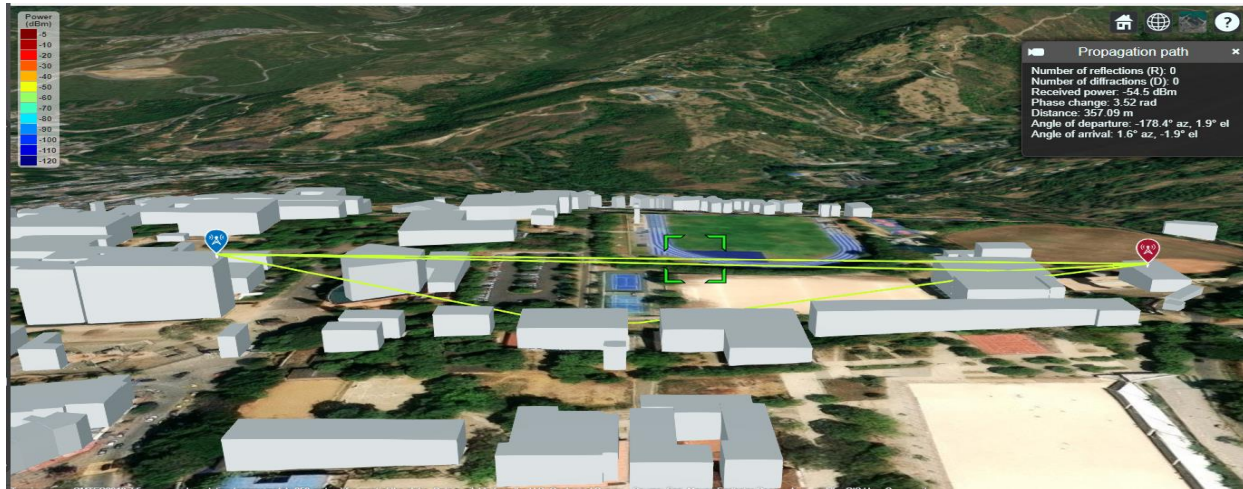
Comenzamos definiendo la posición del edificio de mantenimiento, donde la latitud es de 7,1397, longitud -73,1174 y altitud de 1036 metros sobre el nivel del mar.

Por otro lado, el edificio de humanas 2 de la UIS muestra la posición con una latitud de 7.141233, longitud de -73.122974 y altitud de 990 metros sobre el nivel del mar.

Para la propagación realizamos el análisis con MATLAB obteniendo las posibles reflexiones como se observan en las Figura 17, utilizando el código 6 que se encuentra en el anexo 2.

Figura 15.

Proyección de reflexión entre el edificio de mantenimiento y el edificio de Humanas 2.



Nota. Tomado en Matlab

Para este enlace logramos una transmisión en -54.5 dBm. Y un enlace muy estable ya que son los dos edificios de mejor posición por su altura respectiva.

Tabla 7.

Cálculos del diseño 2 - Enlace 2 (Ver Anexo 8)

FSL	100.4 DB	MARGEN	41 DB	FRESNEL	2.3 M
ENLACE	-56dB	PIRE	30 dB	SNR	93.39 dB

Según los cálculos realizados obtenemos un enlace correspondiente a la simulación que posee una zona de Fresnel acorde a los obstáculos más cercanos.

4.3 Enlace 3

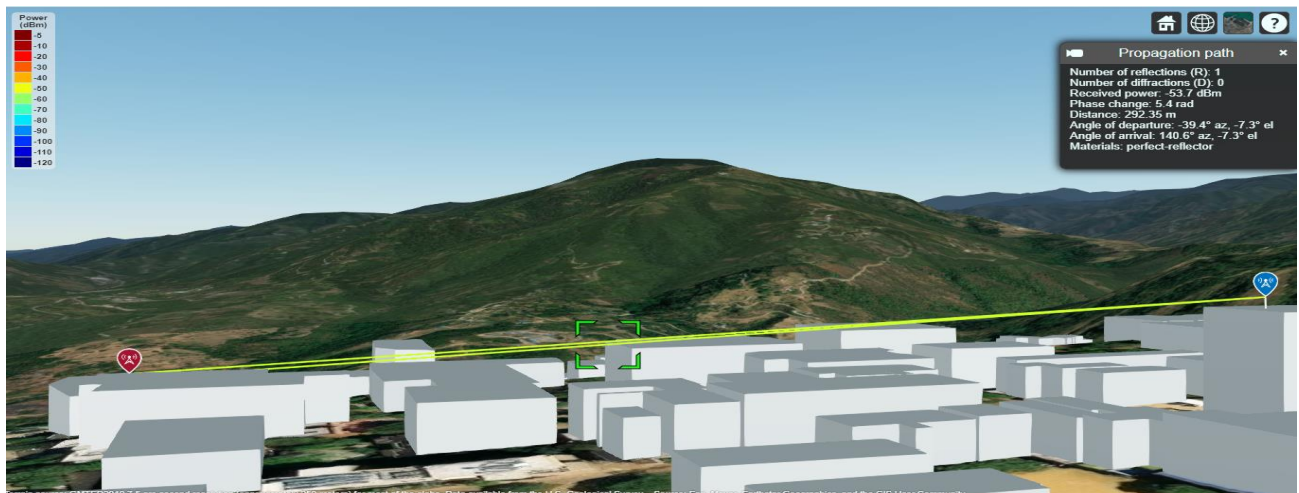
Comenzamos transmitiendo del edificio LP en posición con una latitud de 7.14117, longitud de -73.12296 y altitud de 975 metros sobre el nivel del mar.

Por otro lado, tenemos el edificio de humanas 2 de la UIS, con una posición de latitud 7.141233, longitud de -73.122974 y altitud de 990 metros sobre el nivel del mar.

Para la propagación realizamos el análisis con MATLAB obteniendo las posibles reflexiones como se observan en las Figura 18. Utilizando el código 8 que se encuentra en el anexo 2.

Figura 16.

Proyección de reflexión entre el edificio de LP y el edificio de Humanas 2



Nota. Tomado en Matlab

Para este enlace logramos una transmisión en -53.7 dBm. Generando buena señal, permitiendo gran velocidad en la transmisión.

Tabla 8.

Calculos del diseño 2 – Enlace 3.(Ver Anexo 8).

FSL	98.1 DB	MARGEN	41 DB	FRESNEL	2 M
ENLACE	-54dB	PIRE	30 dB	SNR	98.33 dB

Según los cálculos obtenidos se tiene una diferencia con lo simulado de 0.3, observamos un enlace viable y que posee una zona de Fresnel corta con la cual no se interfiere con ningún obstáculo, teniendo un SNR de gran valor.

5. Desarrollo de la red de comunicaciones para prácticas de laboratorio

En este contexto, El estudiante podrá enriquecer los conocimientos al interactuar con un sistema de antenas robustas la cual le brindara una mayor comprensión de datos claves en un enlace como tasa de transmisión, ancho y afectaciones que tienen estos enlaces.

5.1 Laboratorio de Medición de Potencia y Velocidad de Transmisión

Utilizando equipos de medición especializados, se instalarán transmisores y receptores en ubicaciones estratégicas para garantizar condiciones óptimas de prueba.

El objetivo principal de este experimento es determinar cómo los cambios en la potencia de transmisión afectan la velocidad de transferencia de datos. Las mediciones de la potencia de la señal se realizarán en diferentes niveles de transmisión y las velocidades de transferencia de datos se registrarán mediante protocolos estándar. (Ver Anexo 10).

Durante la prueba se evaluarán diferentes escenarios, como la distancia entre puntos, interferencias de otras redes y el uso de diferentes bandas de frecuencia. Los resultados obtenidos nos permitirán identificar patrones y establecer correlaciones, lo que ayudará a optimizar el rendimiento de la red. Además, este laboratorio proporcionará a los estudiantes una comprensión práctica de conceptos clave en comunicación.

5.2 Laboratorio de Medición de Interferencias en Enlaces Inalámbricos

En esta práctica estudiaremos las interferencias que afectan la calidad de los enlaces inalámbricos en el campus de la Universidad Industrial de Santander.

El objetivo principal de este experimento es identificar las diferentes formas de interferencia que pueden afectar a la señal en el enlace entre dos puntos. Se utilizarán herramientas de análisis de espectro y medidores de señal para evaluar la intensidad de la señal en presencia de diversas interferencias, como dispositivos electrónicos, otras redes Wi-Fi y obstrucciones físicas en el entorno.

Los estudiantes realizarán pruebas en diferentes ubicaciones y condiciones, midiendo parámetros como la relación señal-ruido (SNR). También probará diferentes canales y frecuencias para ver cómo estas variables afectan la interferencia.

5.3 Validación del funcionamiento del enlace

Durante la fase de validación del enlace inalámbrico, realizamos pruebas desde una potencia de transmisión mínima con pasos de 2 dBm hasta la máxima que es de 27 dBm para el modelo CPE710. Tras obtener los resultados estos nos confirmaron que el enlace funcionaba correctamente en todos los niveles de potencia. Además, también se ajusta la velocidad de transmisión, lo que nos permite evaluar el rendimiento del enlace bajo diferentes configuraciones. Los resultados fueron satisfactorios y demostraron la eficacia del sistema para mantener una conexión estable y eficiencia, como se muestra en las variables Figura 19.b.

Figura 17.

Ejemplo de configuración usando plataforma de TP-link cpe 710

The screenshot displays the TP-Link PHAROS web interface with the following sections and highlighted items:

- Información del Dispositivo:**
 - Nombre del Dispositivo: CPC710
 - Modelo del Dispositivo: CPC710 v2.0
 - Versión de Firmware: 1.0.0 Build 20220929 Rel. 40600 (0000)
 - Hora del sistema: 2015-01-01 01:43:53
 - Tiempo de Activación: 0 días 01:43:54
 - CPU: 1%
 - Memoria: 65%
- Calidad de Señal Inalámbrica:**
 - Intensidad de la Señal (Horizontal/Vertical): -63/-61 dBm
 - Intensidad del B. Señal: -91 dBm
 - SNR: 36 dB (highlighted in red box 'b')
 - Transmisión CCQ: 100 (highlighted in red box 'b')
- Configuraciones de Red Inalámbrica:**
 - País: Colombia
 - Canal/Frecuencia: 161 / 5805MHz
 - Ancho del canal: 80MHz
 - Modo IEEE802.11: A/N/AC Mixa
 - Tasa Mx. de TX: 650.0Mbps
 - Antena: Solo alimentación - 7dBi
 - Fuerza de transmisión: 17dBm
 - Distancia: 0.8km
- Estado de la Radio:**
 - AP: Deshabilitado
 - Dirección MAC: N/A
 - SSID: N/A
 - Modo de Seguridad: N/A
 - Estaciones Conectadas: N/A
- LAN:**
 - Dirección MAC: 9C-53-22-72-BF-E4
 - Dirección IP: 192.168.1.251
 - Máscara de Subred: 255.255.255.0
 - Puerto 0: 1000Mbps - FD
 - Dirección IP IPv6/Prefijo: N/A
- WAN:**
 - Tipo de Conexión: N/A
 - Dirección MAC: N/A
 - Dirección IP: N/A
 - Máscara de Subred: N/A
- Configuraciones de Red Inalámbrica (continued):**
 - Cliente: Activar
 - Dirección MAC: 9C-53-22-72-BF-E4
 - Modo de Seguridad: WPA-PSK
 - WDS: Auto
 - BSSID de AP Rate: 9C-53-22-72-BF-98
 - SSID de AP Rate: uischannel
 - Tasa de TX: 300.0Mbps (highlighted in red box 'c')
 - Tasa de RX: 300.0Mbps (highlighted in red box 'c')
 - Tiempo de Conexión: 0 días 00:02:57

Nota. Tomado de software para manejo de antenas TP link

Visualizamos los datos obtenidos en la interfaz de TP-link. Obteniendo en el ítem a. tasa máxima de transmisión, fuerza de transmisión y distancia. En el ítem b. valor de SNR y CCQ, validando si la transmisión es efectiva. En el ítem c. obtenemos tasa de transmisión en TX y RX.

Para las mediciones de frecuencia y el canal utilizamos el analizador de espectro portable Rohde & Schwarz FSH20, con el cual podemos configurar la frecuencia central a la cual estamos transmitiendo y poner marcadores en la cota inferior y de ahí colocar el ancho de canal configurado para poder observar que se cumpla los parámetros deseados esto se realiza primero en un ambiente controlado como el laboratorio de comunicaciones para poder lograr un buen manejo del analizador de espectro portable. (Ver video de proyecto)

El siguiente paso es utilizar el comparador de protocolo en el formato IEEE 802.11 a/ac que posee este analizador portable para poder obtener una buena comparación, cabe recordar que esto es solo para 20 MHz ya que este es el protocolo que maneja el analizador.

6. Presupuesto técnico y económico

El presupuesto es un factor clave y fundamental para llevar a cabo la ejecución de cualquier proyecto, siendo en este caso para el diseño y la implementación de un sistema de comunicaciones inalámbricas para el laboratorio de comunicaciones de la UIS. El sistema de costeo se determinó de acuerdo con los elementos necesarios para la construcción del proyecto y que se consideran necesarios para su desarrollo.

En el Anexo 6 se relacionan las respectivas cotizaciones de los diferentes materiales y herramientas necesarias para la ejecución del proyecto, los cuales fueron consultados de empresas proveedoras y de la página web de Homecenter a fecha de elaboración del documento. Las antenas fueron cotizadas con proveedores nacionales para evitar sobrecostos de transporte, impuestos y nacionalización. De acuerdo con la tabla de materiales operativos y/o producción se tiene que el costo total de los materiales para ejecutar el presente laboratorio es de \$ 16.905.330 pesos. Ver Anexo 6.

Se tiene que el costo total de las herramientas necesarias para el desarrollo del presente laboratorio es de \$ 864.350 pesos. Ver anexo 6.

Para la puesta en marcha de este laboratorio se requiere de una inversión total de \$ 17.769.680 pesos, valor que se encuentra representado en los bienes tangibles relacionados en las tablas del anexo 6.

7. Resultados de practica de enlaces en el segundo diseño

Para comprobar la conexión de un enlace es primordial validar el cumplimiento de las características deseadas como la tasa de trasmisión en TX o la tasa de recepción, cosas como al ancho de canal y la velocidad de carga y descarga, o los Mbps que posee la trasmisión. Ver figura 19.

Realizamos el proceso de medición por medio de la plataforma que utilizan las antenas CPE 710 de Tp-link la cual nos muestra los datos de las diferentes medidas con las que se están generando los enlaces, y que programamos para obtener enlaces de 5 GHz de frecuencia y poder medir las ventajas y desventajas que se puede presentar en los diferentes enlaces que obtuvimos en el diseño 2. Ver anexo 5.

De acuerdo con las tabulaciones y los datos de la interfaz para la comprobación del diseño 2 podemos observar que lo diseñado y ejecutado tiene un porcentaje de error con un valor máximo del 5%.

8. Conclusiones

El diseño de la red de antenas para el uso de los estudiantes tiene como base de operaciones el laboratorio de comunicaciones UIS, siendo fortalecido en diferentes funcionalidades, frecuencias y velocidad cumpliendo con la cobertura planteada en este trabajo de grado.

Se propone diferentes guías o actividades y se anexa unas posibles mediciones para relacionar los conocimientos en un informe que se puede realizar en este laboratorio para poder enriquecer el conocimiento de los futuros egresados de Ingeniería electrónica de la UIS.

Proporcionamos el manual de instalación con el cual se cumplen diferentes normas de instalación exigidas para este laboratorio como es la norma RETIE y otras ya especificadas.

Este proyecto proporciona la utilización de conocimientos adquiridos en las asignaturas de comunicaciones 1 y 2, tanto en su instalación como en su utilización, dotan a los estudiantes de la UIS con una base sólida y enriquecedora en un ámbito profesional con alta demanda, como son la necesidad de transmitir información con nuevas tecnologías en lugares de difícil acceso o costos muy grandes para interconectar.

Con este proyecto demostramos que con el buen aprovechamiento de las diferentes estructuras que posee la UIS en su campo universitario, podemos realizar un laboratorio de gran potencial para las comunicaciones inalámbricas y las distintas topologías de red que a su vez involucran diferentes tecnologías. Esto se logra obtener con un valor más asequible y con unos componentes de excelente calidad.

A pesar de no poder realizarse la práctica con las antenas del diseño inicial debido a su alto costo, se optó por utilizar unas antenas de referencia TP-Link CPE710 de valor asequibles y por medio de estas realizarse la práctica correspondiente, de esta forma se logró realizar la validación del modelo lo cual permite dar cumplimiento a los objetivos antes propuestos.

9. Recomendaciones

Teniendo en cuenta la seguridad de los dispositivos y de los estudiantes que utilicen estos, se recomienda la puesta de todas las conexiones a tierra en las tomas corrientes cumpliendo con las normas RETIE RESOLUCIÓN NÚMERO 40117 DE 02 ABR 2024 (capítulo 12, libro 3).

Para poder realizar una excelente toma de datos claves en la comprensión de este laboratorio se debe tener en cuenta la línea de vista y diversos factores ambientales que afectan nuestro enlace, incluido la zona de Fresnel la cual es fundamental para no obtener datos o información errónea por esto se tiene que estar revisando los cambios en la vegetación y cambios en las alturas de las edificaciones.

Por parte del laboratorio de comunicaciones la recomendación más importante es el correcto mantenimiento que se le debe dar a las conexiones LAN, que poseen las antenas y su respectiva limpieza para poder obtener una vida útil más larga para estos equipos.

La enseñanza de cómo funciona una IP fija en las antenas es crucial para la utilización de estas, si el acceso a estas no se puede generar buenos resultados.

Referencias Bibliográficas

- Agencia Nacional del Espectro. (2023, 31 de octubre). *RESOLUCIÓN 773 DE 2023*. Diario Oficial. Obtenido de https://normograma.mintic.gov.co/mintic/compilacion/docs/resolucion_ane_0773_2023.htm
- Bustamante, C. Farías. A. Botero. J. y Romero. F. (2020). *Código de buenas prácticas para el despliegue de redes de comunicaciones*. Bogotá, D.C. Comisión de Regulación de comunicaciones. Obtenido de <https://www.crcom.gov.co/es/micrositios/despliegue-infraestructura/buenas-practicashhttps://www.crcom.gov.co/es/micrositios/despliegue-infraestructura/buenas-practicashhttps://www.crcom.gov.co/es/micrositios/despliegue-infraestructura/buenas-practicash>
- MATLAB. (2011). *Documentacion de MATLAB*.
- Navia Coy, D. P. (2022). Guía Metodológica para Diseño de Enlaces Inalámbricos para Zonas Rurales del Departamento del Cauca. (*Tesis de Ingenieria*). Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Popayán.
- NetStop. (s.f.). Obtenido de <https://www.netspotapp.com/es/wifi-signal-strength/what-is-rssi-level.html>
- Ubiquiti. (22 de mayo de 2003). *centro de diseño de UISP*. Obtenido de <https://ispdesign.ui.com/#>
- Yubero, Ó. U. (15 de Febrero de 2022). *Comunicaciones Inalambricas Hoy*. Obtenido de <https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/wireless/que-son-las-antenas-omnidireccionales/>

Apéndices

Apéndice A. Guía de montaje

Guía de montaje	
1. Ubicación	<p>Siguiendo la ubicación de los puntos establecidos en el diseño plasmado en el trabajo de grado.</p> <p>En la primera ubicación que se encuentra en el edificio de laboratorio de pesados.</p>
2. Teniendo como base las normas Retie y Retailp.	<p>El cual se desea colocar el punto backbone por lo cual se desea instalar un switch de 12 puertos Gigabit para conexión de los enlaces. Se sugiere el Switch EdgeMAX Administrable de 12 puertos SFP Gigabit + 4 x RJ45 Gigabit, con funciones avanzadas de Capa 2.</p>
3. Diseño	 <p>Para cumplir las diferentes normas se recomienda la conexión de los puertos del switch al patch panel, mediante un patch cord (cable UTP categoría 6 con los conectores RJ-45), con una medida máxima de este cable de aproximadamente 3 a 5 metros, en este punto de la instalación es importante dos factores, el código de colores con el cual se va a realizar la instalación y la rotulación de los diferentes puntos de la red. Todas estas concepciones aplicando estándar T-568, respectivamente sea necesario.</p>
4. Conexión del Switch al Patch Panel	
5. Ponchado del cable extremo	   <p>Se ajusta el respectivo Face Plate para proteger y fijar la conexión. Se recomienda la utilización del Jack Keystone Jack Rj45 Red LAN Cat 6 3bumen Certificado. En el otro extremo, se poncha en el patch panel de acuerdo con la rotulación indicada, importante tener en cuenta que el patch panel debe ser categoría 6, debido a</p>

5. Probar la conexión del cable UTP

algunas características físicas del cable, esto permite que la conexión sea más cómoda, práctica y sencilla de realizar.

Se recomienda la utilización de un Tester de red con el cual podemos verificar que el cableado este perfecto de extremo a extremo, indicando si hay conectividad, está abierto o hay un corto circuito. Una vez se termina de hacer la instalación y el



respectivo ponchado, se usa el probador de cable para garantizar que los cables estén bien terminados, es decir que la continuidad se muestre pin 1 con pin 1, pin 2 con pin 2, y así sucesivamente hasta llegar al pin 8.

6. Conexión en la tubería

La conexión a la red eléctrica que necesitan las antenas se debe realizar en todos los puntos que sean necesarios, cumpliendo con la respectiva señalización de la tubería MT.



7. Cableado a utilizar

Se recomienda que sea por medio de un cable encauchado 3*12 permitiendo realizar la conexión a la red eléctrica más cercana utilizando una línea monofásica con puesta a tierra para que estos equipos cuenten con la respectiva protección contra sobretensiones y descargas atmosféricas, protegiendo así la vida útil de las antenas a utilizar.



Por otro lado, se recomienda utilizar caja 5800 metálica pesada Proeléctricos con su respectiva toma Leviton 5320 tomacorriente doble de 15 Amp y 125 Voltios para



En los puntos que se desee dejar puntos de conexión de red sobrepuestos o punto eléctrico se recomienda la utilización de la Caja de Superficie Dexson, Blanca, 40 mm, sin Tuerca, Horizontal-Vertical.

Al terminar realizar un test de velocidad de carga y descarga para la comprobación de que el ancho de banda es el deseado se recomienda usar online y que pueda obtener la latencia de la conexión.



Para instalación del punto de enlace que se desea realizar en la azotea de la biblioteca se recomienda la siguiente conexión aprovechando la caja de breakers que se encuentra en el cuarto de bombas y del cual hay un equipo de conexión inalámbricas conectado al primer breaker del lado izquierdo, cumpliendo con todo lo anterior expuesto por medio de este el punto de red eléctrica ya que este tiene una protección de 15 Amp la cual nos permite la protección de la carga.



Llevar la tubería hacia el pie de la estructura de la torre riendada que se encuentra en las instalaciones de la biblioteca y por medio de esta subir para la conexión a la antena al lado de esta conexión bajar la conexión del cable Utp cat 6 para la recepción de la señal Wifi y poder realizar las prácticas de conexión y velocidad, comprobar el respectivo funcionamiento de estos con el tester de red y un test de ancho de banda.



Para la instalación de la antena que se desea hacer entre el punto backbone y el edificio de mantenimiento se recomienda el siguiente conexionado.

Realizar la conexión a la red eléctrica cumpliendo con la norma RETIE saliendo del punto de red que se encuentra en el pasillo de la azotea del edificio de mantenimiento. Luego de esto seguir la conexión de este por medio de la pared asegurando la tubería por

medio de grapas metálicas doble ojo con chazos y tornillos.

Cuando se llegue al punto requerido instalar con un mástil la antena y dejar el cable UTP para las respectivas conexiones se recomienda dejar el punto instalado al lado de la antena usando un Jack Rj-45 para que por medio de la utilidad de un Patch Cord comprobar las respectivas mediciones.

Para conexión del punto de backbone y el edificio Luis A. Calvo, se recomienda instalar un punto eléctrico a 110V del punto eléctrico que se encuentra entrando en

la azotea de dicho edificio y por medio de esta conexión llevar la línea por debajo del sobre muro hasta el final contrario a el acceso de la azotea en cual por medio de un tubo de base de $\frac{3}{4}$ " instalar la antena a esta antena colocar un Patch Cord de 4 metros de largo para poder realizar conexión a los dispositivos de prueba de que se pueda utilizar para la medición de velocidad y ancho de banda y diferentes variables que utilizemos.

INSTALACION EN EL EDIFICIO LP

Para la instalación del punto de enlace en el edificio LP se requiere la instalación de punto de red que se encuentra en el pequeño cuarto de comunicaciones que esta en el ultimo piso de dicho edificio en el cual se encuentra una torre auto soportada y por medio de esta instalar antena. Por otro lado, aprovechar el tablero cofre eléctrico para intemperie, que se encuentra dentro de este cuarto y hay mismo dejar el conector

POE para hay sacar por medio del cable UTP cat 6 y llevar la conexión hasta la antena por medio de la bandeja que tiene la torre ya instalada.



INSTALACION EN EL EDIFICIO DE ALTA TENSION

Aprovechando que en el laboratorio de comunicaciones se encuentra unas ventanas por medio de esta aprovechar la estructura que se encuentra hay para soporta un tubo galvanizado de $\frac{3}{4}$ " para soportar la antena y por este mismo colocar un cable UTP cat 6 para intemperie hasta dicha ventana y hay ingresar el POE y realizar diferentes mediciones con los instrumentos que se encuentran en el laboratorio.



Apéndice B. Códigos de programación

Codigo 1.

```
viewer = siteviewer("Buildings","UIS.osm","Basemap","topographic");
tx = txsite("Name","Small cell transmitter", ...
    "Latitude",7.141205, ...
    "Longitude",-73.1230, ...
    "AntennaHeight",5, ...
    "TransmitterPower",5, ...
    "TransmitterFrequency",6e9);
show(tx)
rtpm = propagationModel("raytracing", ...
    "Method","sbr", ...
    "MaxNumReflections",10, ...
    "BuildingsMaterial","perfect-reflector", ...
    "TerrainMaterial","perfect-reflector");
coverage(tx,rtpm, ...
    "SignalStrengths",-120:-5, ...
    "MaxRange",250, ...
    "Resolution",4, ...
    "Transparency",0.6)
rx = rxsite("Name","Small cell receiver", ...
    "Latitude",7.141068, ...
    "Longitude",-73.1209, ...
    "AntennaHeight",4);

los(tx,rx)
rtpm.MaxNumReflections = 10;
clearMap(viewer)
raytrace(tx,rx,rtpm)
```

Codigo 2

Entre biblioteca y edificio de mantenimiento

```
viewer = siteviewer("Buildings","UIS.osm","Basemap","topographic");
tx = txsite("Name","Small cell transmitter", ...
    "Latitude",7.14096, ...
    "Longitude",-73.1209, ...
    "AntennaHeight",3, ...
    "TransmitterPower",12, ...
    "TransmitterFrequency",60e9);
show(tx)
rtpm = propagationModel("raytracing", ...
    "Method","sbr", ...
    "MaxNumReflections",0, ...
    "BuildingsMaterial","perfect-reflector", ...
    "TerrainMaterial","perfect-reflector");
coverage(tx,rtpm, ...
    "SignalStrengths",-120:-5, ...
    "MaxRange",250, ...
```

```

    "Resolution",3, ...
    "Transparency",0.6)
rx = rxsite("Name","Small cell receiver", ...
    "Latitude",7.13965, ...
    "Longitude",-73.117229, ...
    "AntennaHeight",2);

los(tx,rx)
rtpm.MaxNumReflections = 10;

```

Codigo 3

```

viewer = siteviewer("Buildings","uis23.osm","Basemap","topographic");
tx = txsite("Name","Small cell transmitter", ...
    "Latitude",7.141132, ...
    "Longitude",-73.123064, ...
    "AntennaHeight",22, ...
    "TransmitterPower",5, ...
    "TransmitterFrequency",6e9);
show(tx)
rtpm = propagationModel("raytracing", ...
    "Method","sbr", ...
    "MaxNumReflections",10, ...
    "BuildingsMaterial","perfect-reflector", ...
    "TerrainMaterial","perfect-reflector");
coverage(tx,rtpm, ...
    "SignalStrengths",-120:-5, ...
    "MaxRange",250, ...
    "Resolution",3, ...
    "Transparency",0.6)
rx = rxsite("Name","Small cell receiver", ...
    "Latitude",7.13975, ...
    "Longitude",-73.1201, ...
    "AntennaHeight",18);

los(tx,rx)
rtpm.MaxNumReflections = 10;
clearMap(viewer)
raytrace(tx,rx,rtpm)

```

Codigo 4

```
viewer = siteviewer("Buildings","UIS.osm","Basemap","topographic");
tx = txsite("Name","Small cell transmitter", ...
    "Latitude",7.14096, ...
    "Longitude",-73.1209, ...
    "AntennaHeight",5, ...
    "TransmitterPower",5, ...
    "TransmitterFrequency",5e9);
show(tx)
rtpm = propagationModel("raytracing", ...
    "Method","sbr", ...
    "MaxNumReflections",10, ...
    "BuildingsMaterial","perfect-reflector", ...
```

```

    "TerrainMaterial", "perfect-reflector");
coverage(tx, rtpm, ...
    "SignalStrengths", -120:-5, ...
    "MaxRange", 250, ...
    "Resolution", 3, ...
    "Transparency", 0.6)
rx = rxsite("Name", "Small cell receiver", ...
    "Latitude", 7.141968, ...
    "Longitude", -73.121265, ...
    "AntennaHeight", 4);

los(tx, rx)
rtpm.MaxNumReflections = 10;
clearMap(viewer)
raytrace(tx, rx, rtpm)

```

Codigo 5

```

viewer = siteviewer("Buildings", "UIS.osm", "Basemap", "topographic");
tx = txsite("Name", "Small cell transmitter", ...
    "Latitude", 7.141233, ...
    "Longitude", -73.122974, ...
    "AntennaHeight", 9, ...
    "TransmitterPower", 17, ...
    "TransmitterFrequency", 5e9);
show(tx)
rtpm = propagationModel("raytracing", ...
    "Method", "sbr", ...
    "MaxNumReflections", 0, ...
    "BuildingsMaterial", "perfect-reflector", ...
    "TerrainMaterial", "perfect-reflector");
coverage(tx, rtpm, ...
    "SignalStrengths", -120:-5, ...
    "MaxRange", 250, ...
    "Resolution", 3, ...
    "Transparency", 0.6)
rx = rxsite("Name", "Small cell receiver", ...
    "Latitude", 7.13965, ...
    "Longitude", -73.117229, ...
    "AntennaHeight", 5);

```

```

show(tx)
rtpm = propagationModel("raytracing", ...
    "Method","sbr", ...
    "MaxNumReflections",0, ...
    "BuildingsMaterial","perfect-reflector", ...
    "TerrainMaterial","perfect-reflector");
coverage(tx,rtpm, ...
    "SignalStrengths",-120:-5, ...
    "MaxRange",250, ...
    "Resolution",3, ...
    "Transparency",0.6)
rx = rxsite("Name","Small cell receiver", ...
    "Latitude",7.13965, ...
    "Longitude",-73.117229, ...
    "AntennaHeight",5);

los(tx,rx)
rtpm.MaxNumReflections = 10;
clearMap(viewer)
raytrace(tx,rx,rtpm)

```

Codigo 7

```

viewer = siteviewer("Buildings","UIS.osm","Basemap","topographic");
tx = txsite("Name","Small cell transmitter", ...
    "Latitude",7.13965, ...
    "Longitude",-73.117229, ...
    "AntennaHeight",2, ...
    "TransmitterPower",20, ...
    "TransmitterFrequency",5e9);
show(tx)
rtpm = propagationModel("raytracing", ...
    "Method","sbr", ...
    "MaxNumReflections",0, ...
    "BuildingsMaterial","perfect-reflector", ...
    "TerrainMaterial","perfect-reflector");
coverage(tx,rtpm, ...
    "SignalStrengths",-120:-5, ...
    "MaxRange",250, ...
    "Resolution",3, ...
    "Transparency",0.6)

```

```

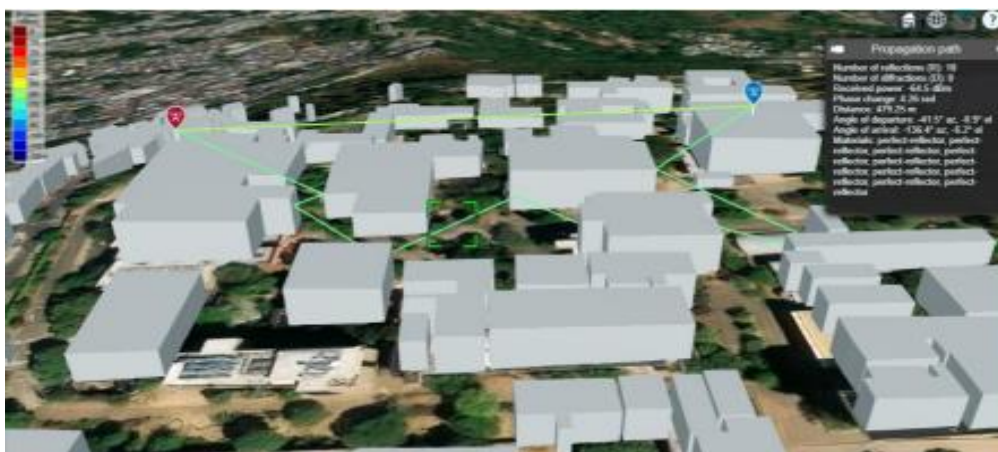
viewer = siteviewer("Buildings", "UIS.osm", "Basemap", "topographic");
tx = txsite("Name", "Small cell transmitter", ...
  "Latitude", 7.141233, ...
  "Longitude", -73.122974, ...
  "AntennaHeight", 1, ...
  "TransmitterPower", 16, ...
  "TransmitterFrequency", 5e9);
show(tx)
rtpm = propagationModel("raytracing", ...
  "Method", "sbr", ...
  "MaxNumReflections", 10, ...
  "BuildingsMaterial", "perfect-reflector", ...
  "TerrainMaterial", "perfect-reflector");
coverage(tx, rtpm, ...
  "SignalStrengths", -120:-5, ...
  "MaxRange", 250, ...
  "Resolution", 4, ...
  "Transparency", 0.6)
rx = rxsite("Name", "Small cell receiver", ...
  "Latitude", 7.13977, ...
  "Longitude", -73.1210, ...
  "AntennaHeight", 3);

los(tx, rx)
rtpm.MaxNumReflections = 10;
clearMap(viewer)
raytrace(tx, rx, rtpm)

```

Apéndice C. Análisis de enlaces

En este anexo vamos a realizar el análisis de las reflexiones que no se escogieron para el libro de sustentación del proyecto. Para el primer enlace 1 obtuvimos dos reflexiones más la Reflexión 2 del primer enlace.



Para esta reflexión se observa que tiene un enlace un poco mejor ya que esta es una medida de -64.5 dBm, pero la reflexión se da entre edificios que comprende una zona donde se encuentra gran cantidad de árboles y no se hace viable este método de reflexiones.

Diseño 1, Enlace 4



Observamos que estas reflexiones se encuentran algo bajas y que por la cantidad de árboles no es viable.

Apéndice D. Tablas y gráficos

Tabla 2.

Tabulación de afectaciones en el enlace como Rf noise y lluvia

Enlace y antenas	Frecuencia (Mhz)	Ganancia antena(dBm)	Chanel width (Mhz)	Rainfall (mm/hr)	Rf noise	Resultado de velocidad(mbps)	Expectativa de señal(dbm)
Entre los edificios LP y mantenimiento antenas de airfiber 60 LR	60480	Auto	2160	0	0	1952	-43
Entre los edificios LP y mantenimiento antenas de airfiber 60 LR	60480	Auto	2160	36	0	1952	-53
Entre los edificios LP y mantenimiento antenas de airfiber 60 LR	60480	Auto	2160	67	0	1502	-64
Entre los edificios LP y mantenimiento antenas de airfiber 60 LR	60480	Auto	2160	96	0	300	-72
Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd	5000	0	100	0	0	1313	-34
Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd 23dbi10°	5000	0	10	0	0	138	-41
Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd 23dbi10°	5000	0	50	0	0	714	-41
Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd 23dbi10°	5000	0	80	0	0	1091	-41

Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd 23dbi10°	5000	7	100	0	0	1204	-41
Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd 23dbi10°	5000	7	10	0	0	138	-41
Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd 23dbi10°	5000	7	50	0	0	714	-41
Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd 23dbi10°	5000	7	80	0	0	1091	-41
Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd 23dbi10°	5000	-10	100	0	0	876	-58
Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd 23dbi10°	5000	-10	10	0	0	138	-58
Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd 23dbi10°	5000	-10	50	0	0	595	-58
Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd 23dbi10°	5000	-10	80	0	0	727	-58
Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd 23dbi10°	5000	0	100	0	-98	985	-48
Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd 23dbi10°	5000	7	100	0	-92	1094	-41
Entre los edificios LP y biblioteca antenas airfiber 5xhd 23dbi10°	5000	-10	100	0	0	876	-58

Entre los edificios LP y luis a. Calvo antenas powerbeam m2	2400	0	40	0	0	176	-56
Entre los edificios LP y luis a. Calvo antenas powerbeam m3	2400	9	40	0	0	176	-47
Entre los edificios LP y luis a. Calvo antenas powerbeam m4	2400	-4	40	0	0	176	-60
Entre los edificios LP y luis a. Calvo antenas powerbeam m5	2400	-4	10	0	0	42	-60
Entre los edificios LP y luis a. Calvo antenas powerbeam m6	2400	-4	30	0	0	127	-60
Entre los edificios LP y luis a. Calvo antenas powerbeam m7	2400	0	10	0	0	42	-56
Entre los edificios LP y luis a. Calvo antenas powerbeam m8	2400	0	30	0	0	127	-56
Entre los edificios LP y luis a. Calvo antenas powerbeam m9	2400	0	40	0	-90	176	-56
Entre los edificios LP y luis a. Calvo antenas powerbeam m10	2400	9	40	0	-90	176	-47
Entre los edificios LP y luis a. Calvo antenas powerbeam m11	2400	-4	40	0	-90	167	-60
Entre los edificios LP y luis a. Calvo antenas powerbeam m12	2400	-4	40	0	-89	158	-60

Entre los edificios LP y luis a. Calvo antenas powerbeam m13	2400	9	40	0	-89	176	-47
---	-------------	----------	-----------	----------	------------	------------	------------

Tabla 1.

Datos obtenidos del enlace entre los edificios de laboratorio de pesados y mantenimiento.

FRECUENCIA (MHz)	TASA DE TX(Mbps)	TASA DE RX(Mbps)	SNR (dB)	ANCHO DE CANAL (MHz)	FUERZA DE TRANSMISION (dBm)
5765	173	173	35	20	16
5765	115.6	115	36	20	16
5765	180	180	37	40	17
5765	300	144	37	40	17
5765	390	390	36	80	17
5805	173	173	36	20	17
5805	380	365	34	40	17
5805	650	300	36	80	17
5805	650	650	47	80	23
5805	360	173	46	40	23
5805	360	173	46	40	23
5805	650	650	47	80	23

Tabla 2.

Datos de la transmisión desde el edificio de Mantenimiento hasta Humanas 2

FRECUENCIA (MHz)	TASA DE TX(Mbps)	TASA DE RX(Mbps)	SNR (dB)	ANCHO DE CANAL (MHz)	FUERZA DE TRANSMISION (dBm)
5785	14.4	14	35	20	23
5785	43.3	42	35	20	23
5785	57.6	57	35	20	23
5785	86.7	86	34	20	22
5785	115.6	115	31	20	20

5785	130.3	104	30	20	18
5785	144.1	115	28	20	17
5785	173.3	144	34	20	23
5785	195	195	35	80	23
5785	260	260	35	80	23
5785	390	390	35	80	23
5785	520	520	35	80	23
5785	585	585	43	80	23

N b

TABLA 5. Datos de la transmisión desde el edificio de Mantenimiento hasta Humanas 2 variando la potencia

FRECUENCIA (MHz)	TASA DE TX(Mbps)	TASA DE RX(Mbps)	SNR (dB)	ANCHO DE CANAL (MHz)	FUERZA DE TRANSMISION (dBm)
5785	195	260	21	80	2
5785	260	260	22	80	4
5785	520	520	26	80	6
5785	520	650	30	80	10
5785	585	650	31	80	12
5785	650	650	37	80	16
5785	650	650	39	80	18
5785	650	650	43	80	22
5785	650	650	47	80	27

Por medio de la tabla 5 podemos generar las figuras 22 y 23, con la que podemos enfatizar que, a una mayor fuerza de transmisión en el enlace, la potencia del ruido desciende con respecto a la fuerza de transmisión.

Figura 1.

Imagen muestra la relación que tiene la relación señal a ruido con respecto a la fuerza de transmisión.



Figura 2.

Imagen muestra la relación que tiene la velocidad de transmisión con respecto a la fuerza de transmisión.



Apéndice E. Registro de enlaces y espectros



Cumpliendo con estándar protocolo IEEE 802.11 a

Frecuencia central: 5825 Mhz.

Ancho de canal: 20 Mhz.

Falla aplica por lectura P1 fuera del estándar cumple con todo lo que esta dentro de las características a 20 Mhz



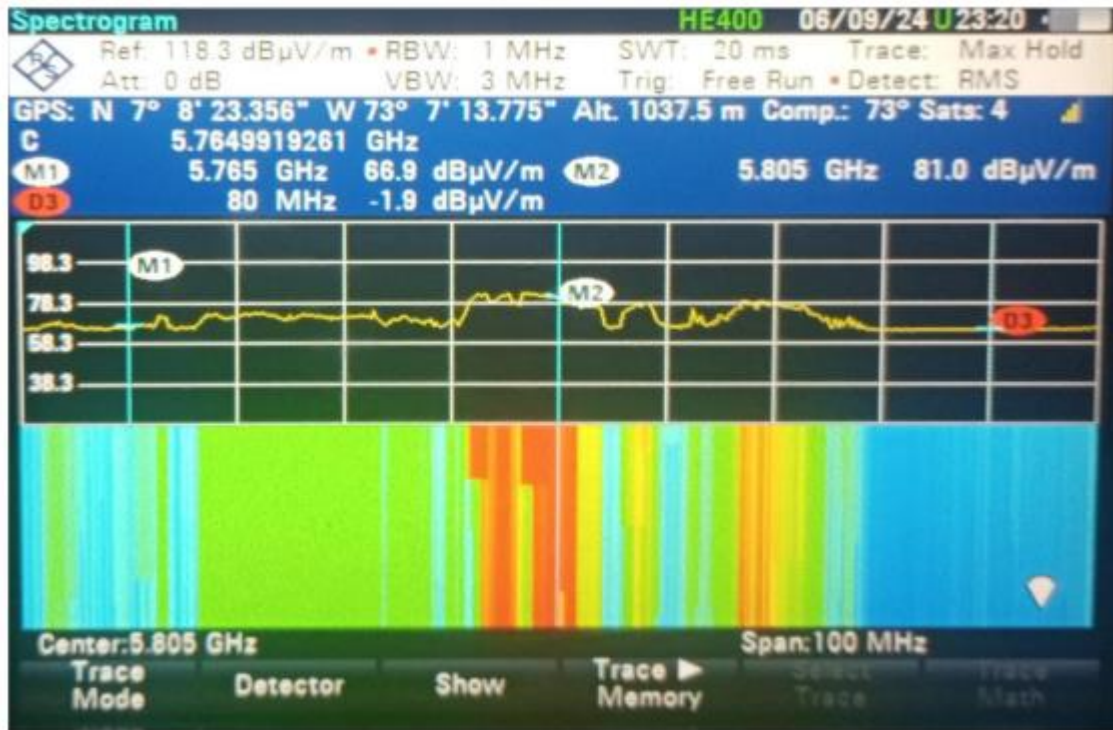
Frecuencia central: 5825 Mhz.

Ancho de canal: 20 Mhz.



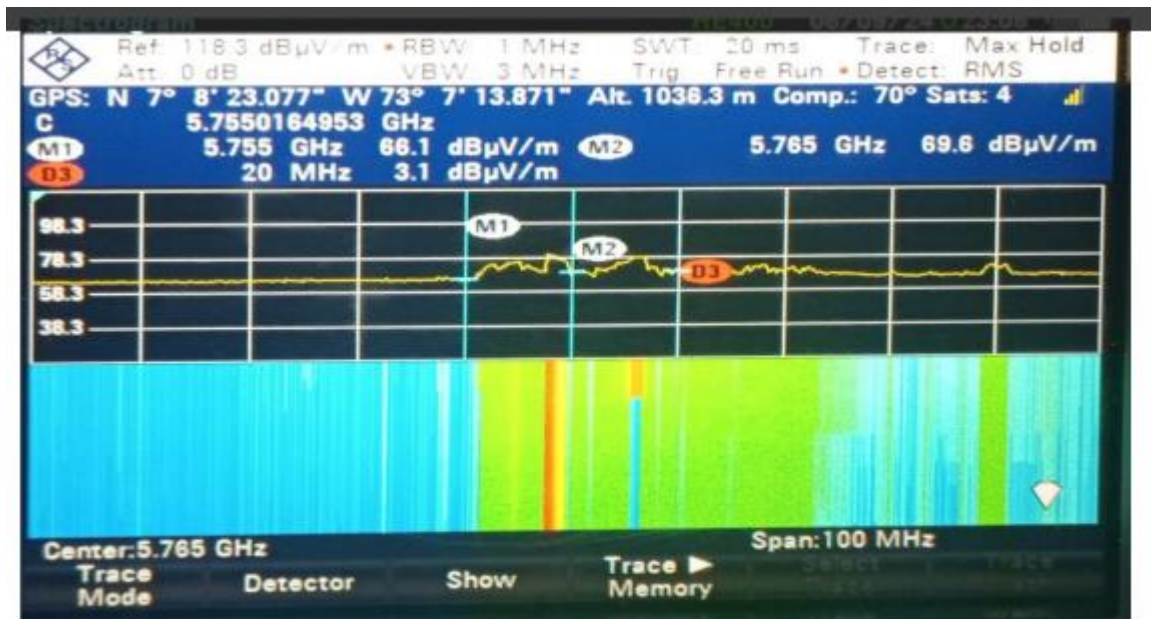
Frecuencia central: 5825 Mhz.

Ancho de canal: 20 Mhz.



Frecuencia Central:5805 Mhz

Ancho de canal: 80 Mhz.



Frecuencia central: 5765 Mhz.

Ancho de canal: 20 Mhz.



Frecuencia central: 5765 Mhz.

Ancho de canal: 20 Mhz.



Frecuencia central: 5765 Mhz.

Ancho de canal: 20 Mhz.



Apéndice F. Presupuesto

Cotización

 <p>REDCOM® REDCOM TODO EN CONECTIVIDAD SAS NIT 901.285.723-2 CALLE 89 # 24 - 140 Tel. (300342010) Buzaramanga - Colombia</p>	<p>COTIZACIÓN No. C-1-379</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Para</td><td>JAIRO ANDRES SANCHEZ CASTAÑEDA</td></tr> <tr><td>NIT</td><td>1.098.721.420-1</td></tr> <tr><td>Contacto</td><td>JAIRO ANDRES SANCHEZ CASTAÑEDA</td></tr> <tr><td>Dirección</td><td>CRA 5 39 31 BRR ALFONSO LOPEZ</td></tr> <tr><td>Ciudad/Tel.</td><td>Buzaramanga / (000) 3166834326 - Ext. 000 - (00) 3166834326</td></tr> <tr><td>Fecha</td><td>2024-01-18</td></tr> </table>	Para	JAIRO ANDRES SANCHEZ CASTAÑEDA	NIT	1.098.721.420-1	Contacto	JAIRO ANDRES SANCHEZ CASTAÑEDA	Dirección	CRA 5 39 31 BRR ALFONSO LOPEZ	Ciudad/Tel.	Buzaramanga / (000) 3166834326 - Ext. 000 - (00) 3166834326	Fecha	2024-01-18
Para	JAIRO ANDRES SANCHEZ CASTAÑEDA												
NIT	1.098.721.420-1												
Contacto	JAIRO ANDRES SANCHEZ CASTAÑEDA												
Dirección	CRA 5 39 31 BRR ALFONSO LOPEZ												
Ciudad/Tel.	Buzaramanga / (000) 3166834326 - Ext. 000 - (00) 3166834326												
Fecha	2024-01-18												

Item	Código	Descripción	Cantidad	Vr. Unitario	Valor desc.	Vr. Bruto	Imppto. Cargo	Imppto. Rate	Vr. Total
1	727	RADIOENLACE UBQUITI 80GHZ AF90-LR	2.00	1,729,411.76	0.00	3,458,823.53	19 %	0 %	4,116,000.00
2	728	ANTENA DE UBQUITI AF-5G34-S45	2.00	1,427,731.09	0.00	2,855,462.18	19 %	0 %	3,398,000.00
3	729	ANTENA POWERBEAM 2.4 GHZ PBE-2AC-402	2.00	390,756.30	0.00	781,512.61	19 %	0 %	930,000.00
Total Bruto							7,095,798.32		
Subtotal							7,095,798.32		
IVA 19%							1,348,201.68		
Total a Pagar							8,444,000.00		

Emitido por Sigo S.A. S. No. 030 048 145-8

Tener en cuenta:

1. La facturación electrónica será enviada a su correo registrado, por favor mantener actualizado y/o notificar cualquier cambio.
2. No incluye flete, consulte con su asesor el valor del flete.
3. Precio aplica para pago con transferencia, no aplica para pago con tarjeta.
- 4- Si es retenedor, asegúrese por favor de practicar la retención al momento de efectuar su pago, no estamos obligados a reembolsar retenciones no practicadas, es su obligación como declarante.
- 5- Somos autoretenedores de ICA, no aplicar al momento de realizar el pago.

SERGIO ARDILA
 info@redcomenlinea.com
 3003420108

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES

INALÁMBRICAS PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES UIS

70



Nit: 900.162.577-7 Régimen Común



COTIZACION

Fecha: 06/06/2023 Hora: 12:20 p. m..

Pag 1 de 1




Señores:

Jairo Andrés Sánchez Castañeda

Ciudad.

Estimados señores,

Atendiendo su amable requerimiento nos permitimos enviar oferta comercial.

DESCRIPCION	IMAGEN	ENTREGA EN DIAS HABILES	CANT MIN	VALOR UNIDAD	% IVA	TOTAL ITEM
RADIONLACE PTP UBIQUITI AF60- LR Banda 60Ghz - 12+ km link range - 2 Gbps max. Throughput - (1) GbE RJ45 port - Precision alignment mount - Integrated GPS & Bluetooth - Garantía 1 año		3	2	\$2.402.611	19%	\$ 4.805.221
Antena Direccional airFiber X, ideal para enlaces Punto a Punto (PTP), frecuencia 5 GHz (5.1 - 5.9 GHz) de 23 dBi slant 45 Modelo: AF-5G23-S45 Marca: UBIQUITI NETWORKS (ultimas 5 unidades en stock)		3	2	\$ 490.315	19%	\$ 980.630
PowerBeam airMAX AC hasta 330 Mbps, frecuencia 2 GHz (2412-2472 MHz), antena tipo plato 18 dBi, Radio Wi-Fi de administración Modelo: PBE-2AC-400 Marca: UBIQUITI NETWORKS		3	2	\$ 523.459	19%	\$ 1.046.917
Observaciones:	B. EXCENTA	\$	-	SUBTOTAL		\$ 6.832.769
	B. GRAVADA	\$	6.832.769	IVA 19%		\$ 1.298.226
						TOTAL \$ 8.130.995

CONDICIONES COMERCIALES:

Forma de Pago: Contado

Validez de la Oferta: 3 (Tres) DIAS CALENDARIO

Ajustar al ancho

Precios válidos únicamente para las cantidades cotizadas y por la compra de la solución completa con todos los item

Esperamos sea de su completo agrado nuestra oferta comercial y estaremos muy atentos a resolver cualquier inquietud de orden técnico o comercial que pueda surgir de la presente.

Apéndice G. Catálogos de antenas

Superior Processing

Ubiquiti Networks introduces our proprietary INVICTUS™ core communications processing engine. The speed, power, and efficiency of this integrated circuit enhances the performance of the airFiber AF-5/AF-5U.

Efficient Use of 5 GHz Band

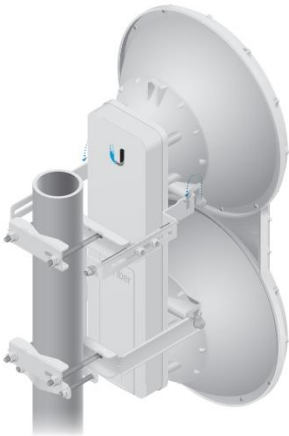
airFiber AF-5/AF-5U features 1 MHz center channel resolution with market-leading Power Envelope Tracking technology. The airFiber AF-5/AF-5U accurately and continuously controls transmit power relative to the band edge. The power level automatically tracks to optimize performance near band edges, allowing you to choose the part of the band with the least interference.

Long-Range Links

Newly developed for the airFiber AF-5/AF-5U, the patent-pending xRT feature uses an innovative, adaptive multi-channel coding scheme to enhance radio transceiver performance, thereby maximizing your link budget and spectrum utilization – while still maintaining regulatory compliance. This results in links that can span distances from 10 m up to 100+ km.

Quick and Easy Installation

The unique sliding-clamp design of the airFiber AF-5/AF-5U allows mounting hardware to be pre-assembled prior to installation – no more dropped screws at the top of the tower. As an added convenience, the drop-in cradle mount design allows the installer to attach mounting hardware to the pole without having to support the weight of the airFiber radio during installation.



Radio Alignment Display

Newly designed for the airFiber AF-5/AF-5U, the Radio Alignment Display (RAD) makes aiming quicker and easier. The dual, calibrated signal strength indicators display the actual signal strength on the local and remote airFiber radios in real time. The comprehensive array of radio status indicators display the following:

- GPS synchronization status
- Master/slave mode
- RF link status
- RF overload warning
- Current modulation mode
- Link activity and speed for wired management and data ports



Specifications

airFiber AF-5/AF-5U	
Dimensions	
Radio	938.4 x 468.4 x 281.4 mm (36.94 x 18.44 x 11.08")
Box	1042 x 573 x 502 mm (41.02 x 22.56 x 19.76")
Weight	
Radio (Mount Included)	16 kg (35.27 lb)
Box	26.5 kg (58.42 lb)
Max. Power Consumption	40W
Power Supply	50V, 1.2A PoE GigE Adapter (Included)
Power Method	Passive Power over Ethernet
Supported Voltage Range	+42 to +58VDC, -48VDC
Automatic Transmit Power Control (ATPC)	Yes
Certifications	CE, FCC, IC
Mounting	Pole Mount Kit (Included)
Wind Loading	863 N @ 200 km/hr (194 lbf @ 125 mph)
Wind Survivability	200 km/hr (125 mph)
Operating Temperature	-40 to 55° C (-40 to 131°F)
LEDs	(12) Status LEDs: Data Port Link/Activity Data Port Speed Management Port Link/Activity Management Port Speed GPS Synchronization Master/Slave Link Status Modulation Mode 0.25x to 4x, 6x, 8x, 10x (Unlabeled), Overload Remote and Local Displays (Calibrated Signal Strength)

Apéndice H. Cálculos de los enlaces

Diseño 1, Enlace 1

A continuación, vamos a realizar los cálculos pertinentes para un enlace como el FSL el PIRE y el ENLACE con los cuales vamos a determinar si el enlace es viable matemáticamente.

Para esto vamos a hallar el cálculo del FSL el cuál nos da la pérdida en el espacio libre.

$$\text{FSL} = 20 \log(\text{dist. km}) + 20 \log(\text{frec. Mhz}) + 35.45$$

$$\text{FSL} = 20 \log(0.233) + 20 \log(60000) + 35.45 = 118.3\text{dB}$$

Ahora, con este dato vamos a hallar el valor del ENLACE determinando las pérdidas en

cables y conectores como 3 dBm.

$$\text{ENLACE} = \text{potencia tx} + (-\text{perdidas tx}) + \text{ganancia} + (-\text{FSL}) + \text{ganancia rx} \\ + (-\text{perdida rx})$$

$$\text{ENLACE} = 17\text{dBm} + (-3\text{dBm}) + 23\text{dBi} - 118 \text{ dB} + 23 \text{ dBi} - 3 \text{ dBm} = -61 \text{ dB}$$

MARGEN = ENLACE – (sensibilidad Rx).

$$\text{MARGEN} = (-61 \text{ dB}) - (-97\text{dBm}) = 36\text{dB}$$

PIRE = potencia tx + (-perdidas tx) + (ganancia tx)

$$\text{PIRE} = 17 \text{ dBm} + (-3 \text{ dBm}) + 23 \text{ dBi} = 37\text{dB.}$$

FRESNEL = $17.32\sqrt{(\text{distancia km})(4 * \text{frecuencia GHz})}$

$$\text{FRESNEL} = 17.32\sqrt{(0.233)/(4 * 60)} = 0.54 \text{ m}$$

Hallamos los calculo del SNR y para esto tomamos la temperatura(T) de 27°C, lo cual corresponde a 300.15 Kelvin, B(ancho de banda) y k=constante de Boltzmann.

$$K = 1.38 * 10^{-23}(\text{watt}/\text{K} - \text{Hz})$$

$$N[\text{dB}] = 10 \log_{10}(KTB) + 20 \log_{10}(\text{fMHz}) - 65.5$$

$$N = 10 \log_{10}(K * 300.15 * 40) + 20 \log_{10}(60000) - 65.5 = -157.74$$

$$\text{SNR} = \text{ENLACE} - 30 - N(\text{dB})$$

$$\text{SNR} = -61 - 30 - (-157.74) = 66.74 \text{ dB}$$

Diseño 1, Enlace 2

$$\text{FSL} = 20 \log(0.430) + 20 \log(60000) + 35.45 = 123.6 \text{ dB}$$

$$\text{ENLACE} = 12\text{dBm} + (-3\text{dBm}) + 23\text{dbi} - 124 \text{ dB} + 23\text{dBi} - 3 \text{ dBm} = -72 \text{ dB}$$

MARGEN = (-72dB) – (-97dBm) = 25dB

$$\text{PIRE} = 12 \text{ dBm} + (-3 \text{ dBm}) + 23 \text{ dBi} = 32\text{dB}$$

$$\text{FRESNEL} = 17.32\sqrt{(0.430)/(4 * 60)} = 0.73 \text{ m}$$

Hallamos las calculo del SNR, para esto tomamos la temperatura(T) de 27° celcius lo cual corresponde a 300.15 Kelvin, B(ancho de banda) y k=constante de Boltzmann

$$K = 1.38 * 10^{-23}(\text{watt}/\text{K} - \text{Hz})$$

$$N[\text{dB}] = 10 \log_{10}(KTB) + 20 \log_{10}(\text{fMHz}) - 65.5$$

$$N = 10 \log_{10}(K * 300.15 * 20) + 20 \log_{10}(60000) - 65.5 = -157.74$$

$$\text{SNR} = \text{ENLACE} - 30 - N(\text{dB})$$

$$\text{SNR} = -61 - 30 - (-157.74) = 66.74 \text{ dB}$$

Diseño 1, Enlace 3

$$FSL = 20 \log(0.170) + 20 \log(2400) + 35.45 = 87.6 \text{ dB}$$

$$ENLACE = 16 \text{ dBm} + (-3 \text{ dBm}) + 15 \text{ dB} - 88 \text{ dB} + 15 \text{ dB} - 3 \text{ dBm} = -48 \text{ dB}$$

$$\text{MARGEN} = (-48 \text{ dB}) - (-96 \text{ dBm}) = 48 \text{ dB}$$

$$\text{PIRE} = 16 \text{ dBm} + (-3 \text{ dBm}) + 12 \text{ dB} = 31 \text{ dB}$$

$$\text{FRESNEL} = 17.32 \sqrt{(0.170) / (4 * 2.4)} = 2.30 \text{ m}$$

Hallamos las calculo del SNR, para esto tomamos la temperatura(T) de 27 ° celcius lo cual corresponde a 300.15 ° Kelvin, B(ancho de banda) y k=constante de Boltzmann

$$K = 1.38 * 10^{-23} (\text{watt} / \text{°K} - \text{Hz})$$

$$N[\text{dB}] = 10 \log_{10}(KTB) + 20 \log_{10}(\text{fMHz}) - 65.5$$

$$N = 10 \log_{10}(K * 300.15 * 20) + 20 \log_{10}(2400) - 65.5 = -188.71$$

$$\text{SNR} = \text{ENLACE} - 30 - N(\text{dB})$$

$$\text{SNR} = -48 - 30 - (-188.74) = 110.74 \text{ dB}$$

Diseño 1, Enlace 4

$$FSL = 20 \log(0.118) + 20 \log(5000) + 35.45 = 90.8 \text{ dB}$$

$$\text{ENLACE} = 15 \text{ dBm} + (-3 \text{ dBm}) + 12 \text{ dB} - 91 + 12 \text{ dB} - 3 \text{ dBm} = -58 \text{ dB}$$

$$\text{MARGEN} = (-58 \text{ dB}) - (-95 \text{ dBm}) = 37 \text{ dB}$$

$$\text{PIRE} = 15 \text{ dBm} + (-3 \text{ dBm}) + 23 \text{ dB} = 35 \text{ dB}$$

$$\text{FRESNEL} = 17.32 \sqrt{(0.118) / (4 * 5)} = 1.33 \text{ m}$$

Hallamos las calculo del SNR, para esto tomamos la temperatura(T) de 27 ° celcius lo cual corresponde a 300.15 ° Kelvin, B(ancho de banda) y k=constante de Boltzmann

$$K = 1.38 * 10^{-23} (\text{watt} / \text{°K} - \text{Hz})$$

$$N[\text{dB}] = 10 \log_{10}(KTB) + 20 \log_{10}(\text{fMHz}) - 65.5$$

$$N = 10 \log_{10}(K * 300.15 * 80) + 20 \log_{10}(5000) - 65.5 = -176.31$$

$$\text{SNR} = \text{ENLACE} - 30 - N(\text{dB})$$

$$\text{SNR} = -58 - 30 - (-176.31) = 88.31 \text{ dB}$$

Diseño 2, Enlace 1

$$FSL = 20 \log(0.659) + 20 \log(5000) + 35.45 = 105.8 \text{ dB}$$

$$\text{ENLACE} = 16 \text{ dBm} + (-3 \text{ dBm}) + 15 \text{ dBi} - 106 \text{ dB} + 15 \text{ dBi} - 3 \text{ dBm} = -66 \text{ dB}$$

$$\text{MARGEN} = (-66 \text{ dB}) - (-95 \text{ dBm}) = 29 \text{ dB}$$

$$\text{PIRE} = 16 \text{ dBm} + (-3 \text{ dBm}) + 15 \text{ dBi} = 28 \text{ dB}$$

$$\text{FRESNEL} = 17.32 \sqrt{(0.659) / (4 * 5)} = 3.14 \text{ m}$$

Hallamos las calculo del SNR, para esto tomamos la temperatura(T) de 27° celcius lo cual corresponde a 300.15° Kelvin, B(ancho de banda) y k=constante de Boltzmann

$$K = 1.38 * 10^{-23} (\text{watt} / \square \text{K} - \text{Hz})$$

$$N[\text{dB}] = 10 \log_{10}(KTB) + 20 \log_{10}(\text{fMHz}) - 65.5$$

$$N = 10 \log_{10}(K * 300.15 * 20) + 20 \log_{10}(5000) - 65.5 = -182.33$$

$$\text{SNR} = \text{ENLACE} - 30 - N(\text{dB})$$

$$\text{SNR} = -66 - 30 - (-188.33) = 92.33 \text{ dB}$$

Diseño 2, Enlace 2

$$\text{FSL} = 20 \log(0.354) + 20 \log(5000) + 35.45 = 100.4 \text{ dB}$$

$$\text{ENLACE} = 16 \text{ dBm} + (-3 \text{ dBm}) + 17 \text{ dBi} - 100 \text{ dB} + 17 \text{ dBi} - 3 \text{ dBm} = -56 \text{ dB}$$

$$\text{MARGEN} = (-56 \text{ dB}) - (-97 \text{ dBm}) = 41 \text{ dB}$$

$$\text{PIRE} = 16 \text{ dBm} + (-3 \text{ dBm}) + 17 \text{ dBi} = 30 \text{ dB}$$

$$\text{FRESNEL} = 17.32 \sqrt{(0.354) / (4 * 5)} = 2.30 \text{ m}$$

Hallamos las calculo del SNR, para esto tomamos la temperatura(T) de 27° celcius lo cual corresponde a 300.15° Kelvin, B(ancho de banda) y k=constante de Boltzmann

$$K = 1.38 * 10^{-23} (\text{watt} / \square \text{K} - \text{Hz})$$

$$N[\text{dB}] = 10 \log_{10}(KTB) + 20 \log_{10}(\text{fMHz}) - 65.5$$

$$N = 10 \log_{10}(K * 300.15 * 40) + 20 \log_{10}(5000) - 65.5 = -179.32$$

$$\text{SNR} = \text{ENLACE} - 30 - N(\text{dB})$$

$$\text{SNR} = -56 - 30 - (-179.39) = 93.39 \text{ dB}$$

Diseño 2, Enlace 3

$$\text{FSL} = 20 \log(0.272) + 20 \log(5000) + 35.45 = 98.1 \text{ dB}$$

$$\text{ENLACE} = 16 \text{ dBm} + (-3 \text{ dBm}) + 17 \text{ dBi} - 98 \text{ dB} + 17 \text{ dBi} - 3 \text{ dBm} = -54 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned} \text{MARGEN} &= (-54 \text{ dB}) - (-95 \text{ dBm}) = 41 \text{ dB} \\ \text{PIRE} &= 16 \text{ dBm} + (-3 \text{ dBm}) + 17 \text{ dBi} = 30 \text{ dB} \\ \text{FRESNEL} &= 17.32 \sqrt{(0.272) / (4 * 5)} = 2.01 \text{ m} \end{aligned}$$

Hallamos las calculo del SNR, para esto tomamos la temperatura(T) de 27 ° celcius lo cual corresponde a 300.15 Kelvin, B(ancho de banda) y k=constante de Boltzmann

$$\begin{aligned} K &= 1.38 * 10^{-23} (\text{watt} / \text{K} - \text{Hz}) \\ N[\text{dB}] &= 10 \log_{10}(KTB) + 20 \log_{10}(f\text{MHz}) - 65.5 \end{aligned}$$

$$N = 10 \log_{10}(K * 300.15 * 20) + 20 \log_{10}(5000) - 65.5 = -182.33$$

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= \text{ENLACE} - 30 - N(\text{dB}) \\ \text{SNR} &= -54 - 30 - (-182.33) = 98.33 \text{ dB} \end{aligned}$$

Apéndice I. Catálogo antena



Pharos CPE Series

Dedicated Long-Range Outdoor Wireless Networking Solution

CPE210 / CPE220 / CPE510 / CPE605 / CPE610 / CPE710

Highlights

- Selectable bandwidth of 20/40/80 MHz for CPE710 and 5/10/20/40 MHz for other models
- Adjustable transmission power by 1 dBm
- Broad operating frequency channels ensure less wireless interference
- Passive PoE Adapter supports up to 60 meter¹ (200 feet) Power over Ethernet deployment
- TP-Link Pharos MAXstream² (Time-Division-Multiple-Access) technology improves product throughput, capacity and latency performance, ideal for PtMP applications.
- Centralized Management System – Pharos Control



¹ Power supply distances are based on test results under normal usage conditions. Actual power supply distance will vary as a result of 1) AP status, including transmit power, connected devices and network traffic and 2) cable properties, including type and texture.

² CPE210 / CPE220 / CPE510 / CPE605 / CPE610 supports Maxstream.



Apéndice J. Guía práctica

PRÁCTICA 1

Mediciones de ENLACE y SNR al cambio de la potencia de transmisión a partir de antenas con protocolo wifi.

Autores

Grupo de Laboratorio

Subgrupo de laboratorio

ENTORNO DE PRACTICA

Para esta primera practica nos centramos en un entorno más controlado como es el laboratorio de comunicaciones UIS, en el cual vamos a instalar las dos antenas TX y RX.

Configurando la TX como punto de acceso y la RX como cliente permitiendo la conexión de las dos antenas con los parámetros que se establecerán más adelante, teniendo en cuenta también la medida que tiene la línea de vista y la alineación de estas antenas para lograr la mayor capacidad del enlace.

RETO A RESOLVER:

Los estudiantes al resolver este reto obtendrán bases fundamentales en la configuración de las antenas transmisoras y receptoras, presente en un enlace utilizando el protocolo IEEE 802.11. Donde se hará un recorrido por el cálculo de enlace con su respectiva medida de SNR variando la potencia de transmisión.

OBJETIVO:

Desarrollar habilidades en el cálculo de un enlace entre antenas de protocolo wifi 802.11, teniendo en cuenta el cambio de la potencia de transmisión y su respectiva respuesta de SNR.

DOCUMENTACION:

<https://youtu.be/50vli3t0QLA?si=PLqMwPumo6SMFuQh>

<https://www.analfatecnicos.net/archivos/24.CalculoDeRadioenlace.pdf>

LABORATORIO

1. Realiza la respectiva conexión por medio de conectores RJ45 del computador por medio del puerto LAN y del POE a la antena. Ingresar a la antena por medio de la IP de fábrica 192.168.0.254, luego entrar al software por medio de cliente y clave (admin), por defecto de fábrica.

Insertar fotografía del montaje.

2. Realizar la configuración de la antena como cliente. siguiendo los pasos de las siguientes imágenes. La configuración de claves y nombres es asignado por cada estudiante.

a. configuración del cliente: debe seleccionar la opción cliente y dar clic en

continuar

b. Asignación de IP: ASIGNAR UNA IP PRIVADA DE SU PREFERENCIA (192.168.1.XXX)

c. Configuración de los aspectos técnicos del radioenlace: el ancho de canal asignado por el transmisor establecer la contraseña del transmisor y la distancia máxima de transmisión

3. Utilizando la herramienta (anализador de espectro que posee las antenas). Esta herramienta permite visualizar los canales ocupados en el espectro radioeléctrico de la zona de incidencia de la antena.

4. Realice por medio de la selección de tasa máxima de Tx a trabajar. Por medio de este realizar la configuración de tasa de transmisión la cual debe quedar plasmada en el informe, por otro lado, escoger un ancho de banda y posteriormente anexarlo en el informe, realizar la documentación del laboratorio variando la Fuerza de transmisión a 2 dBm por ítem (adjuntar imágenes que considera necesarias para su comprobación).

5. Realizar los cálculos matemáticos de enlace y SNR para su posterior análisis. Utilice las siguientes ecuaciones.

$$a. FSL = 20 \log(\text{dist. km}) + 20 \log(\text{frec. Mhz}) + 35.45$$

Ahora, con este dato vamos a hallar el valor del ENLACE determinando las pérdidas presentes en los cables y los conectores como 3 dBm.

$$b. \text{ENLACE} = \text{potencia tx} + (-\text{pérdidas tx}) + \text{ganancia} + (-FSL) + \text{ganancia rx} + (-\text{pérdida rx})$$

$$c. \text{MARGEN} = \text{ENLACE} - (\text{sensibilidad Rx}).$$

$$d. \text{PIRE} = \text{potencia tx} + (-\text{pérdidas tx}) + (\text{ganancia tx})$$

$$e. \text{FRESNEL} = 17.32 \sqrt{(\text{distancia km})(4 * \text{frecuencia GHz})}$$

Obtener el cálculo del SNR tomando una temperatura (T) de 27°C, lo cual corresponde a 300.15 K Kelvin, donde, B(ancho de banda) y k=constante de Boltzmann. $K = 1.38 * 10^{-23} \text{ (watt/K - Hz)}$

$$f. N[\text{dB}] = 10 \log_{10}(KT B) + 20 \log_{10}(f\text{MHz}) - 65.5$$

$$g. \text{SNR} = \text{ENLACE} - 30 - N(\text{dB}).$$

6. De la tabla anterior graficar potencia vs SNR, potencia vs tasa de transmisión y SNR vs tasa de transmisión. Dando una comprensión clara y concisa de los valores y tendencias que tiene cada gráfica.

INFORME DE RESULTADOS

Ejemplo de tabla para consideración de cada estudiante.

FRECUENCIA

7. Responda las siguientes preguntas de manera clara y concisa.

- a. ¿Aumentando la potencia obtenemos mayor SNR?
- b. ¿la tasa de recepción se ve afectada por el aumento de la potencia?
- c. ¿Cómo afecta el SNR la capacidad de canal?