



**IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO PARA  
EL ESTUDIO Y DISEÑO DE RADIO ENLACES  
DE MICROONDAS DIGITALES EN LA  
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE  
IBAGUÉ UTILIZANDO TECNOLOGÍA AIRMAX  
AC DE UBIQUITI**

**DIEGO ALEJANDRO BURGOS JIMÉNEZ  
JOHAN SEBASTIÁN RICO GUERRERO**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Ibagué, Colombia  
2020



# **IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO Y DISEÑO DE RADIO ENLACES DE MICROONDAS DIGITALES EN LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE IBAGUÉ UTILIZANDO TECNOLOGÍA AIRMAX AC DE UBIQUITI**

**Diego Alejandro Burgos Jiménez**

**Johan Sebastián Rico Guerrero**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**INGENIERO ELECTRONICO**

Director (a): RICARDO PINO  
MSC.INGENIERO ELECTRONICO

Línea de Investigación:  
Telecomunicaciones

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Ibagué, Colombia  
2020



## Resumen

Este proyecto ejecuta la implementación de la infraestructura necesaria que permitirá realizar el análisis, estudio y diseño de un radioenlace entre las bandas de las microondas y así contribuir en el desarrollo del área de telecomunicaciones en el programa de ingeniería electrónica de la universidad Antonio Nariño sede Ibagué.

El sistema consiste en un radioenlace digital de dos puntos de comunicaciones, en las frecuencias del espectro radioeléctrico correspondiente a las bandas libres en la zona de los 5.8 GHz empleando tecnología AIRMAX AC DE UBIQUITI, lo que permitirá fomentar laboratorios de campo el cual pongan en práctica la teoría para poder desarrollar un estudio comparativo entre los diferentes cálculos teóricos del radioenlace y los resultados obtenidos en las simulaciones con la plataforma en línea Airlink y el software Google Earth Pro.

**Palabras clave:** Radioenlace, AIRMAX AC, 5.8GHz

## Abstract

This project carries out the implementation of the necessary infrastructure that allows the analysis, study and design of a radio link between the microwave bands and thus contribute to promoting the development of the telecommunications area in the electronic engineering program of the Antonio Nariño University in Ibagué.

The system consists of a digital radio link with two communications points, in the frequencies of the radio spectrum corresponding to the free bands in the area of 5.8 GHz using UBIQUITI's AIRMAX AC technology, which will allow the promotion of field laboratories which will put theory into practice and be able to develop a comparative study between the different theoretical calculations of the radio link and the results obtained in the simulations with the online platform Airlink and the Google Earth Pro software.

**Keywords:** Radio link, AIRMAX AC, 5.8GHz.

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>V</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas .....</b>	<b>XII</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Estado del arte .....</b>	<b>5</b>
1.1 Introducción .....	5
1.2 Espectro electromagnético.....	6
1.2.1 Bandas de frecuencia.....	7
1.3 Estándar IEEE802.11 .....	9
1.3.1 Estándar IEEE802.11ac.....	10
1.3.2 MIMO .....	12
<b>2. Sistema de radioenlace .....</b>	<b>13</b>
2.1 Radioenlaces Analógicos .....	14
2.2 Radioenlaces Digitales .....	14
2.3 Antenas.....	15
2.3.1 Diagramas de radiación .....	16
2.3.2 Propiedades Ópticas de las ondas de radio .....	18
2.3.3 Tipos de enlace .....	19
2.3.4 Línea de vista .....	21
2.3.5 Zona de fresnel.....	21
<b>3. Análisis y diseño de radioenlace.....</b>	<b>23</b>
3.1 Generalidades .....	23
3.2 Diseño.....	24
3.2.1 Toma de coordenadas.....	24
<b>4. Herramientas de simulación .....</b>	<b>47</b>
4.1 Airlink .....	47
4.1.1 Google Earth.....	50
4.2 Herramienta de configuración AirOs8 .....	51
4.2.1 Configuración básica de una estación AC .....	51
<b>5. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>65</b>

---

5.1	Conclusiones .....	65
5.2	Recomendaciones.....	65
<b>A.</b>	<b>Anexo: Guía Rápida LiteBeam AC GEN2 .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Datasheet LiteBeam AC GEN2. ....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>



## Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1 Espectro electromagnético .....	7
Figura 1-2 capas del Modelo OSI en 802.11 .....	10
Figura 1-3 Sistema MIMO.....	12
Figura 2-1 Diagrama de un radio enlace.....	13
Figura 2-2 diagrama de radiación.....	16
Figura 2-3 partes de un patrón irradiación .....	17
Figura 2-4 Patrones de irradiación en 3D .....	17
Figura 2-5 Enlace (PtP) .....	19
Figura 2-6 Enlace (PtM).....	20
Figura 2-7 Enlace (MtM).....	20
Figura 2-8 Zona de Fresnel.....	21
Figura 3-1 Diagrama de análisis y diseño.....	23
Figura 3-2 Coordenada Torre Berlín .....	24
Figura 3-3 Coordenada torre Cural .....	25
Figura 3-4 Perfil topográfico Google Earth.....	25
Figura 3-5 Simulación del enlace .....	27
Figura 3-6 parte georreferenciada.....	27
Figura 3-7 Equipos AC punto A y B .....	28
Figura 3-8 línea de vista del simulador Airlink .....	28
Figura 3-9 Configuración de enlace Berlin - Amarillas.....	33
Figura 3-10 Mapa del enlace realizado.....	35
Figura 3-11 Zona Fresnel realizada .....	36
Figura 3-12 Características de los dispositivos.....	37
Figura 3-13 Configuraciones inalámbricas.....	38
Figura 3-14 configuración de red.....	39
Figura 3-15 configuración red.2.....	40
Figura 3-16 configuración enlace .....	41
Figura 3-17 configuración enlace .....	42
Figura 3-18 Analizador de espectros .....	43
Figura 3-19 Diagrama de constelación .....	43
Figura 3-20 Configuración inalámbrica básica estación Cural .....	44
Figura 3-21 Configuración modo de red.....	45
Figura 4-1 Interfaz de software de AirLink .....	47
Figura 4-2 Interfaz de software de Airlink (PtP) .....	48

---

Figura 4-3 Interfaz Airlink simulación (PtP).....	49
Figura 4-4 Interfaz de Google Earth.....	50
Figura 4-5 puerto LAN incorporado en el inyector Poe. ....	51
Figura 4-6 configuración de la estación con un pc. ....	52
Figura 4-7 configuración por LAN.....	53
Figura 4-8 UBNT Discovery.....	54
Figura 4-9 dispositivo con UBNT configurado.....	54
Figura 4-10 página de advertencia.....	55
Figura 4-11 LiteBeam registro en el AirOs. ....	55
Figura 4-12 página principal del sistema AirOs8 .....	56
Figura 4-13 Configuraciones pestaña inalámbrico .....	57
Figura 4-14 Segunda parte configuraciones pestaña inalámbrico .....	59
Figura 4-15 Pestaña de Red. ....	60
Figura 4-16 Pestaña de servicios .....	61
Figura 4-17 Pestaña de sistema.....	62
Figura 4-18 Herramientas.....	62
Figura 4-19 Analizador de espectros con intensidad de señal .....	63
Figura 4-20 Herramienta de alineamiento.....	64

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1-1 Clasificación de Bandas de frecuencia .....	8
Tabla 1-2 Clasificación de bandas de microondas. ....	9
Tabla 1-3 Características de las diferentes versiones de 802.11.....	10
Tabla 1-4 comparación de versiones a,b,g,n a la ac .....	11
Tabla 2-1 Capacidad en un radioenlace FDM/FM .....	14
Tabla 2-2 Clasificación de radios Digitales .....	15
Tabla 3-3 Output Power Estación 1 .....	29
Tabla 3-4 Output poder Estación 2 .....	30
Tabla 3-5 Descripción de la ecuación de Fresnel.....	31
Tabla 3-6 recepción calculada.....	32
Tabla 3-7 resultados teóricos .....	32
Tabla 3-8Cálculos .....	33
Tabla 3-9Cálculos AirLink.....	33
Tabla 4-1 Tabla de descripción Fig.4-1 .....	48
Tabla 4-2 Tabla de descripción de la Fig.4-3.....	49
Tabla 4-3Descripción de la Fig.4-12 .....	56
Tabla 4-4 Descripción Fig.4-13 .....	58
Tabla 4-5 descripción Fig.4-14 .....	59

## Lista de Símbolos y abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<b>RF</b>	Radio frecuencia
<b>UHF</b>	Ultra alta frecuencia
<b>IEEE</b>	La organización profesional técnica más grande del mundo para el avance de la tecnología.
<b>BER</b>	La tasa de error binario
<b>dB</b>	La décima parte del Bel
<b>Bel</b>	Es el logaritmo en base 10 de la relación de dos potencias o intensidades
<b>dBi</b>	Son los decibelios de ganancia sobre un radiador isotrópico
<b>dBm</b>	Razón de potencia expresada en decibelios relativa a un mili vatio
<b>OFDM</b>	Multiplexión por división de Frecuencias ortogonales
<b>FM</b>	Modulación por frecuencia
<b>QAM</b>	Modulación de amplitud en cuadratura
<b>MIMO</b>	Múltiples entradas y salidas
<b>AM</b>	Modulación por amplitud
<b>PtP</b>	Tipo de enlace entre dos puntos
<b>PtM</b>	Tipo de enlace entre un punto a varios
<b>ROE</b>	Relación de Onda Estacionaria
<b>CINR</b>	La relación señal-interferencia más ruido
<b>LoS</b>	Línea de vista
<b>PoE</b>	Alimentación mediante de Ethernet

# Introducción

Los sistemas de comunicación inalámbricos por medio de radioenlace se clasifican como una óptima solución de trabajo, facilitando la comunicación en relación a los sistemas cableados, llegando a lugares lejanos o de difícil acceso. (Gualdrón G, Rúgeles U, & Díaz S, 2011). Por lo tanto, en la actualidad se cuenta con estaciones de radioenlace en frecuencia de 5.8GHz, como una herramienta tecnológica ágil, económica y fácil de implementar comunicaciones urbanas y rurales, para desarrollo social, cultural, económico y de continua evolución para el ser humano.

En este proyecto se propone una metodología funcional para la configuración, ajuste y operación óptima de dispositivos que trabajan en las bandas libres de radio comunicación a larga distancia, para el desarrollo de laboratorios prácticos que permitan afianzar conocimientos de algunas expresiones matemáticas con el apoyo de simulaciones para establecer un radio enlace eficiente.

## Objetivo General

Brindar una herramienta de aprendizaje que permita Implementar un sistema de radioenlace digital PtP (punto a punto) en bandas de frecuencias libres, empleando estaciones AIRMAX AC de UBIQUITI, dirigida a estudiantes y docentes del programa de ingeniería electrónica, para el desarrollo teórico-práctico de mediciones y simulaciones.

## Objetivos específicos

- Implementar la infraestructura para un radioenlace digital de dos puntos en bandas de frecuencias libres empleando estaciones con tecnología AIRMAX de UBIQUITI con el fin de realizar prácticas de campo.
- Realizar simulaciones y hacer el tutorial de uso de la plataforma web de Airlink para la simulación de radioenlaces con equipos AIRMAX de la UBIQUITI.
- Efectuar una metodología práctica de un radioenlace, así como diseñar una guía de trabajo, donde los estudiantes como los docentes conozcan el correcto uso de los equipos del radioenlace.

## Alcance

Dotar a la universidad de estaciones LITEBEAM AC GEN2 como una herramienta que permita desarrollar radioenlaces digitales PtP (punto a punto) a larga distancia, haciendo posible que estudiantes y docentes tengan acceso a prácticas de laboratorio con esta tecnología de comunicación.

Además de la infraestructura al terminar el proyecto se contará con los materiales didácticos necesarios que permitirán el montaje de la instalación, configuración, diseño, ejemplos de prueba y metodología para el diseño ingenieril teórico de este tipo de radiocomunicación, aplicado a las bandas de trabajo específicas y a los protocolos de validación de los resultados teóricos.

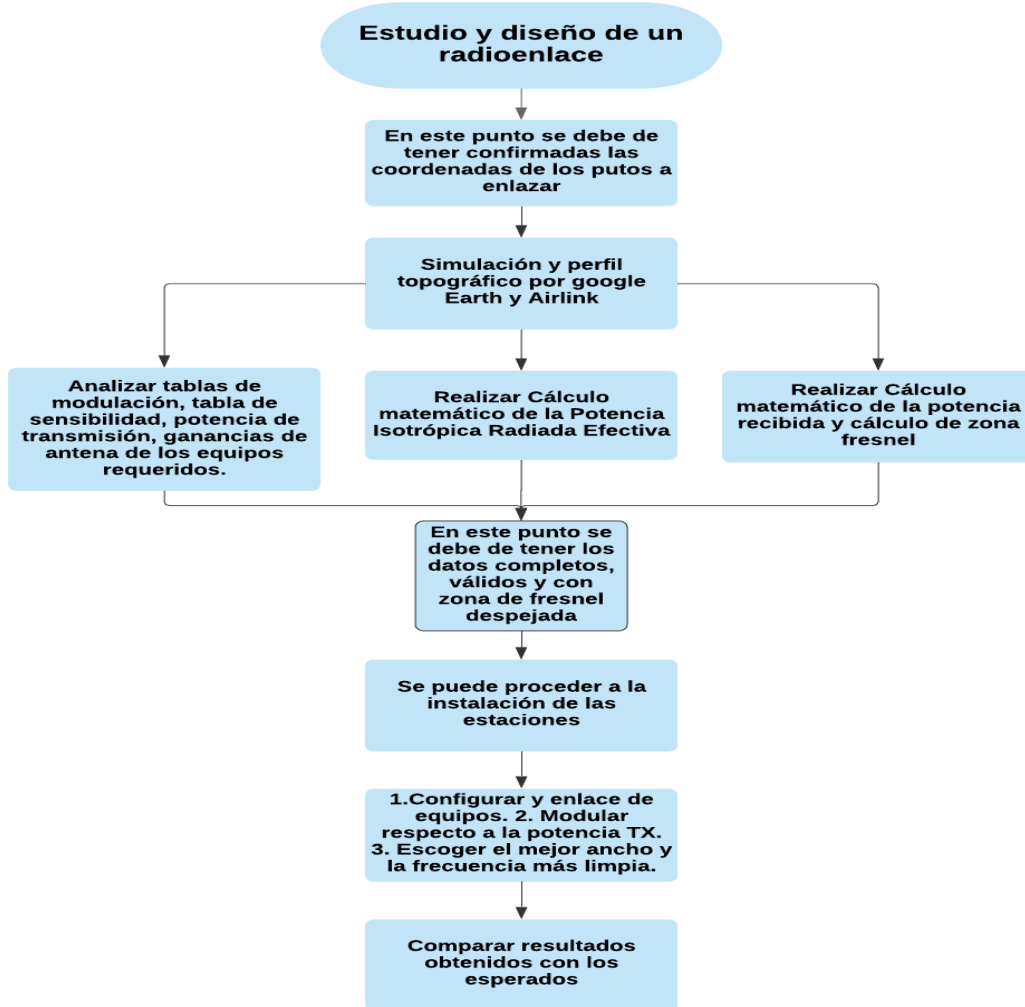
## Metodología

El proyecto inicia con la ubicación de dos puntos geográficos a enlazar entre los que se establecerá el radioenlace, a partir de sus datos se obtendrán el perfil del terreno y los requerimientos del enlace, se calcularán de forma teórica los parámetros del mismo realizándose la evaluación de esos parámetros mediante la plataforma en línea Airlink para

el cálculo y simulación de un radioenlace de equipos de AIRMAX AC donde se verificará la disponibilidad del enlace.

Se realizará el montaje de las estaciones, su configuración y las mediciones reales de los diferentes parámetros del radioenlace a través del sistema operativo AirOs, para establecer un proceso de comparación y análisis de los resultados obtenidos, que se puedan validar con los cálculos teóricos y simulados.

De los procedimientos anteriores se realizará guía metodológica de forma tal que el experimento pueda ser replicado en otros escenarios y que además se puedan ir incorporando otros temas de investigación que ayuden a desarrollar otros temas de estudios sobre los radioenlaces de microondas digitales.







# 1. Estado del arte

## 1.1 Introducción

El estudio y diseño de este sistema de comunicación inalámbrica ha mejorado y se ha simplificado, gracias a los distintos softwares y plataformas donde se puede predecir la propagación de ondas radio, por medio de modelos geo-referenciados y modelos matemáticos para las transmisiones de radio entre dos puntos fijados según los parámetros de recepción, transmisión, elevación y cobertura de una señal. Las zonas de difícil acceso, como poblaciones marginadas y desprotegida son casos donde se están empleando estos equipos comunicación inalámbrica para dar solución a esta problemática. (Novoa Bermudez & Correño Ortiz, 2018).

En la actualidad los equipos de microondas digitales utilizados para sistemas de radioenlace modernos se pueden instalar con rapidez y cambiar de lugar con facilidad. Los cuales proporcionan un servicio más económico y factible que el de las redes cableadas, las cuales son vulnerables a distintos factores físicos como inundaciones, vandalismo y entre otros factores ambientales (Jr., 2003). no obstante, hoy en día existen tipos de cables de datos bastante robustos capaces de resistir a estos factores, pero no dejan de ser costosos e incompatibles con algunos sistemas de comunicación vigentes.

La radiocomunicación se puede distinguir gracias a la física y la ingeniería como áreas que investigaron y trabajaron, en fenómenos tanto eléctricos como magnéticos, los cuales fueron observados por distintos científicos que descubrieron que una corriente eléctrica tiene efectos magnéticos en el cual se distingue a J.C.Maxwell que introduce el concepto

de corriente de desplazamiento y postula la naturaleza electromagnética de luz, donde marca el inicio de la teoría electromagnética, la cual fue demostrada años después por Heinrich Hertz por medio de sus experimentos. (Murillo, 2013).

El progreso de las comunicaciones ha estado unido a la electrónica, de forma que se lograra explorar el fenómeno electromagnético en las radiotelecomunicaciones. A partir de los avances de Tesla, Popov y Marconi donde surge el primer dispositivo de radio comunicación que fue conocido como telégrafo inalámbrico sin hilos, el cual impulso las redes inalámbricas a otro nivel y otros sistemas RF relacionados, como los sistemas de radiolocalización y otros sistemas de comunicación móviles que fueron operando en diferentes bandas de frecuencia las cuales fueron reglamentadas según sus usos . (Murillo, 2013).

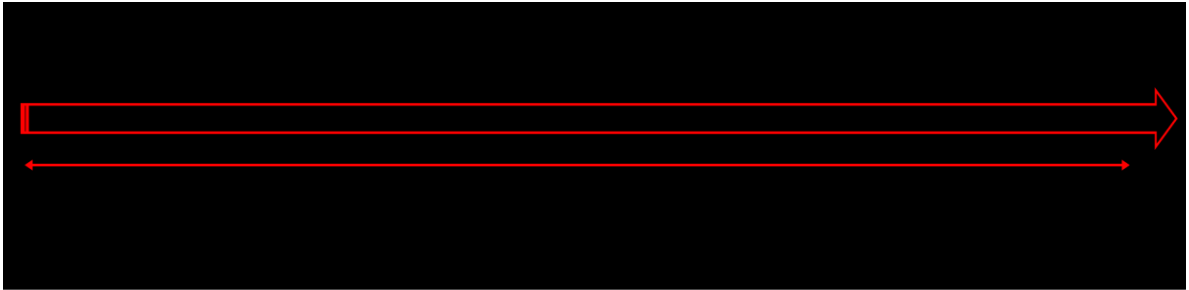
En el 2005 Robert Pera crea la compañía de Ubiquiti Networks.NC con el fin de conectar todo con todo, en todas partes. Desarrollando plataformas tecnológicas didácticas con acceso distribuido a Internet de alta capacidad, tecnología de información unificada y electrónica de consumo de próxima generación para el doméstico y personal. Clasificando tecnologías en tres categorías principales: redes de alto rendimiento para proveedores de servicios, empresas y consumidores. Llegando así a más de 200 países en todo el mundo, aumentando el número de usuarios y aplicaciones de banda ancha como video, audio, aplicaciones basadas en la nube, juegos en línea, entre otras. (EEUU, 2018).

## **1.2 Espectro electromagnético**

El espectro electromagnético es un conjunto de ondas de frecuencia creadas por fenómenos de la naturaleza que producen energía y están clasificadas según su intensidad de radiación donde se ubica el sistema electrónico de comunicaciones el cual se utiliza para el transporte de información entre dos o más lugares. Esto se logra convirtiendo la información original a ondas electromagnéticas, para transmitirla a una o más estaciones receptoras, donde se reconvierte a su forma original. Las ondas electromagnéticas se pueden irradiar en forma de voltaje o corriente, a través de un material conductor, o en

forma de ondas de radio hacia el espacio libre. Esta energía electromagnética se distribuye de manera periódica en un intervalo de frecuencias teniendo longitudes de onda largas y cortas que pueden ser nocivas. (Tomasi, 2003).

Figura 1-1 Espectro electromagnético



Fuente: Autores.

En la figura 1-1: los rangos de longitud de onda total útil del espectro radioeléctrico el cual se divide en bandas de frecuencia donde trabajan las telecomunicaciones que se subdividen a su vez en diversos tipos de servicios (radio, internet y telefonía).

### 1.2.1 Bandas de frecuencia

Dentro del espectro radioeléctrico se hallan determinadas bandas de frecuencia las cuales están divididas según su asignación o servicio por ejemplo están en bandas de frecuencia licenciada, las cuales se debe de solicitar un permiso al ministerio de tecnologías de la información y a las comunicaciones del país para así mismo poder utilizarlas, comúnmente se conoce que tiene un costo económico para poder operarlas, usualmente operan en los rangos de 900MHz, 3GHz, 4GHz, 10GHz, 11GHz y 24GHz. Las bandas de frecuencias no licenciadas o bandas de frecuencia libre, son conocidas por que tienen pocas prohibiciones en su uso, suelen ser iguales en casi todos los países. Ejemplo las bandas ICM (industrial, científico y médico) son las bandas de frecuencia libre que operan en los rangos de 2.4 GHz y 5 GHz. (Murillo, 2013).

Tabla 1-1 Clasificación de Bandas de frecuencia

Abreviatura	Nombre de frecuencia	Banda	Frecuencias	Longitud de onda
<b>ELF</b>	Frecuencia extremadamente baja	1	3-30 Hz	100.000 – 10.000 km
<b>SLF</b>	Súper baja frecuencia	2	30-300 Hz	10.000 – 1.000 km
<b>ULF</b>	Ultra baja frecuencia	3	300 – 3000 Hz	1.000 – 100 km
<b>VLF</b>	Muy baja frecuencia	4	3 – 30 kHz	100 – 10 km
<b>LF</b>	Baja frecuencia	5	30 – 300 kHz	10 – 1 km
<b>MF</b>	Media frecuencia	6	300 – 3000 kHz	1 km – 100 m
<b>HF</b>	Alta Frecuencia	7	3 – 30 MHz	100 m – 10 m
<b>VHF</b>	Muy alta frecuencia	8	30-300 MHz	10 – 1 m
<b>UHF</b>	Ultra alta frecuencia	9	300-3000 MHz	1 m – 100 mm
<b>SHF</b>	Súper alta frecuencia	10	3-30 GHz	100 – 10 mm
<b>EHF</b>	Frecuencia extremadamente alta	11	30-300 GHz	10 – 1 mm

Fuente: (Murillo, 2013, pág. 26)Tabla1.1

Tabla 1-1: se encuentran las bandas VHF y UHF que son utilizadas para radiodifusión y otras para comunicación por satélite.

Tabla 1-2 Clasificación de bandas de microondas.

Banda	Frec. Mínima	Frec. Máxima	$\lambda$ máxima	$\lambda$ mínima
<b>L</b>	1 GHz	2 GHz	30 cm	15 cm
<b>S</b>	2 GHz	4 GHz	15 cm	7.5 cm
<b>C</b>	4 GHz	8 GHz	7.5 cm	3.75 cm
<b>X</b>	8 GHz	12.4 GHz	3.75 cm	2.42 cm
<b>Ku</b>	12.4 GHz	18 GHz	2.42 cm	1.66 cm
<b>K</b>	18 GHz	26.5 GHz	1.66 cm	1.11 cm
<b>Ka</b>	26.5 GHz	40 GHz	11.1 mm	7.5 mm
<b>mm</b>	40 GHz	300GHz	7.5 mm	1 mm

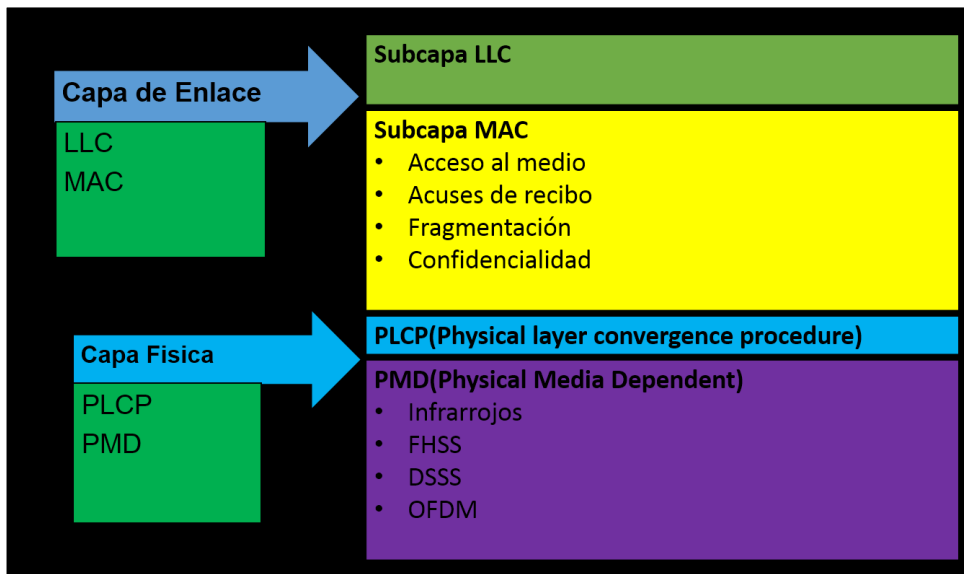
Fuente: (Murillo, 2013, p. 27) Tabla 1.3

Tabla 1-2: se aprecia las bandas de satelitales con su longitud y frecuencia de trabajo.

### 1.3 Estándar IEEE802.11

En 1963 se crea la IEEE (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica) esta asociación de ingenieros se dedicó a la normalización y regulación de áreas técnicas como la seguridad en las redes de computadores y sistemas de comunicación entre otras, donde se ubica el estándar 802.11 más conocido como Wi-Fi que precisa las velocidades de transmisión, lo cual es un factor clave para el diseño de equipos inalámbricos y para su buen desempeño. (Mende, 2014). Definiendo los juicios técnicos de los fabricantes de equipos inalámbricos, para obtener una interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes de esta forma nacen muchas funciones de implementación toda ellas trabajado en las dos primeras capas del modelo OSI las cuales son la capa física que define la modulación de las ondas de radio y capa de enlace datos, define el interfaz entre el bus del equipo y la capa física el estándar 802.11 tiene 3 capas físicas que establecen modos de transmisión alternativos los cuales se muestra en la figura1-2.

Figura 1-2capas del Modelo OSI en 802.11



Fuente: Autores

Tabla 1-3 Características de las diferentes versiones de 802.11

Versión 802.11	Lanzamiento	F.Datos (Mbps)	Tasa de Datos (Mbps)	Ancho de Banda (MHz)	Flujos MIMO	Rango aproximado en interiores (m)	Rango aproximado en exteriores (m)
<b>Original</b>	Junio 1997	2.4	1 a 2	20	1	20	100
<b>a</b>	Septiembre 1999	5	6 a 54	20	1	35	120
<b>b</b>	Septiembre 1999	2.4	1 a 11	20	1	35	140
<b>g</b>	Junio 2003	2.4	6 a 54	20	1	38	140
<b>n</b>	Octubre 2009	25/5	7.2 a 72.2	20	4	70	250
<b>ac</b>	Diciembre 2012	5	15 a 150 87.6 Hasta 866.7	40 20-160	8	100	

Fuente: (Mende, 2014 p.25)

### 1.3.1 Estándar IEEE802.11ac

El estándar IEEE 802.11ac también conocido como Wi-Fi 5G o Wi-Fi Gigabit, se dio a conocer en diciembre del 2012, el busca el mejoramiento del rango de cobertura del que poseía el estándar IEEE802.11n, operando básicamente en la banda libre de 5GHz que brinda más canales sin interferencias y esta menos poblado que la banda libre de 2.4GHz, por lo cual es más exacto y mejora la recepción adquiriendo un mayor ancho de banda y perfeccionando la resolución en videos, aplicaciones, juegos en la red y también en VoIP. (Mende, 2014) .

Tabla 1-4 comparación de versiones a,b,g,n a la ac

Versión 802,11	Banda 2.4 GHz	Banda 5 GHz	Infrarrojo	FHss	Dsss	OFDM
Original			✓	✓	✓	
a		✓				✓
b	✓				✓	
g	✓					✓
n	✓	✓				✓
ac		✓				✓

Fuente: (Mende, 2014)

Tabla1-4: muestra las técnicas de trasmisión que tiene cada versión con referencia a la ac.

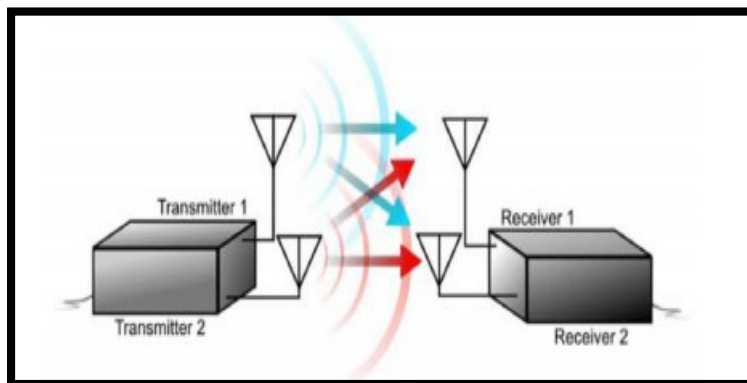
### Las principales características del 802.11ac

- La principal característica de este estándar en su operatividad en la banda libre de 5GHz, es que ofrece más canales sin interferencias y esta menos poblada a diferencia de la 2.4GHz, por lo tanto, aporta una estabilidad a la conexión y un mayor radio de funcionamiento que mejora la recepción.
- Mayor velocidad de trasmisión, alcanzando los 1.3 Gbps debido al movimiento de información de tres flujos de 433Mbps. Dando un mayor radio de cobertura.
- Otras mejoras consisten en la ampliación del ancho de banda hasta de 160 MHz, hasta 8 flujos MIMO y modulación de alta densidad 256-QAM.

### 1.3.2 MIMO

Es una tecnología que aplica múltiples entradas y múltiples salidas que expide varias señales de tiempo por el mismo canal, generando una transmisión multidimensional aumentando la eficiencia espectral por medio de la utilización del dominio espacial, esta tecnología aprovecha los fenómenos físicos de propagación para incrementar la velocidad de transmisión, alcance y menor pérdida de señal.

Figura 1-3 Sistema MIMO



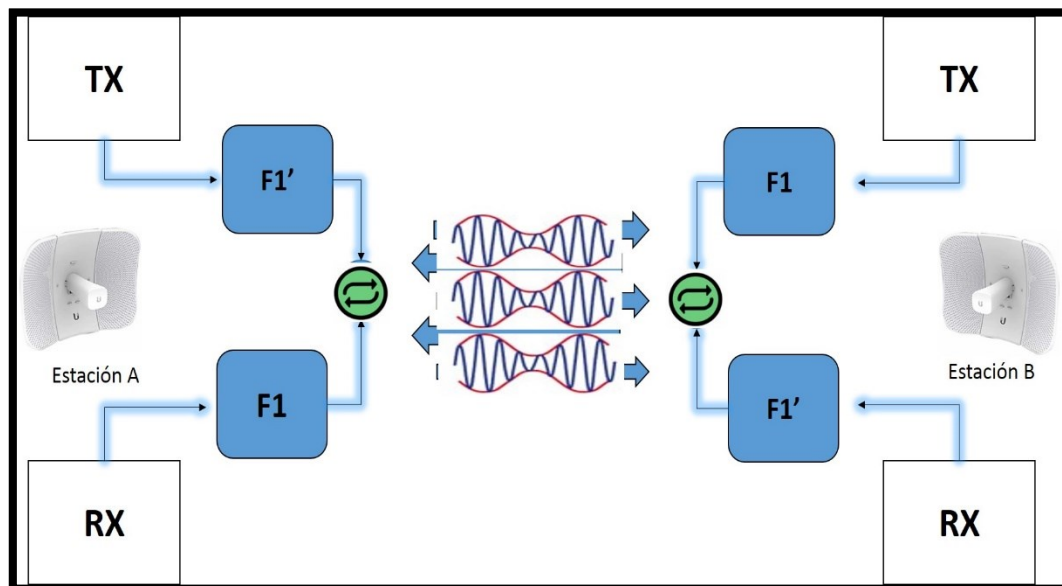
Fuente: C (Anguis Horno, 2008 p.85)



## 2. Sistema de radioenlace

Los sistemas de radioenlace se definen como sistemas de comunicación que trabajan por medio de ondas electromagnéticas, que se transmiten por un medio guiado, en que se utilizan microondas para su comunicación mediante ondas portadoras moduladas de transmisión y otras de recepción. Lo que establece un sistema de comunicación dúplex. (Gonzalez Menendez, 2018).

Figura 2-1 Diagrama de un radio enlace



Fuentes: Autores

El desarrollo de los sistemas de radioenlace terrestres depende de la radiocomunicación, en donde la física y la ingeniería van de la mano para poder estudiar el fenómeno electromagnético, por medio del uso de ecuaciones se buscaba explicar la propagación de ondas en el espacio libre, lo cual fue expuesto en 1887 experimentalmente por Heinrich Rudolf Hertz, en el que él demostraría la propagación de ondas electromagnéticas (ondas de radio u ondas hertzianas), (Murillo, 2013). Donde los

siguientes años los científicos como Marconi, Popov y Tesla entre otros hicieron avances en el desarrollo de los sistemas de comunicación, en las que muchas compañías y laboratorios hicieron sus apuestas al avance de sistemas de comunicación inalámbricos, los cuales se aplican hoy en día para el servicio de las telecomunicaciones.

## 2.1 Radioenlaces Analógicos

Los radioenlaces analógicos permiten la transmisión de cientos de miles de canales de voz empleando métodos de modulación FM y multicanalización por división de frecuencias, las cuales son más perceptivos a la distorsión producida por el comportamiento no lineal de los amplificadores de microondas de banda ancha. Lo cual está compuesto por ciertos canales telefónicos dispuesto uno a otro donde cada canal tiene un ancho de banda 4kHz, (Albornoz, 2013).

Tabla 2-1 Capacidad en un radioenlace FDM/FM

Número de canales Telefónicos	Capacidad
12/24	Baja
60/120/300	Mediana
600/900/1200/2400/4800/9600	Alta

Fuente: (Albornoz, 2013)Cuadro1.2

## 2.2 Radioenlaces Digitales

La transmisión digital hace operable las combinaciones de cientos de miles de canales donde se transmite datos, video y voz, donde se utiliza la técnica múltiple por división de tiempo, generando una ventaja de transmisión con tolerancia al ruido la cual no se produce acumulación de ruido en la señal de transmisión, admitiendo un procesamiento de bits más

sencillo y generando que la capacidad del enlace incremente por medio de multicanalización. (Albornoz, 2013).

Tabla 2-2 Clasificación de radios Digitales

Capacidad	Velocidad de Transmisión	Aplicación Típica
Baja	Hasta 4E1	Enlace de acceso
Media	8E1 hasta 32E1	Entroncamiento Secundario
Alta	140/155 Mbps (63E1/64E1)	Backbone /Entroncamiento

Fuente: (Albornoz, 2013)Cuadro1.4

## 2.3 Antenas

Las antenas sirven para radiar y capturar ondas electromagnéticas. las cuales se usan para convertir ondas electromagnéticas para comunicar líneas transmisiones con el espacio libre las cuales don un elemento primordial en los sistemas radioelectrónicos ya que operan como emisores y receptores al mismo tiempo, por lo cual se dicen que son elementos pasivos por ser bidireccionales, por lo cual se deben tener en cuenta siguientes definiciones para el conocimiento de su correcto funcionamiento. (Tomasi, 2003)

- **Ganancia**

Es la potencia de amplificación de la señal en una dirección máxima de radiación, pero también se puede definir como la relación entre su máxima intensidad de radiación y la de una antena isotrópica como la misma distancia y potencia de entrada.

- **Directividad**

La directividad de una antena es la medida de densidad de potencia radiada en una dirección.

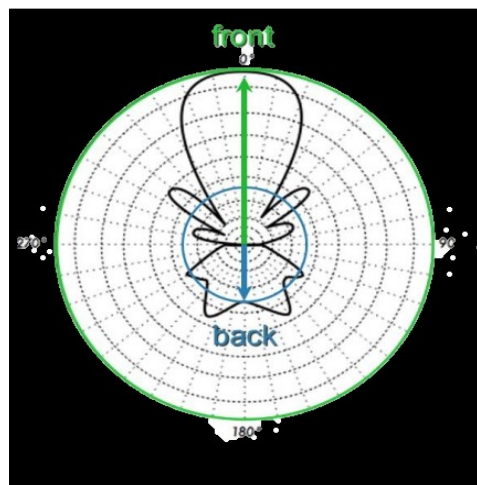
- **Polarización**

“La polarización de antena es la orientación del campo eléctrico que se irradia de ella.” (Tomasi, 2003)

### 2.3.1 Diagramas de radiación

El diagrama de radiación representa las densidades de campo electromagnético de diversas potencias radiadas en posiciones angulares, con relación a la antena con la estación que se esté empleando. Donde las gráficas se toman en plano horizontal o vertical estos diagramas se observan en el datasheet de los equipos.

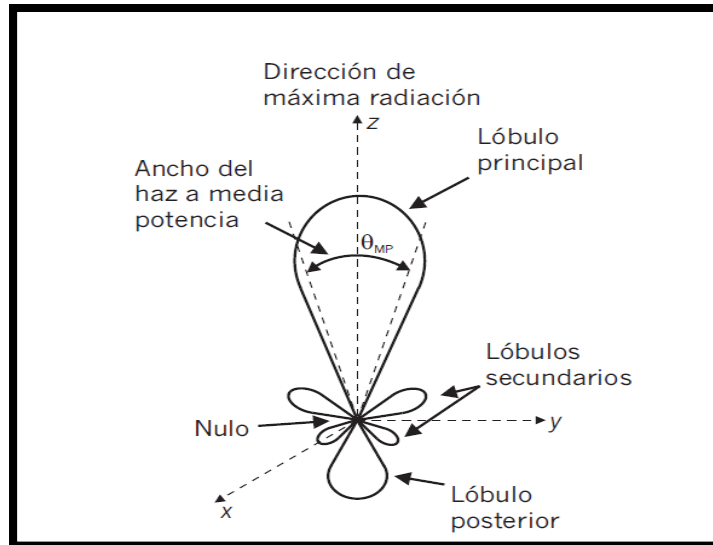
Figura 2-2 diagrama de radiación



Fuente: (Escobedo Rios, 2019)p.11

En la figura 2-1: Dentro del diagrama se encuentra el patrón de irradiación, el cual cuenta con unos lóbulos que representa el patrón de elevación y el patrón de Azimut que al combinarlos dan una gráfica tridimensional de cómo se irradia la energía de una antena.

Figura 2-3 partes de un patrón irradiación



Fuente: (Albornoz, 2013, pág. 113)Fig. B.4

Figura 2-3 Define los lóbulos el cual definen la (directividad y ganancia).

Figura 2-4 Patrones de irradiación en 3D



Fuente: (Escobedo Rios, 2019)p.8

- **Isotrópico:** Cuando la radiación es igual en todas las direcciones del espacio.
- **Omnidireccionales- dipolo:** Radia igual en todas las direcciones de un plano.
- **Directivo:** Cuando radia en mayor parte en una dirección, teniendo radiaciones nulas en unos de sus lóbulos y máximos secundarios.

### 2.3.2 Propiedades Ópticas de las ondas de radio

El fenómeno de propagación de ondas electromagnéticas de alta densidad para el desarrollo de los sistemas de radioenlace, difieren en los efectos ópticos que estudia el comportamiento de las ondas luminosas donde se observa la refracción, reflexión, difracción e interferencia. Los cuales también se aplican para el diseño de un radioenlace mediante la línea vista y las zonas de fresnel, en el que los diversos obstáculos y frecuencias alternas interfieren en la correcta propagación de las ondas portadoras moduladas que generan los equipos de radioenlace para su comunicación por lo cual se definen de la siguiente manera. (Novoa Bermudez & Correño Ortiz, 2018).

- **Refracción**

La refracción electromagnética es el cambio de dirección de una onda al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación.

- **Reflexión**

La reflexión es el acto de reflejar. La reflexión electromagnética se presenta cuando una onda incidente choca con una frontera entre dos medios y algo o toda la potencia incidente de la onda no entra o no penetra y al segundo medio se reflejan.

- **Difracción**

Este fenómeno se define como la modulación o redistribución de la energía dentro de un frente de onda, que permite que las ondas de radio se propaguen en bordes o esquinas de un objeto.

- **Interferencia**

Se produce siempre que se combinan dos o más ondas electromagnéticas, de tal manera que se degrada el funcionamiento del sistema. La refracción, la reflexión y la difracción

pertenece a la óptica geométrica, y eso quiere decir que su comportamiento se analiza principalmente en función de rayos y de frentes de onda. (Tomasi, 2003).

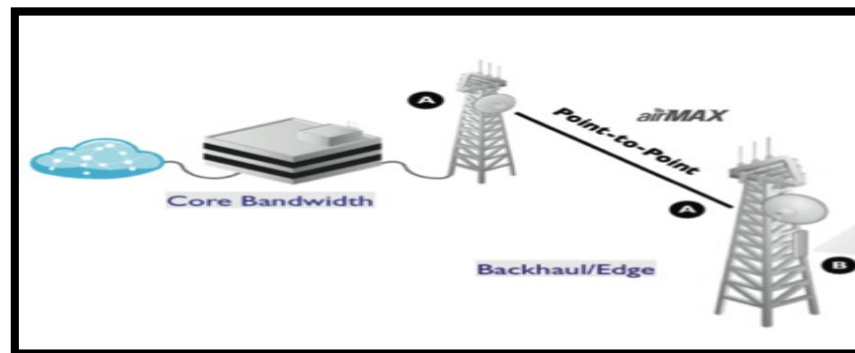
### 2.3.3 Tipos de enlace

Dentro de las redes inalámbricas se tienen sus propias topologías de propagación de señales, dependiendo de los requerimientos de enlace que se quiera implementar teniendo en cuenta los equipos, se definen de la siguiente manera:

- **Enlace punto a punto (PtP)**

Conocido como enlace dedicado, se usa para conectar dos nodos inalámbricamente alcanzando grandes distancias, además de ser segura y estable donde operan las antenas de Panel, Yagi, Parabólicas, Cónicas entre otros equipos de radio frecuencia.

Figura 2-5 Enlace (PtP)

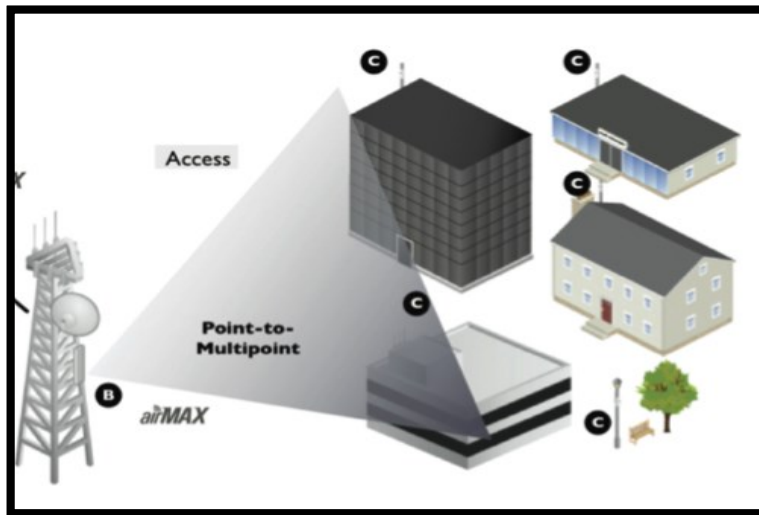


Fuente: VHNGROUP - RADIO ENLACES: QUE ES PTP – PTMP Y BACKHAUL[ ]:  
[<https://www.vhngroup.com/radio-enlaces-que-es-ntp-ptmp-y-backhaul/>](https://www.vhngroup.com/radio-enlaces-que-es-ntp-ptmp-y-backhaul/)

- **Enlace punto a multipunto (PtM)**

Se usa para la conexión de varios puntos remotos a un punto de acceso (AP), lo cual el área de cobertura de gran capacidad para implementar redes de datos voz y video, en donde se operan las antenas Omnidireccionales, Sectoriales, de Panel, Isométricas y Asimétricas.

Figura 2-6 Enlace (PtM)

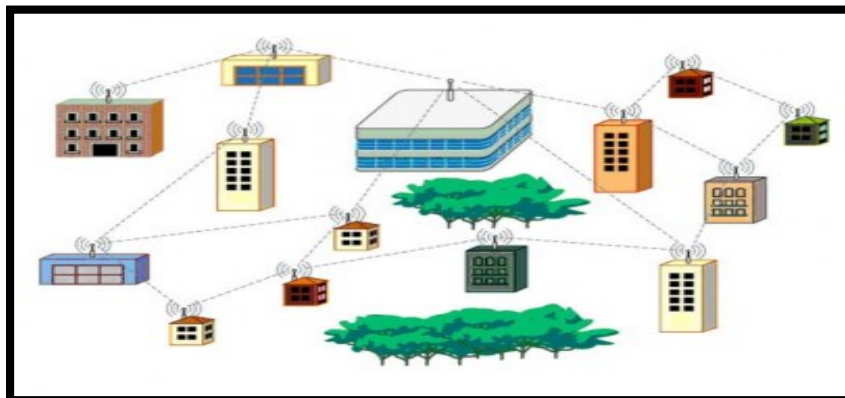


Fuente: VHNGROUP - RADIO ENLACES: QUE ES PTP – PTMP Y BACKHAUL [ ]:  
<<https://www.vhngroup.com/radio-enlaces-que-es-ntp-ptmp-y-backhaul/>>

▪ **Enlace multipunto a multipunto (MtM)**

Es conocida como red Ad-hoc o en malla, donde cada nodo recibe y trasmite señal en varias direcciones siendo una red multidireccional. Por lo cual todos los equipos que están en este enlace se conectan entre sí sin necesidad de una estación base.

Figura 2-7 Enlace (MtM)



Fuente: CASIOPEA [Estudio preliminar para un sistema Mesh]<[https://wiki.ead.pucv.cl/Red\\_Mesh](https://wiki.ead.pucv.cl/Red_Mesh)>



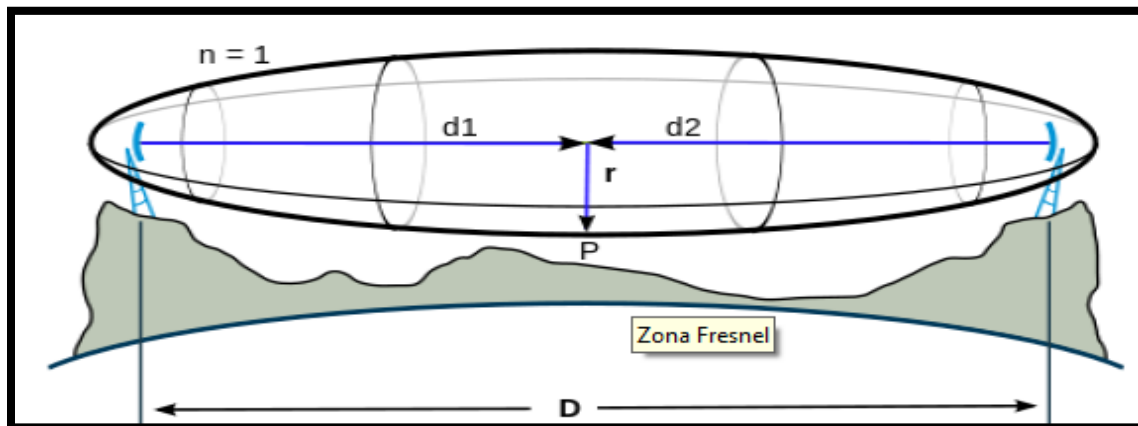
### 2.3.4 Línea de vista

Es el espacio por donde las ondas de radio frecuencia se van a propagar, se debe de tener en cuenta los obstáculos que podrían atenuarse, reflejarse o refractarse, la cual no se puede tener en cuenta con la distancia o con el ojo humano, esta línea de vista nos permite confirmar si un enlace va a tener éxito en la TX de la onda y de no haber es imposible predecir el rendimiento del enlace.

### 2.3.5 Zona de fresnel

La zona de Fresnel se refiere al elipsoide que se debe dejar despejado alrededor de la línea de vista de un radioenlace a partir de dos puntos distantes, con el fin de reducir la interferencia y la reflexión de la onda, debido a que es producida por posibles obstáculos como vegetación o edificios que se pueden interferir en la primera zona de un radioenlace, por lo anterior al no tener la primera zona de fresnel despejada no se tendrá un correcto enlace y en consecuencia se detectara ruido, baja calidad o perdida de señal.

Figura 2-8 Zona de Fresnel

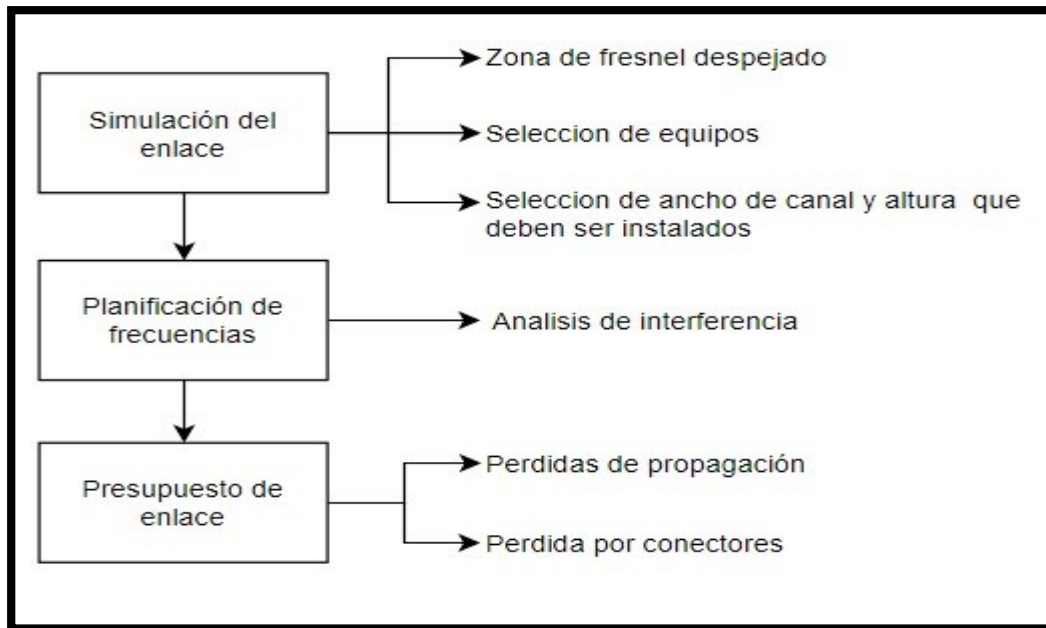


Fuente: ALEGSA. Definición de Zona de Fresnel. [en línea]. Bogotá: El Autor [citado 27, mayo,2020]. Disponible en :[URL:http://www.alegsa.com.ar/Dic/zona\\_de\\_fresnel.php](http://www.alegsa.com.ar/Dic/zona_de_fresnel.php)



## 3. Análisis y diseño de radioenlace

Figura 3-1 Diagrama de análisis y diseño.



Fuente: Autores

En el análisis y el diseño de radioenlace siempre se debe de tener en cuenta los conceptos técnicos, los cuales se deben conocer de manera eficiente para tener éxito en la implementación de equipos, con la intención de que se pueda definir en ciertos criterios a la hora de realizar la instalación y que finalmente se pueda llegar al resultado esperado en la culminación de un radioenlace.

### 3.1 Generalidades

las simulaciones de los posibles puntos de trabajo donde se va a realizar el enlace por medio de la plataforma Airlink, se debe de tener en cuenta la ubicación de las estaciones y la

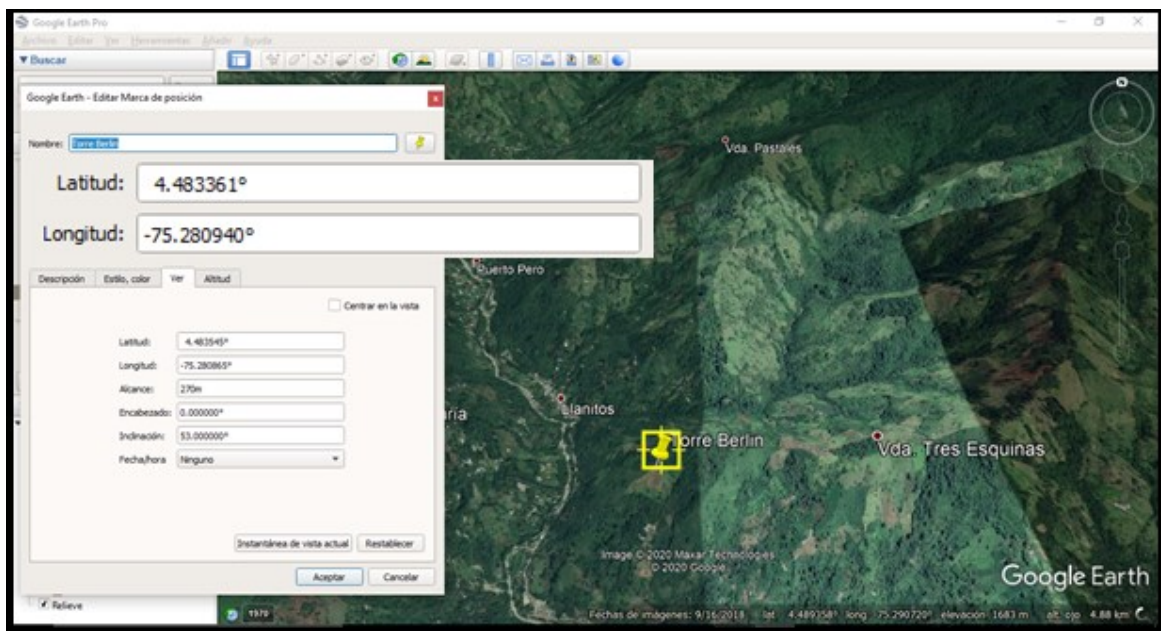
distancia de ambos puntos que se piensan enlazar, que no acceda las especificaciones del equipo, las obstrucciones cualquier tipo de construcción o arborización que afecte la línea de vista directa de ambos puntos. Es muy importante conocer las condiciones del suelo y el terreno, para así mismo saber a qué enfrentarse al momento de iniciar con el proyecto, para esto es necesario efectuar un estudio de sitio para verificar ciertos factores que pueda afectar un enlace.

## 3.2 Diseño

En un diseño es necesario aplicar las herramientas de simulación que respalde coordenadas para así tener en cuenta que tanto beneficio o productividad en velocidad se puede obtener del equipo en cuestión para alcanzar la meta propuesta de un enlace estable.

### 3.2.1 Toma de coordenadas

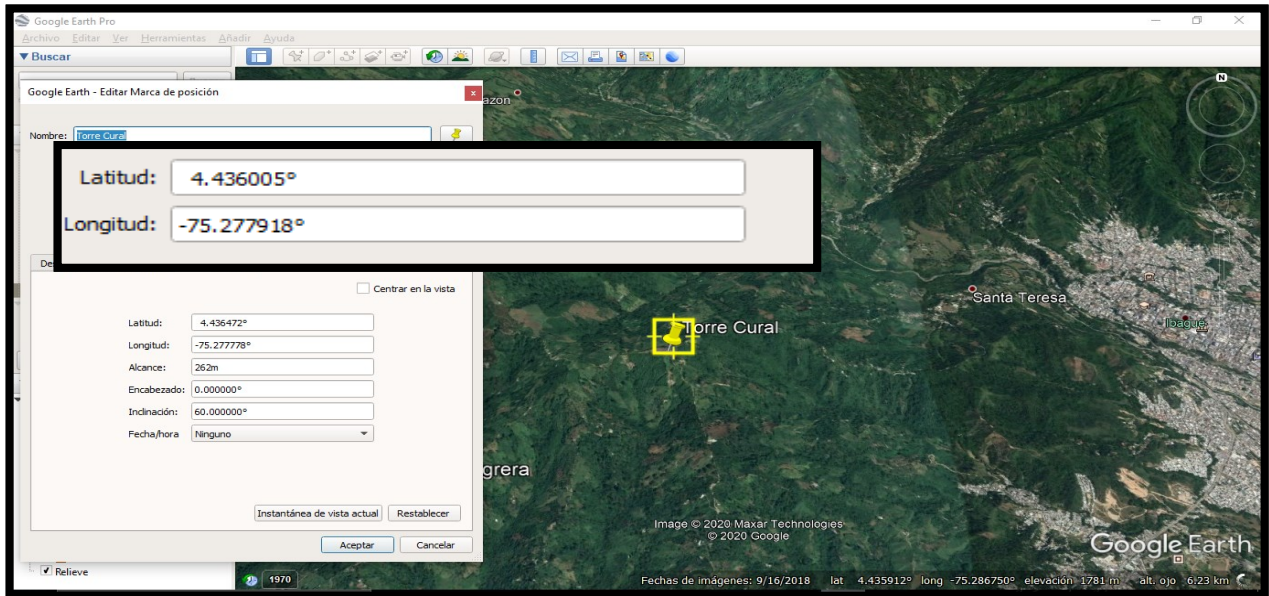
Figura 3-2 Coordenada Torre Berlín



Fuente: Software Google Earth

En la figura 3-2 se escriben las coordenadas en decimal de la torre Cural y se nombran por el software Google Earth.

Figura 3-3 Coordenada torre Cural



Fuente: Google Earth

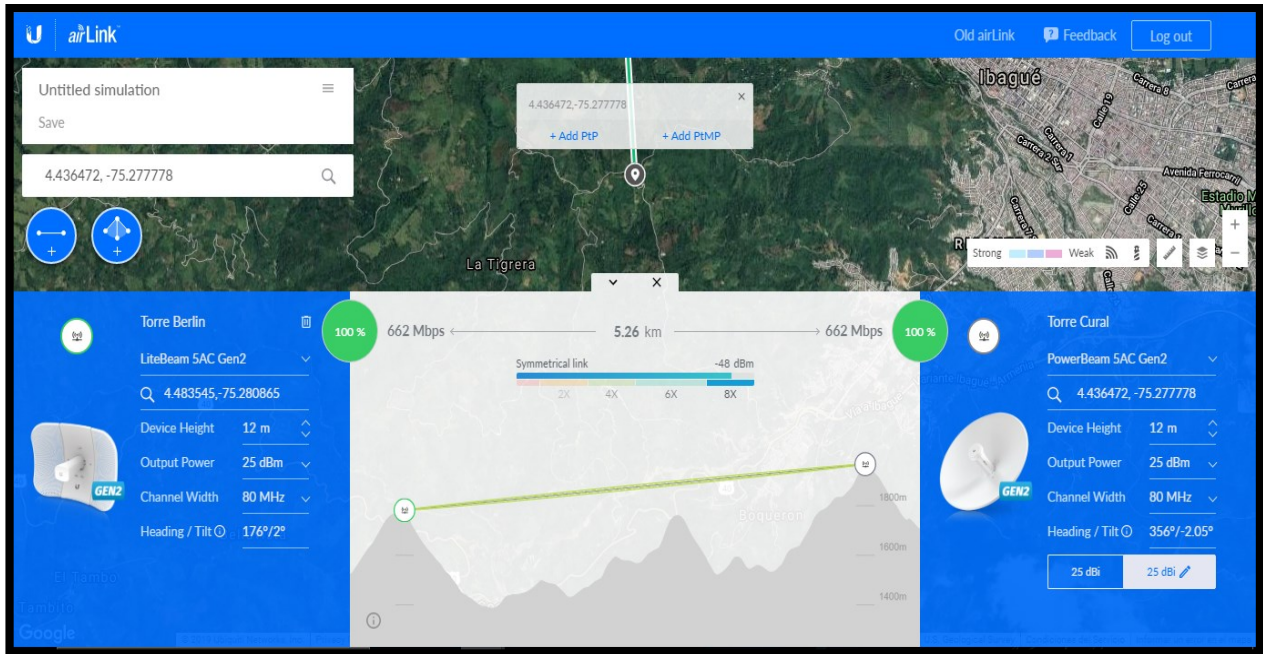
En la figura 3-3 se observa las coordenadas de la torre Cural en decimal y se nombra.

Figura 3-4 Perfil topográfico Google Earth.





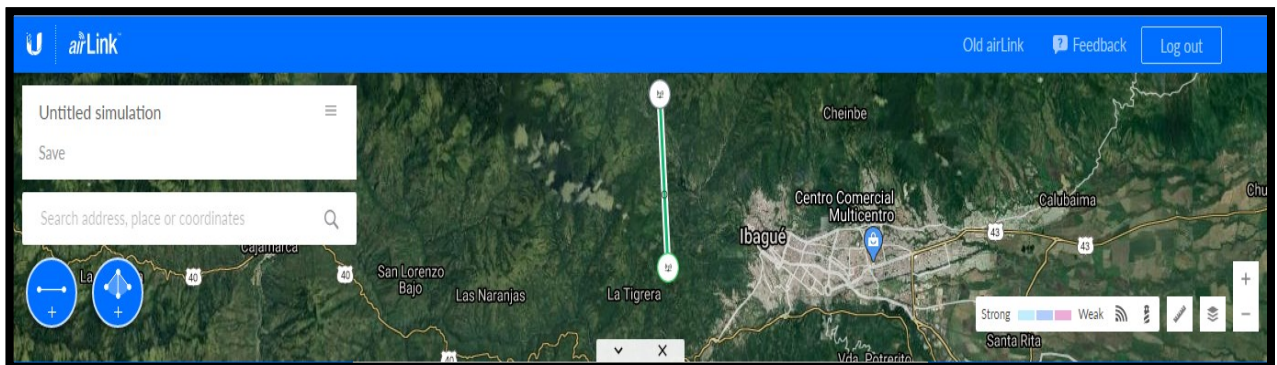
Figura 3-5 Simulación del enlace



Fuente: AirLink

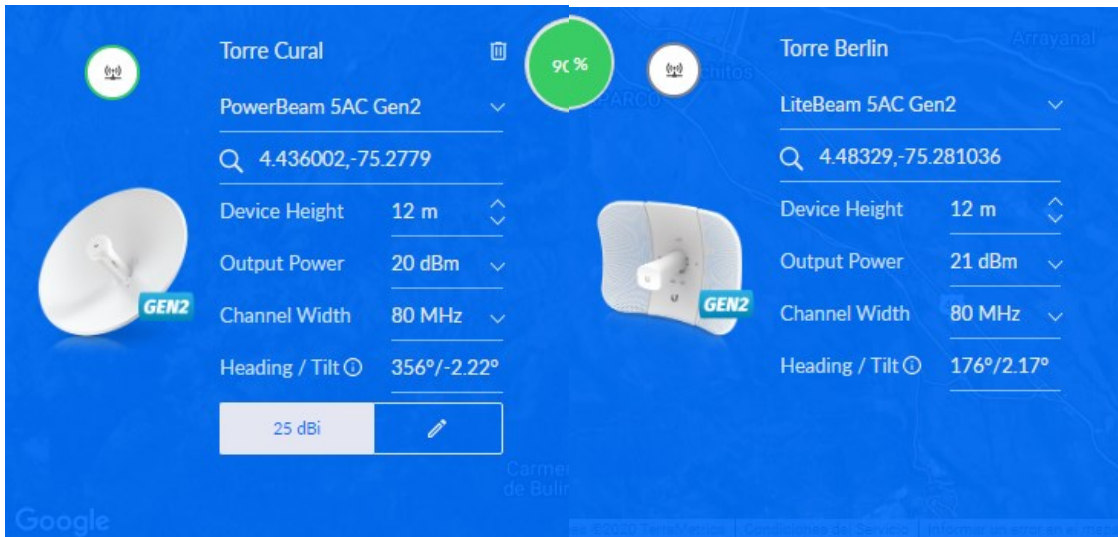
En la figura 3-5 se puede evidenciar el software online de UBIQUITI, donde se verifica la línea de vista y ya se puede planificar las características del futuro enlace. Este software calcula además la distancia automáticamente.

Figura 3-6 parte georreferenciada



la figura 3-6 es la simulación por la plataforma online AirLink, se verifica el mapa de los dos puntos que se van a simular, donde para más información se puede verificar en el siguiente capitula.

Figura 3-7 Equipos AC punto A y B



Verificando la figura 3-7: se observa las especificaciones del equipo instalado en la torre Cural, donde se instaló a 12 metros de la base, con una potencia de transmisión de 20 dBm, canal de 80 MHz y una ganancia en la antena de 25dBi. También verificamos especificaciones de alineación donde el software nos indica un azimut de 356° y una inclinación de 2.22°

Finalizando con el simulador de AirLink se verifica las características del equipo en la torre Berlin, donde se simula con una potencia máxima de transmisión de 21dBm, ancho de canal de 80MHz y a una altura desde el piso de 12 metros. También nos indica las características de alineación, teniendo una dirección de azimut de 176° y una inclinación 2.17°

Figura 3-8 línea de vista del simulador Airlink

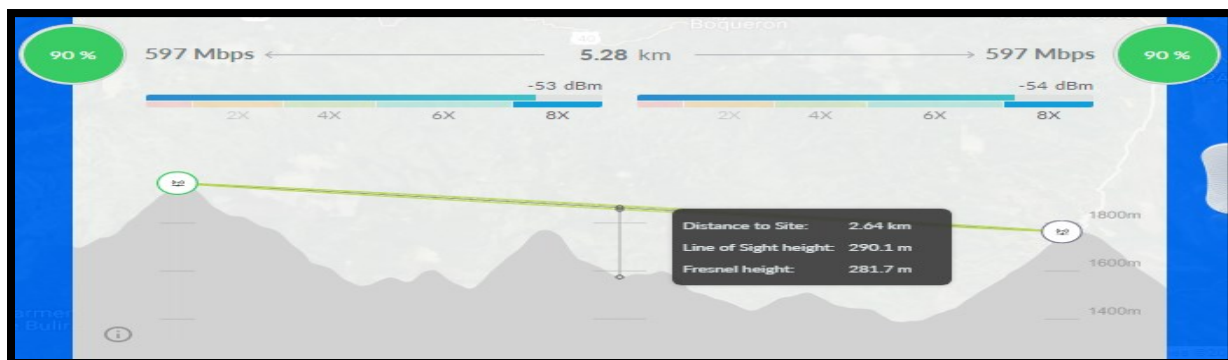




Figura 3-8:, se verifica el perfil topográfico, zona de fresnel, viabilidad del enlace y velocidad del enlace, donde se verifica una línea de vista sin obstrucción alguna y con un radio máximo en el centro del enlace de 8,4, realizando la resta de la altura de la línea de vista con la altura del fresnel. siguiendo se verifica una viabilidad del enlace de un 90% con una velocidad de 597Mbps a una sensibilidad de – 53 dBm en la torre Cural y -54dBm en la torre Berlin.

A continuación, se evidencia las tablas de modulación, tabla de sensibilidad, potencia de transmisión y ganancias de antena de los equipos a trabajar.

Tabla 3-1 Output Power Estación 1

LBE-5AC-Gen2 Output Power: 25 dBm							
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
airMAX ac	1x BPSK (½)	25 dBm	± 2 dB	airMAX ac	1x BPSK (½)	-96 dBm Min.	± 2 dB
	2x QPSK (½)	25 dBm	± 2 dB		2x QPSK (½)	-95 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (¾)	25 dBm	± 2 dB		2x QPSK (¾)	-92 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (½)	25 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (½)	-90 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (¾)	25 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (¾)	-86 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (¾)	25 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (¾)	-83 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (¾)	24 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (¾)	-77 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (¾)	23 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (¾)	-74 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (¾)	21 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (¾)	-69 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (¾)	21 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (¾)	-65 dBm	± 2 dB

Fuente: Datasheet LiteBeam AC Gen2

En la figura 3-3 se evidencia la tabla de modulación de la LITEBEAM AC GEN2, especificado en el datasheet. del dispositivo. En donde se analice y especifique los parámetros para la velocidad en Mbps, Potencia de transmisión y sensibilidad del dispositivo radiador.

En esta práctica se analiza la estación LITEBEAM AC GEN2 instalada en la Torre Berlín, donde se pondrá en práctica su máxima capacidad. Para ello se va a requerir una potencia

máxima de transmisión de 21 dBm y una sensibilidad mínima de -66 dBm. De fábrica este dispositivo radiador consta con una antena de 23 dBi.

Tabla 3-2 Output poder Estación 2

PBE-5AC-Gen2 Output Power: 24 dBm							
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
airMAX ac	1x BPSK (½)	24 dBm	± 2 dB	airMAX ac	1x BPSK (½)	-96 dBm Min.	± 2 dB
	2x QPSK (½)	24 dBm	± 2 dB		2x QPSK (½)	-95 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (¾)	24 dBm	± 2 dB		2x QPSK (¾)	-92 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (½)	24 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (½)	-90 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (¾)	24 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (¾)	-86 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (½)	22 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (½)	-83 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (¾)	21 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (¾)	-77 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (¾)	21 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (¾)	-74 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (¾)	20 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (¾)	-69 dBm	± 2 dB
8x 256QAM (¾)	20 dBm	± 2 dB	8x 256QAM (¾)	-65 dBm	± 2 dB		

Fuente: Datasheet LiteBeam AC Gen2

Ahora, analizando el dispositivo radiador POWERBEAM AC GEN2 instalado en la Torre Amarillas, se va visualizar la tabla de modulación anexada en la figura 3-4, donde también se puede evidenciar en el datasheet de dicho dispositivo.

Completando el enlace y siguiendo la idea de poner en marcha su máxima capacidad se va a requerir una potencia máxima de transmisión de 20 dBm y una sensibilidad mínima de -65 dBm para alcanzar su tasa de modulación más alta. De fábrica este dispositivo radiador consta con una antena de 23 dBi

- **Perdidas de espacio libre** de acuerdo a la recomendación ITU P.525. (<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.525/es>), cuando se trata de un enlace punto a punto.

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log (f) + 20 \log d \text{ dB} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

Lbf: pérdida básica de transmisión en el espacio libre (dB)

f: frecuencia (MHz)

d: distancia (km).

De acuerdo a los cálculos la pérdida básica de transmisión en el espacio libre es:

Lbf: 122.129 dB

**Cálculo Potencia Isotrópica Radiada Efectiva:**

$$\text{PIRE} = \text{Ptx(dBm)} - \text{Lc(dB)} + \text{Gtx(dBi)} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde, Ptx = Potencia del transmisor (dBm)

Lc = pérdidas en cables y conectores (dB)

Gtx = Ganancia de la antena (dBi).

PIRE Torre Berlín	PIRE Torre Cural
42 dBm	44 dBm

Fuentes: Autores

**Calculo Zona de Fresnel**

$$R = 17.32 \sqrt{\frac{d1 \cdot d2}{d \cdot f}} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Tabla 3-3 Descripción de la ecuación de Fresnel

Notación	Descripción
<b>d</b>	Distancia antena (mts)
<b>f</b>	Frecuencia (Hz)
<b>R</b>	Radio

<b>Zona de Fresnel</b>
8,24m

Fuente: Autores

**Cálculo potencia de recepción calculada:**

$$Prx = PTX(dBm) + Gtx(dBi) + Grx(dBi) - Ltx(dB) - Lrx(dB) - Lbf(dB). \text{ Ecuación (4)}$$

Prx: Potencia de recepción de cada estación.

Ptx: Potencia de transmisión del emisor.

Gtx: Ganancia en la antena del equipo de emisor.

Grx: Ganancia de la antena del receptor.

Ltx: Pérdida en dB de los conectores y cables del equipo emisor o de la estación.

Lrx: Pérdida en dB de los conectores y cables del equipo receptor o de la estación.

Lbf: pérdida básica de transmisión en el espacio libre.

Tabla 3-4 recepción calculada

	<b>Torre Berlín</b>	<b>Torre Cural</b>
	-57dBm	-57dBm

Fuente: Autores

▪ **Resultados teóricos con los resultados Airlink:**

Tabla 3-5 resultados teóricos

-----	<b>Torre Berlín</b>	<b>Torre Cural</b>
<b>Prx</b>	-57dBm	-57dBm
<b>PIRE</b>	42dBm	44dBm

Fuente: Autores

Tabla 3-6 Cálculos

-----	Torre Berlín	Torre Cural
<b>Prx</b>	-48dBm	-48dBm
<b>PIRE</b>	42dBm	44dBm

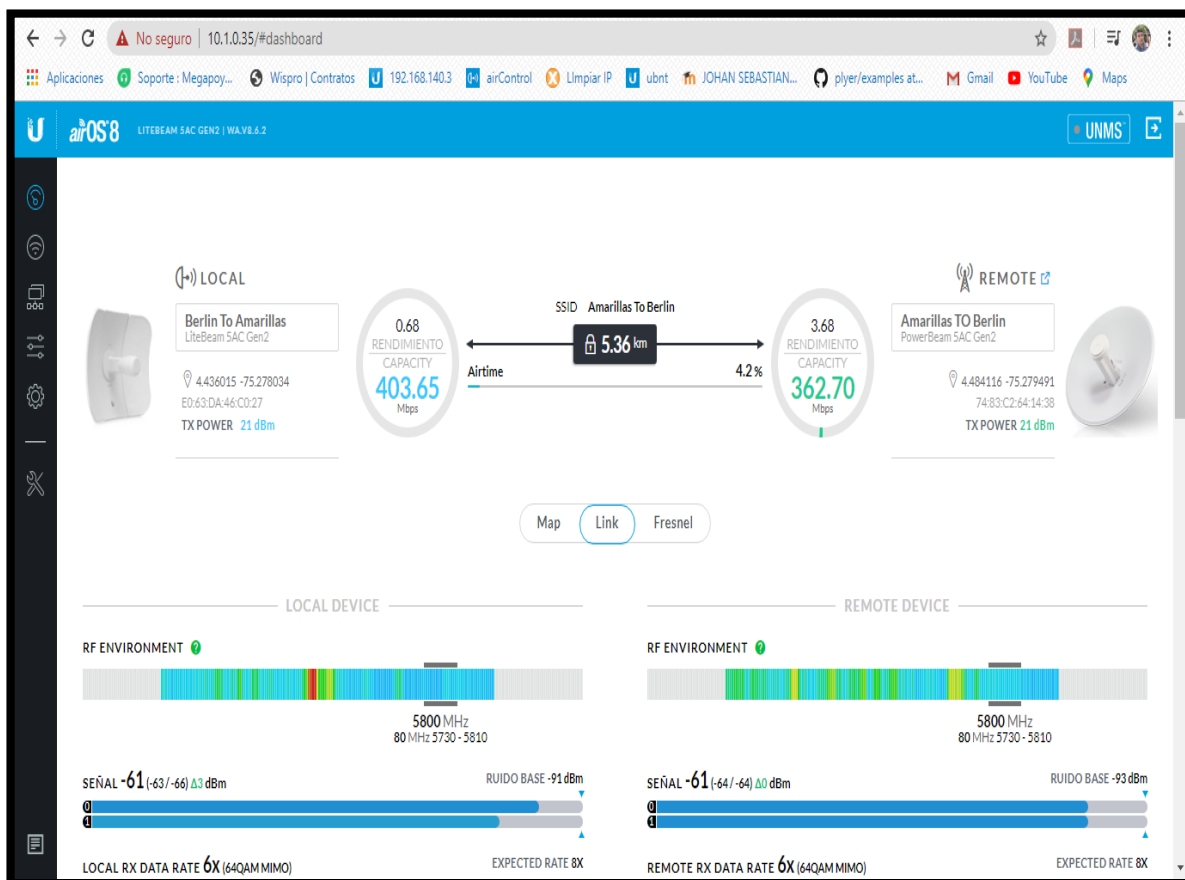
Fuente: Autores

Tabla 3-7 Cálculos AirLink

-----	Torre Berlín	Torre Cural
<b>Prx</b>	-61dBm	-61dBm
<b>PIRE</b>	42dBm	44dBm

Fuente: Autores

Figura 3-9 Configuración de enlace Berlin - Amarillas.



Fuente: Software AirOs8

En la figura 3-9 se observa las características principales del enlace funcional con sus respectivas intensidades de señal, potencia de transmisión, capacidades, entre otras. Ingresando a la IP asignada en la estación de la torre Berlín, se puede observar la gran facilidad de estos dispositivos y todas las características que ayudan a mejorar y administrar el enlace. Donde el monitor se divide en dos partes, la parte derecha que es el monitor de la estación LiteBeam de amarillas y la parte izquierda de la estación PowerBeam de la torre amarillas.

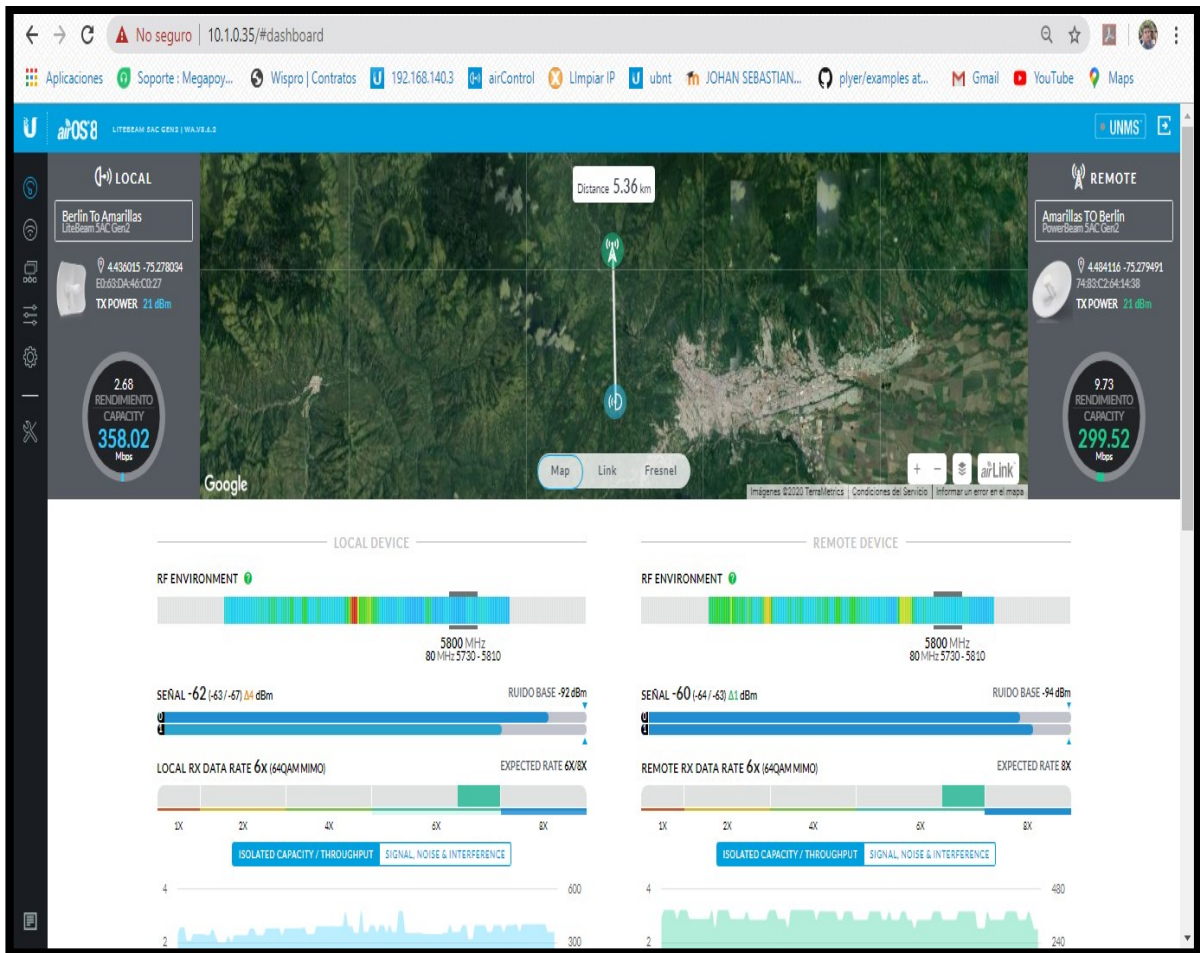
Para finalizar la estación se configuro como PtP con la licencia libre para demostrar el máximo rendimiento de los equipos a frecuencia de 5,800MHz, Ancho de canal 80MHz y con una configuración de red puente Capa dos con la IP 10.1.0.35/16 y 10.1.0.30/16.

Siguiendo con lo anterior se obtuvo una capacidad de 403Mbs en la estación instalada en la torre Amarillas y de 362Mbs en la estación de torre Berlín, con una señal de -61dBm de sensibilidad en cada uno, alcanzando una tasa de modulación de 64QAM en cada estación.

El dispositivo de UBIQUITI de última generación viene con un segundo radiador incorporado, en el cual el dispositivo lo utiliza como analizador de espectro, el cual es de bastante ayuda para el correcto funcionamiento del enlace.

El analizador de espectro del equipo ayuda elegir la mejor frecuencia y ancho de canal, donde se observa las franjas de color rojo como frecuencias ocupadas de mucha intensidad y las azules como frecuencias limpias aun no utilizadas. para el buen funcionamiento del enlace son indispensables la frecuencia y el ancho de canal utilizadas, ya que es el medio donde estos dispositivos operan y como se sabe estos dispositivos funcionan a frecuencias libres donde cualquiera puede utilizar el canal que decida.

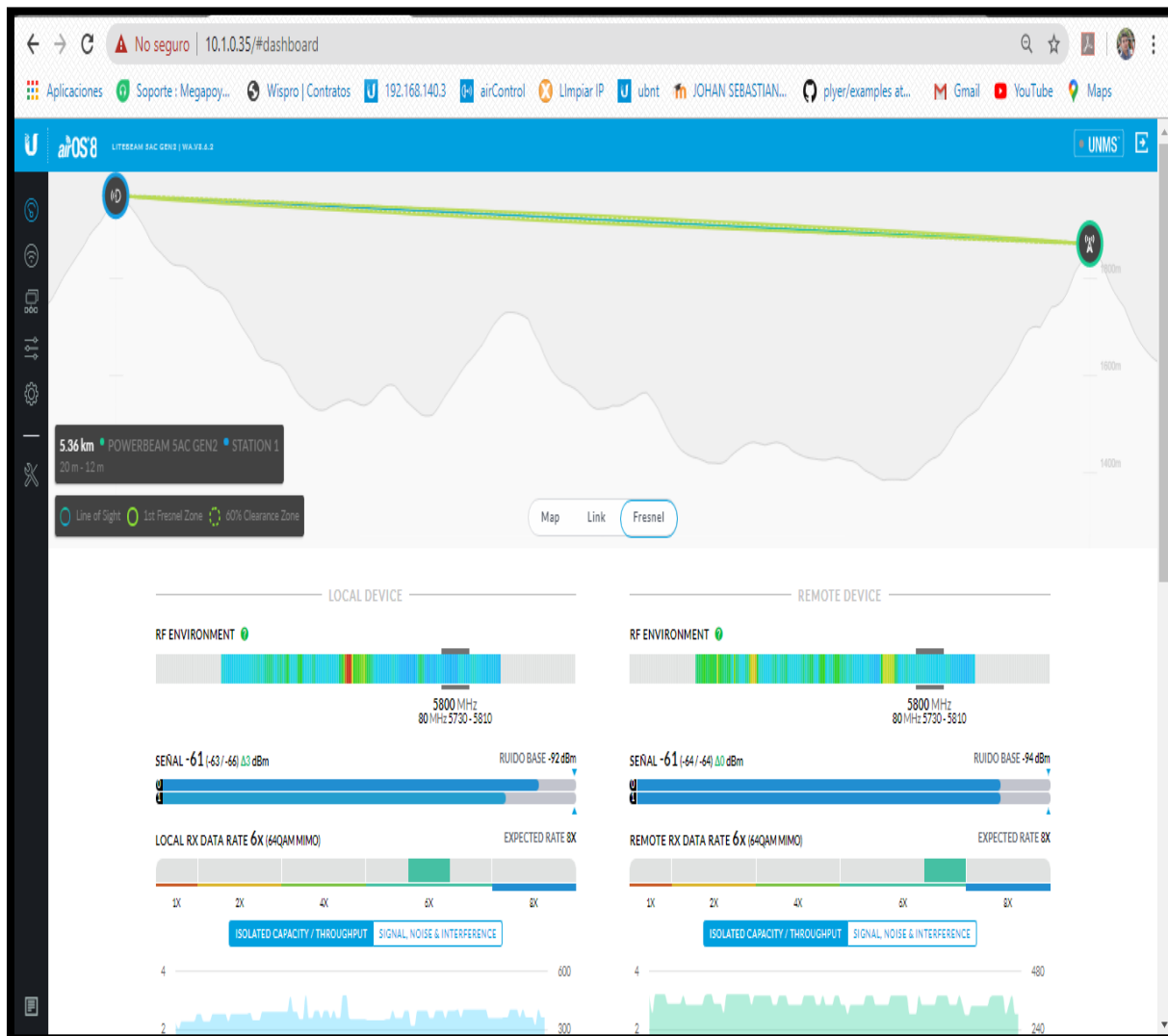
Figura 3-10 Mapa del enlace realizado.



Fuente: Software airOs8

En la figura 3-10 se observa el mapa con la ubicación de ambos dispositivos, donde con anterioridad se deben anexar en la ventana del sistema, así mismo en el antepenúltimo segmento pide las coordenadas en decimal y la altura de los equipos instalados. En el centro inferior del mapa se observa las ventanas donde se puede cambiar de Maps, Link y zona Fresnel próxima a analizar.

Figura 3-11 Zona Fresnel realizada

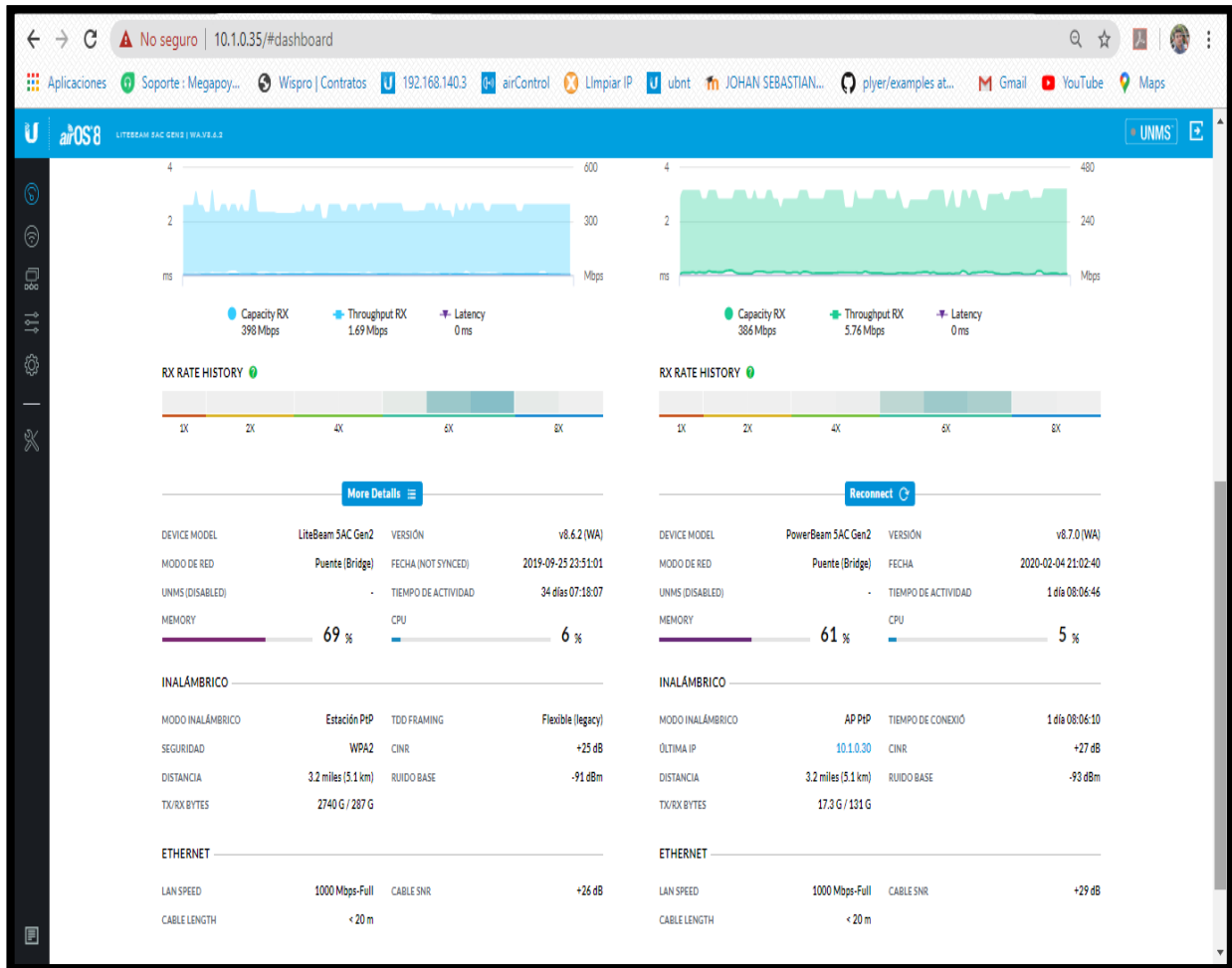


Fuente: Software airOs8

En la figura 3-11 se analizará la zona de fresnel, donde ya se ha verificado con la plataforma en línea AirLink y se puede observar que en su totalidad se encuentra ambos puntos totalmente limpios y con un correcto funcionamiento.



Figura 3-12 Características de los dispositivos.

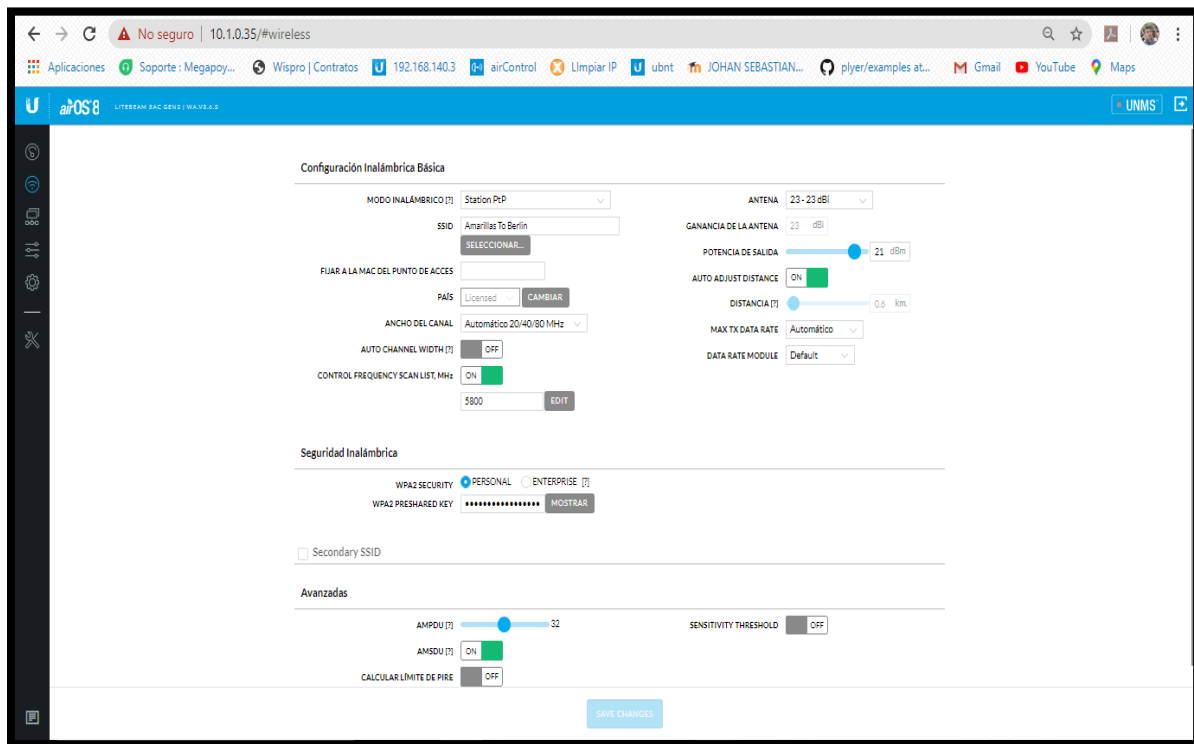


Fuente: Software AirOs8

En la figura 3-12 se observa la segunda parte del monitor principal donde se puede evidenciar ambas características de los dos puntos, en el cual estos equipos automáticamente calculan la relación señal ruido (CINR), ruido base, distancia y velocidad en Bytes del enlace.

También se puede observar el nombre del dispositivo, tiempo de actividad, porcentaje utilizado de la CPU y Memoria. Finalizando se observa las características en las que se encuentra el cable ETHERNET, como lo es la velocidad de navegación, distancia del cable y el SNR (Relación señal/ruido del cable).

Figura 3-13 Configuraciones inalámbricas.



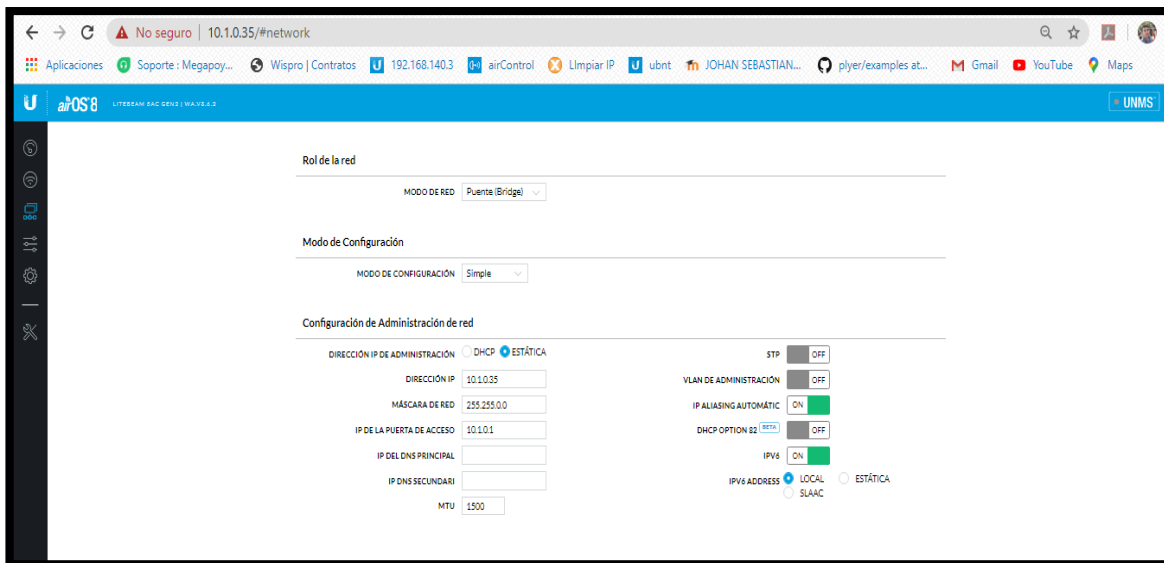
Fuente: Software AirOs8

Ingresando a la ventana inalámbrico donde se puede observar en la figura 3-13, se analiza sus parámetros principales como, potencia y tasa de modulación donde en el siguiente capítulo se puede ver mejor reflejado.

En este enlace se optó por dejar una potencia máxima de transmisión de 21 dBm, siendo la potencia requerida para obtener mejor capacidad y sensibilidad óptima para el equipo enlazado, estas características se eligieron previamente con la tabla de sensibilidad plasmada en el datasheet de cada dispositivo. Por otra parte, este es el equipo station PtP (punto a punto) y en el segundo equipo debe de estar en la configuración Access Point PtP con el mismo ancho de canal, seguridad y frecuencia.

Siguiendo con lo anterior se debe de tener en cuenta que se optó por un ancho de canal máximo de 80 MHz, ya que el espectro radioeléctrico de ambos equipos es bastante limpio a diferencia de la zona urbana.

Figura 3-14 configuración de red



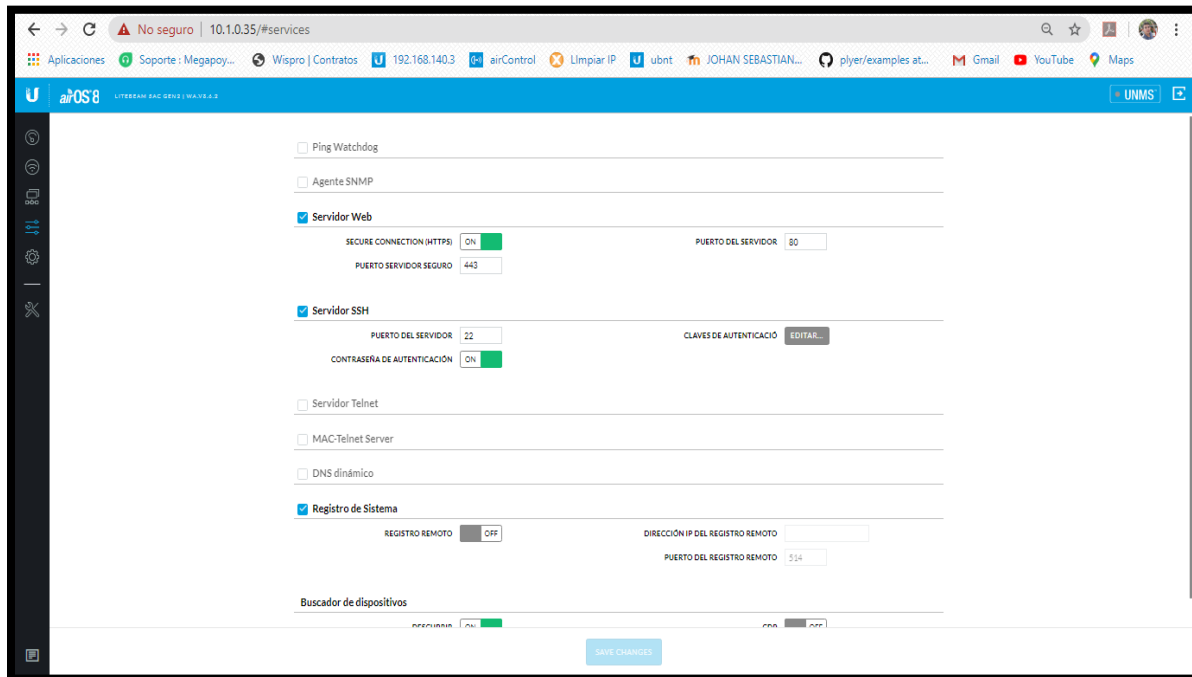
Fuente: Software AirOs8

En la figura 3-14 se evidencia como la tercera parte importante para el correcto funcionamiento del dispositivo son las configuraciones de red en la siguiente ventana, donde en este enlace se decidió dejar como si fuera un cable aéreo, es decir todos los datos que entran por un extremo salen sin ninguna modificación, siendo esta una configuración puente o de enlace de datos, capa dos del modelo OSI.

Se decidió dejar la IP en la red 10.1.0.0/16, que son el rango utilizado de IP más común por los ISP (Proveedor de servicios de Internet) en latino américa, con una configuración simple.

No es necesario tener ese rango de IP, esa es decisión del instalador o con la configuración que se desea, según la necesidad. En esta venta se puede hacer muchas configuraciones ya que estos dispositivos funcionan como un enrutador, donde aparte de esto se puede configurar como enrutador con todas las características necesarias para redes muy complejas.

Figura 3-15 configuración red.2

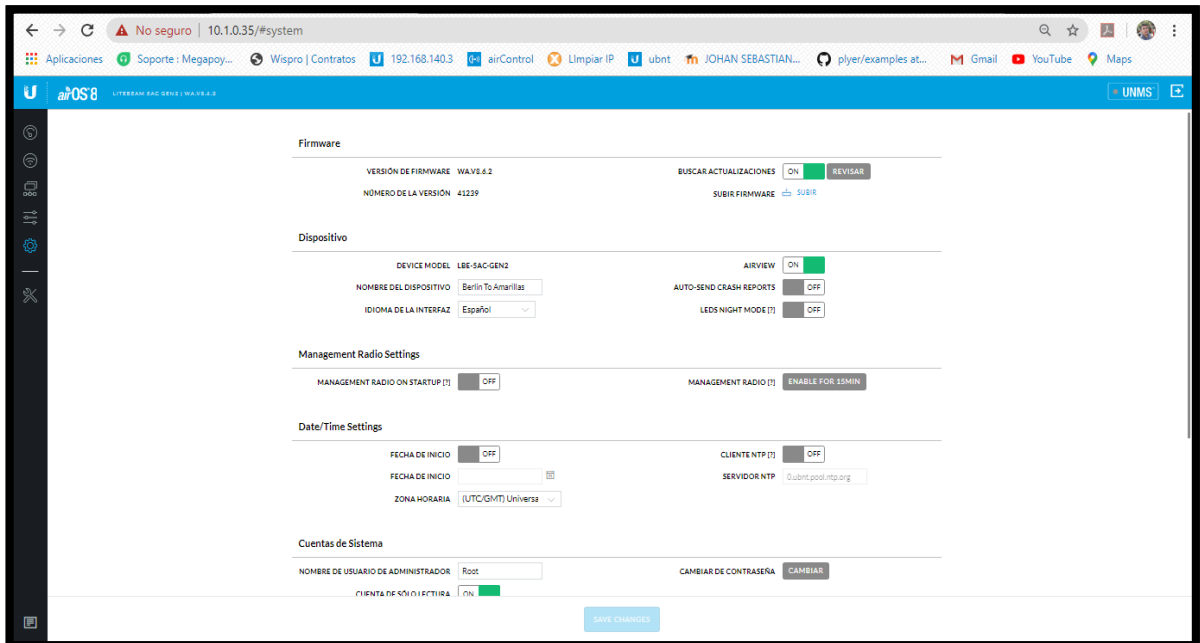


Fuente: Software AirOs8

Seguido por la cuarta venta de servicios vista en la figura 3-15, donde es de gran importancia para una administración más robusta. Se necesita un servidor para administrar muchos dispositivos o configurar por SSH o Telnet.

También es de gran utilidad para verificar el estado remotamente y envió de registro automáticamente. Una configuración interesante es el Ping Watchdog o Ping guardián que es de gran ayuda cuando el dispositivo se bloquea por reinicios inesperados o problemas relacionados, siendo un agente que se puede configurar para que haga pines con rangos de tiempo a otros dispositivos o páginas, las cuales, si el no detecta cierta frecuencia en estado del ping, es decir pérdida constante en el ping el automáticamente se reiniciara.

Figura 3-16 configuración enlace



Fuente: Software AirOs8

En la figura 3-16: Como ultima ventada del SO(sistema operativo) AirOs está dividida en 7 sesiones (la interface puede cambiar según el firmware), la primera parte es la de nombre del dispositivo, compilación del firmware y una parte donde el dispositivo busca automáticamente el firmware o se actualiza manualmente.

La siguiente sesión son características del dispositivo como, nombre, idioma, prender o apagar los leds y encender o apagar el analizador de espectros. Siguiendo esta el administrador Management (administración por wifi) puede habilitar, apagar o encenderlo de inmediato. Tener en cuenta que el administrador se habilita 15 minutos apenas se energiza el dispositivo radiador.

Después se pueden ver las configuraciones de hora y fecha, donde también se puede sincronizar con un servidor. Ya en la antepenúltima división cuentas de usuario de la figura 3-13 se puede modificar el nombre de usuario y contraseña, como también usuarios de solo lectura.

## 42 IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO Y DISEÑO DE RADIO ENLACES DE MICROONDAS DIGITALES EN LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE IBAGUÉ UTILIZANDO TECNOLOGÍA AIRMAX AC

Figura 3-17 configuración enlace

The screenshot displays the AirOS8 web interface for configuring radio links. The browser address bar shows the URL 10.1.0.35/#system. The interface is organized into several sections:

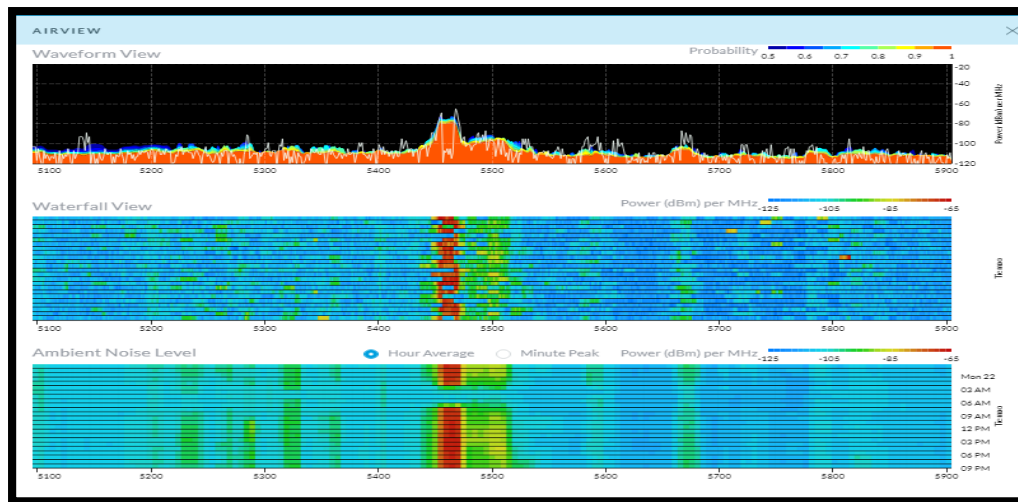
- Management Radio Settings:** Includes a toggle for 'MANAGEMENT RADIO ON STARTUP (?)' set to 'OFF' and a button for 'MANAGEMENT RADIO (?)' set to 'ENABLE FOR SEMIN'.
- Date/Time Settings:** Includes a toggle for 'FECHA DE INICIO' set to 'OFF', a 'CLIENTE NTP (?)' toggle set to 'OFF', a 'FECHA DE INICIO' input field, a 'SERVIDOR NTP' input field with the value 'Oubnt.pool.ntp.org', and a 'ZONA HORARIA' dropdown menu set to '(UTC/GMT) Universal'.
- Cuentas de Sistema:** Includes a 'NOMBRE DE USUARIO DE ADMINISTRADOR' input field with the value 'Root', a 'CAMBIAR DE CONTRASEÑA' button, a 'CUENTA DE SOLO LECTURA' toggle set to 'ON', and a 'NOMBRE DE LA CUENTA DE SOLO LECTURA' input field with the value 'UAN', along with a 'CHANGE READ-ONLY USER PASSWORD' button.
- Lugar:** Includes a 'LATITUD' input field with the value '4.436015' and a 'DEVICE HEIGHT (?)' input field with the value '12 m', and a 'LONGITUD' input field with the value '-75.278034'.
- Mantenimiento del dispositivo:** Includes a 'REINICIAR DISPOSITIVO' button, a 'RESALDAR CONFIGURACIÓN' button, a 'REINICIALIZAR A LOS VALORES POR DEFECTO DE FÁBRIC' button, a 'SUBIR CONFIGURACIÓN' button, a 'DOWNLAD SUPPORT INFO' button, and a 'REGULATORY' button.

A 'SAVE CHANGES' button is located at the bottom center of the interface.

Fuente: Software AirOs8

Finalmente siguiendo la figura 3-16, se dirigen a la figura 3-17, donde se puede agregar la ubicación en decimal y la altura del dispositivo. Y terminando en la configuración de mantenimiento, se puede reiniciar, formatear, guardar una configuración de respaldo o cargar y también se puede descargar la regulación del dispositivo.

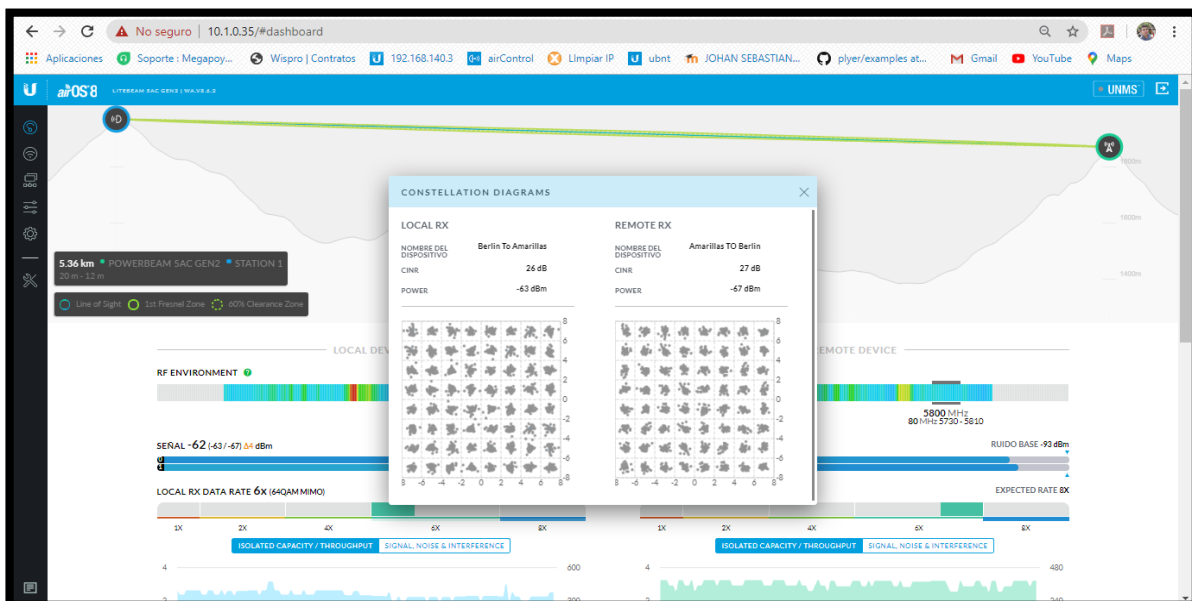
Figura 3-18 Analizador de espectros



Fuente: Software AirOs8

En la figura 3-18: se observa la herramienta Airview, la cual representa gráficamente la intensidad de ruido en el espectro, y ayuda a elegir la frecuencia y ancho de canal óptimo para un mayor rendimiento. Ingresando a la IP asignada en la estación de la torre Berlín.

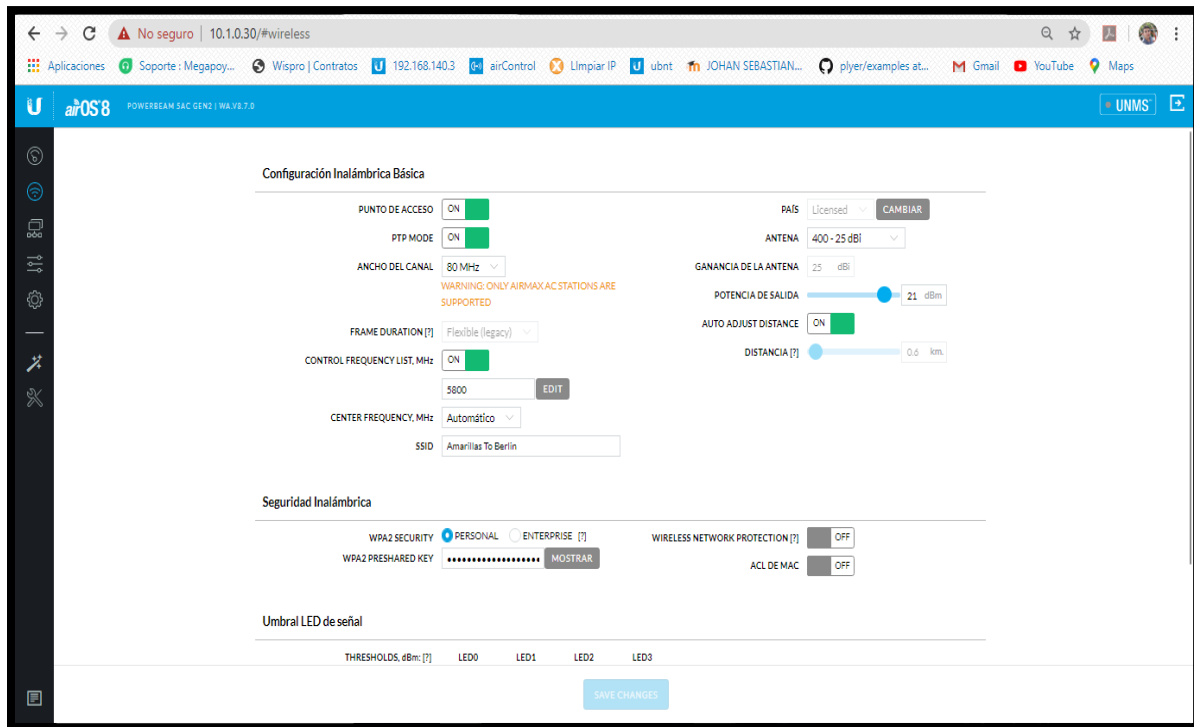
Figura 3-19 Diagrama de constelación



Fuente: Software AirOs8

En la figura 3-19: Como herramienta de gran importancia y ayuda se tiene la constelación del dispositivo, vista en la figura 3-18, gráficamente presenta la tasa de modulación en cuadrícula de ambos enlaces uno a la mano derecha y la otra a mano izquierda, así como el CINR y la potencia de las dos partes, con ella se puede analizar cómo llegan los paquetes según los puntos de cada cuadrícula.

Figura 3-20 Configuración inalámbrica básica estación Cural



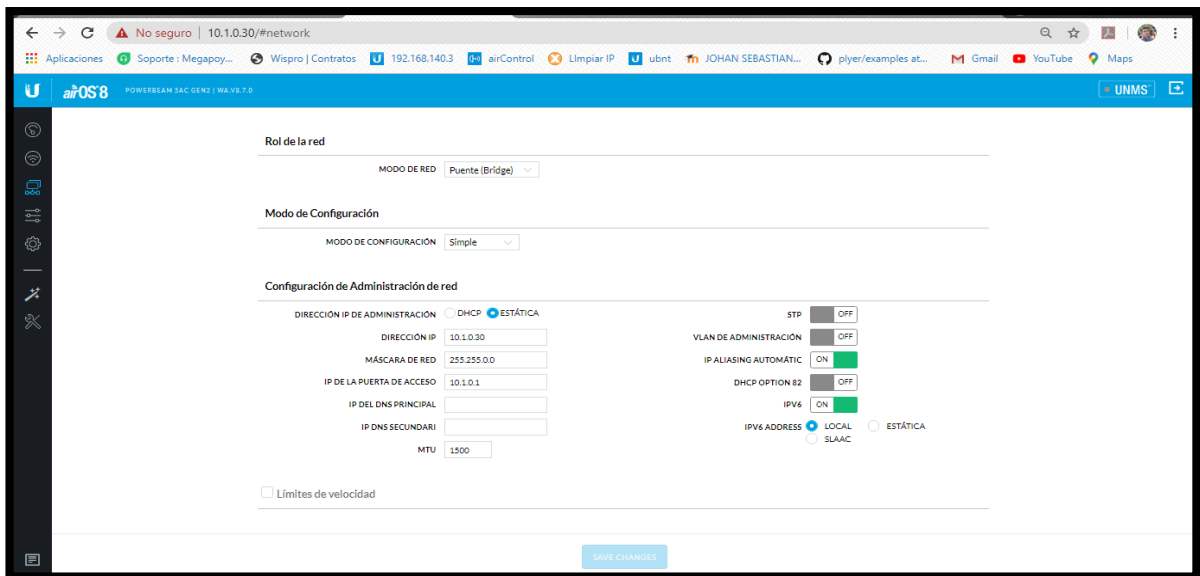
Fuente: Software AirOs8

Como anexo se muestra en la figura 3-20, donde funciona como AP PtP PowerBeam AC con la frecuencia, el ancho de canal y la contraseña inalámbrica idéntica a la estación LiteBeam antes vista.

En esta AP se configuro la potencia según la tabla de sensibilidad y potencia según su datasheet igual que al equipo estación antes visto.



Figura 3-21 Configuración modo de red



Fuente: Software AirOs8

En la figura 3-21: Se anexa la configuración de Red del equipo AP PowerBeam AC, donde se decidió dejar una IP del mismo rango de la estación y en configuración para que trabajen como un cable aéreo antes mencionado, es decir en capa 2 del modelo OSI (enlace de datos).

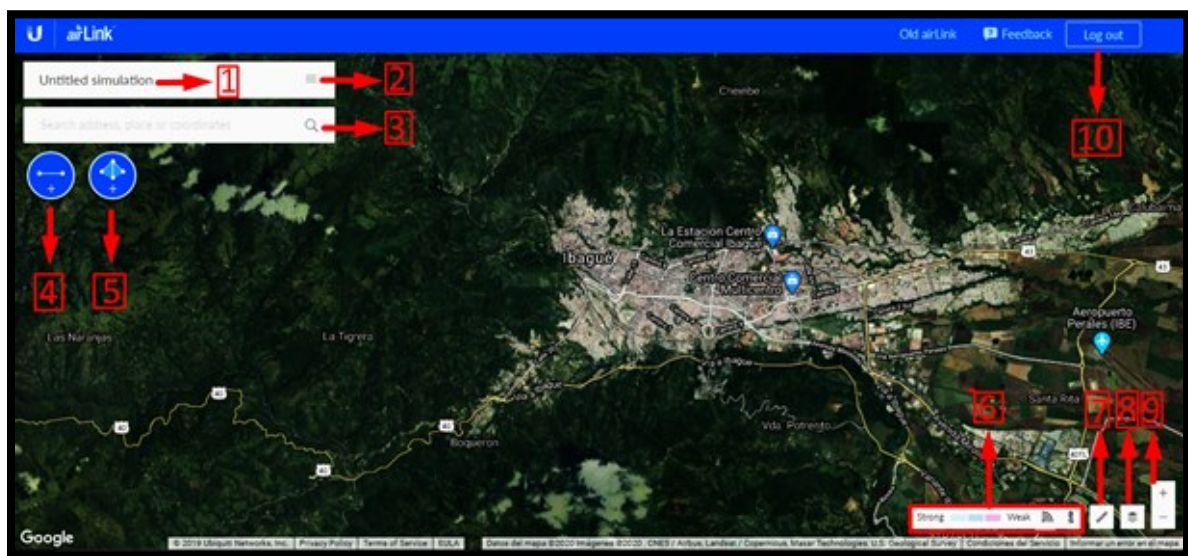


## 4. Herramientas de simulación

### 4.1 Airlink

Airlink es una herramienta de simulación de Ubiquiti, donde el software hace simulaciones de enlace punto a punto y punto a multipunto, posee buenas prestaciones de trabajo a la hora de efectuar una simulación para obtener parámetros como distancia, coordenadas, altura de las antenas, potencia de transmisión, canal donde se podrán modificar muy fácilmente, características de las antenas como su zona Fresnel y línea de vista en 2D; para ingresar a esta plataforma se debe tener el enlace a la red de Internet e ingresar al siguiente Link:< <https://link.ui.com/#>> donde se deberá registrar de manera gratuita para poder acceder a sus servicios de simulación en línea.

Figura 4-1 Interfaz de software de AirLink



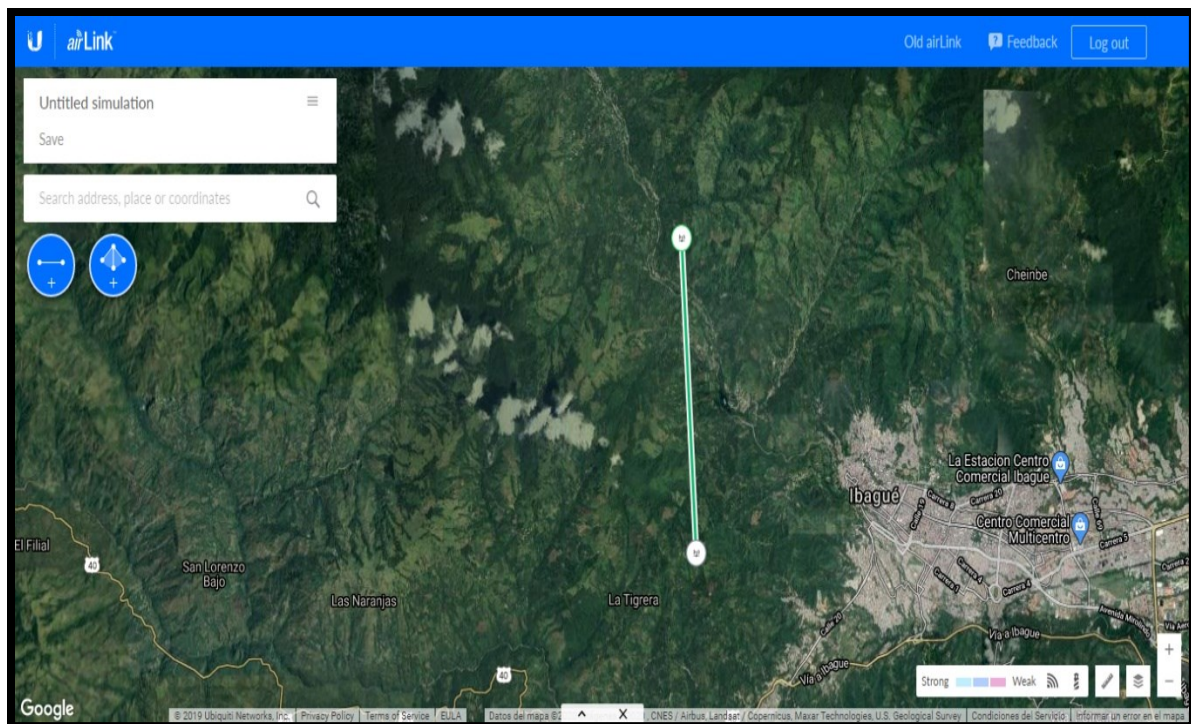
Fuente: Plataforma Airlink

Tabla 4-1 Tabla de descripción Fig.4-1

N	Descripción
1	Se le podrá asignar un nombre a la plantilla de trabajo
2	Opciones como exportar, guardar, abrir entre otras
3	En esta casilla podemos buscar los puntos del enlace con coordenadas decimales
4	Agregar un enlace PtP
5	Agregar un enlace PtMP
6	Las potencias de señal son marcadas en el mapa por colores, donde el más fuerte es azul y más débil es rojo
7	Herramienta de medición
8	Cambiar vista de satélite por relieve
9	Ampliar o reducir mapa
10	Cerrar sesión

Fuente:Autores

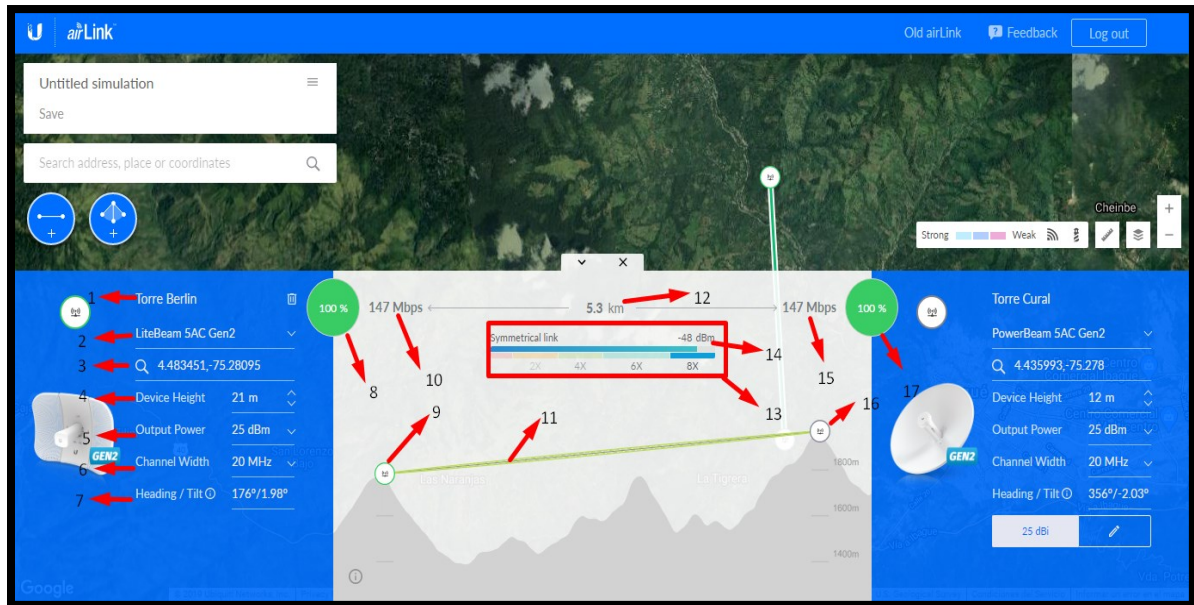
Figura 4-2 Interfaz de software de Airlink (PtP)



Fuente: Plataforma Airlink

Enlace PtP con cordenada decimales, 4.483451,-75.28095(Torre Berlin) y 4.435993,-75.278(Torre cural) con una distancia de 5,3Km

Figura 4-3 Interfaz Airlink simulación (PtP).



Fuente:Plataforma Airlink

Tabla 4-2 Tabla de descripción de la Fig.4-3

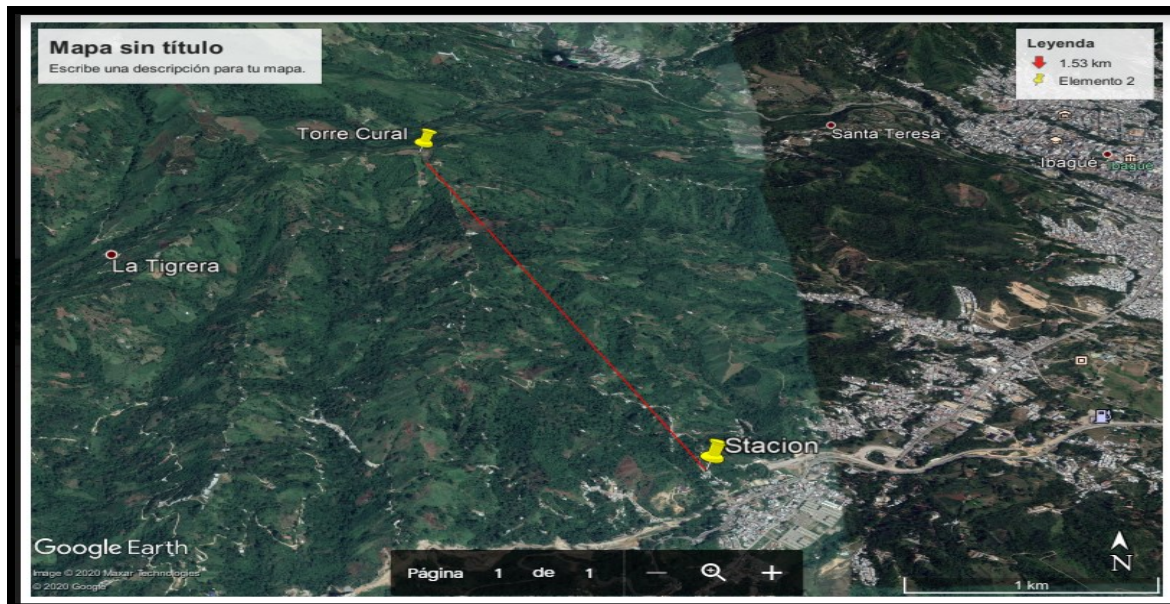
N	Descripción
1	Nombre de la AP
2	Marca de equipo
3	Coordenadas en decimales
4	Altura de la torre sobre del piso
5	Potencia TX del AP
6	Ancho de canal, 10 MHz, 20 MHz, 30 MHz, 40 MHz, 50 MHz, 60 MHz, 80MHz
7	Rumbo e inclinación
8	Disponibilidad del enlace
9	Ap en el perfil de elevación
10	Capacidad en Mbps del enlace
11	Zona de Fresnel
12	Distancia del enlace
13	Tasa de modulación
14	Señal del enlace
15	Capacidad equipo estación
16	Estación en el perfil de elevación
17	Capacidad en Mbps del enlace



### 4.1.1 Google Earth

Google Earth es un software de la propiedad de Google el cual permite ver zonas topográficamente de manera virtual por medio de imágenes satelitales y áreas. El software es gratuito y cuenta con muy buenas prestaciones para la obtención de datos del terreno, distancia, coordenadas de relieves lo cual es muy útil para el diseño de radioenlace terrestres.

Figura 4-4 Interfaz de Google Earth



Fuente: Plataforma Google Earh

## 4.2 Herramienta de configuración AirOs8

AirOS es el sistema operativo para los productos AirMAX de la Ubiquiti, basado en Linux con un sencillo interfaz web de administración, la cual ofrece funciones inalámbricas y de enrutamiento y solo ofrece compatibilidad con los protocolos de AirMAX para el análisis de radio frecuencia (RF) en tiempo real, actualmente su última versión es AirOs8. (Inc, 2020).

### 4.2.1 Configuración básica de una estación AC

Para la configuración de una estación AC necesita el inyector Gigabit POE (24V, 0.3A), el cual va a energizar y comunicar la estación para su configuración. Existen dos formas de configurar, la primera es por medio de conexión Ethernet directamente a un computador, la segunda mediante Management Wi-Fi Radio la cual es una función que tiene la estación que nos permite configurar mediante Wifi y se usa la App UNMS para Android y Mac o por pc mediante la web. Este método solo funciona si está habilitado y después de quince (15) minutos se apagará automáticamente.

Figura 4-5 puerto LAN incorporado en el inyector Poe.



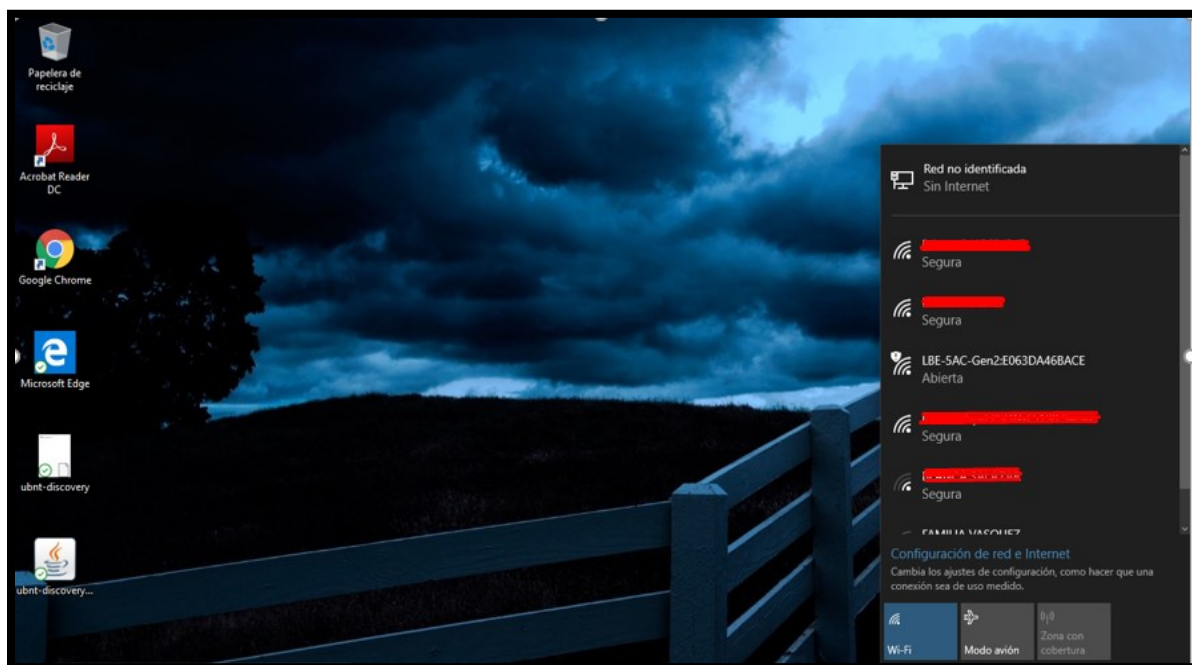
Fuente: Autores

El inyector Poe trae dos puertos, uno es el POE y el otro es el LAN, después de identificarlos se conecta un cable de red de 8 hilos UTP al puerto POE de la estación y la otra punta al puerto POE del inyector, después se conecta con otro cable de red puede ser de solo cuatro (4) hilos al computador.

**Como precaución:** al conectar el puerto POE mientras el inyector este energizado, puede causar un reset del equipo o quemar el puerto.

Al estar encendida la estación, se puede verificar la bocina de alimentación ■ y de conexión LAN <...> (Si está conectada).

Figura 4-6 configuración de la estación con un pc.



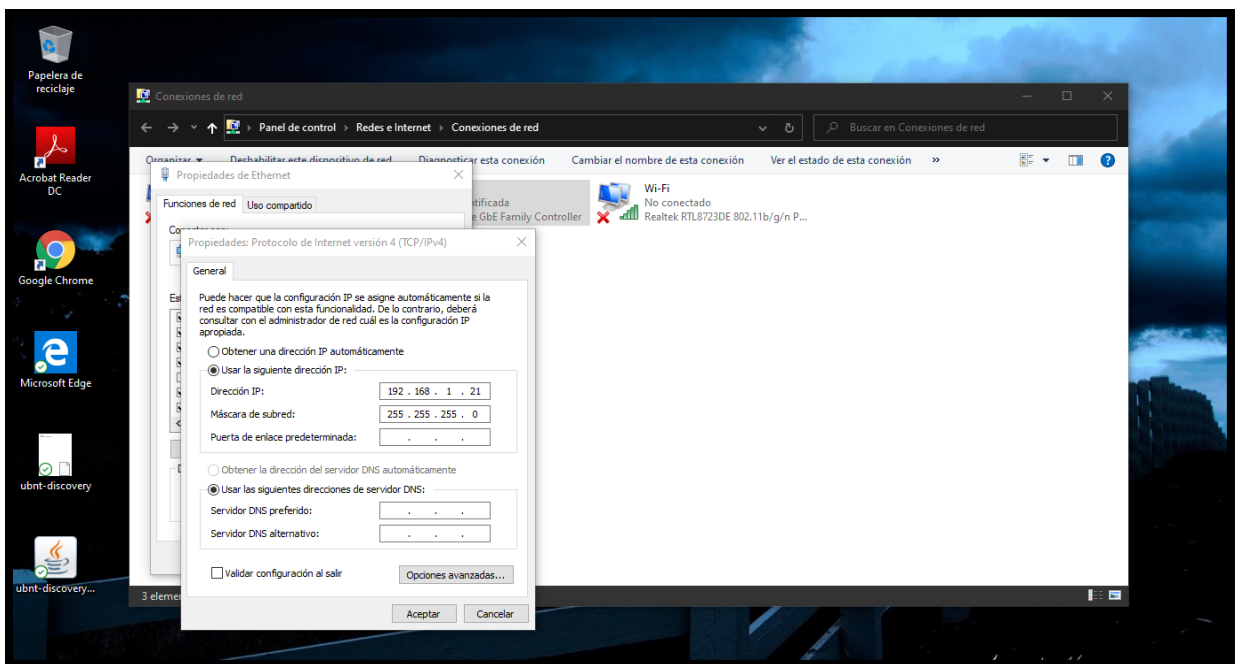
Fuente: Autores



En la figura 4-6 se evidencia el ejemplo que se realizó con un sistema operativo Windows 10, por lo cual el adaptador de red aparecerá en una red desconocida por LAN y por red wifi de 2,5Ghz el SSID de la estación LiteBeam AC Gen2.

Si se quiere ingresar por la red abierta wifi, solo basta con conectarse y él se direccionará a la página o con el software UBNT:<(https://www.ui.com/download/utilities)>de Ubiquiti, se puede ingresar al interfaz principal.

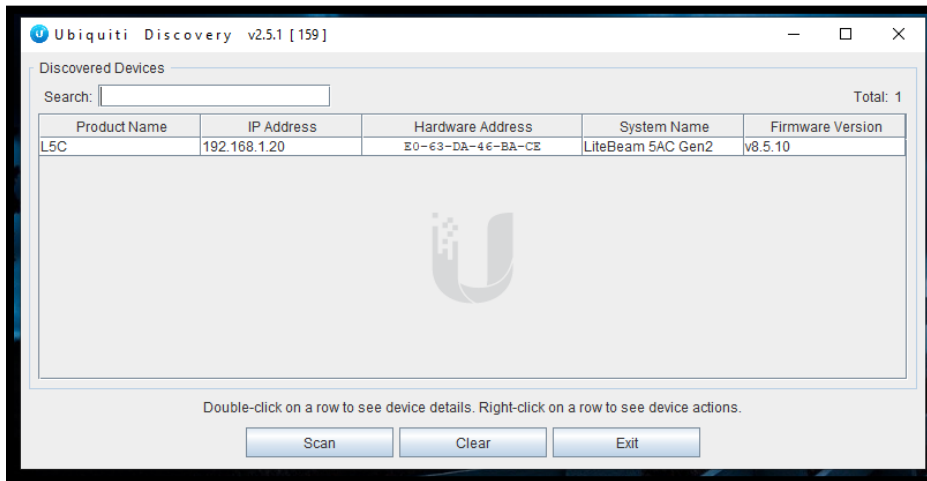
Figura 4-7 configuración por LAN



Fuente: Autores

En la figura 4-7 se demuestra que para tener comunicación con la estación LITEBEAM, se debe configurar una IP fija a la computadora que se encuentre en el mismo rango IP de la estación. Este cambio es necesario realizarlo puesto que este equipo está de fábrica y se encuentra en puente (capa 2 del modelo OSI), por defecto la IP de la estación es 192.168.1.20. por ejemplo, se puede configurar en la computadora una IP 192.168.1.21.

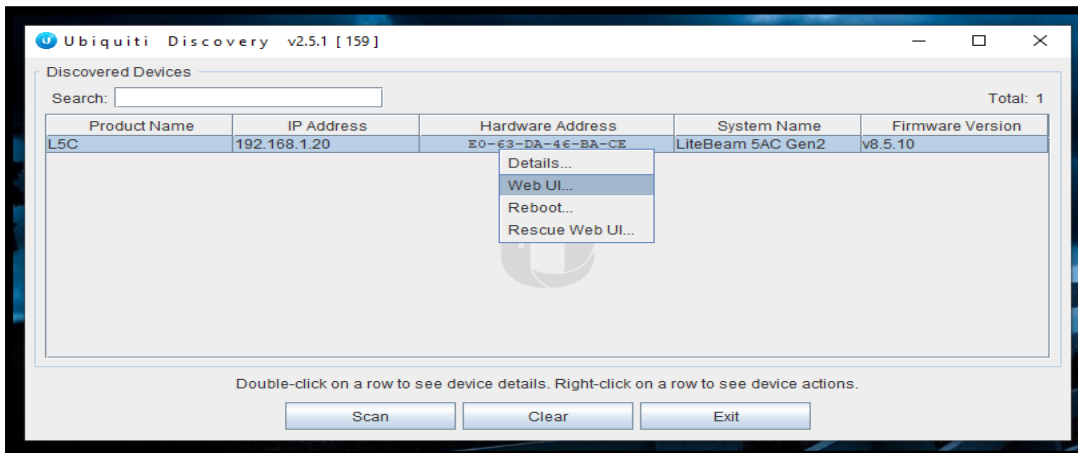
Figura 4-8 UBNT Discovery



Fuente: Ubiquiti Discovery

En la figura 4-8 se aprecia la interface de Ubiquiti Discovery, en la cual se ve que descubrió el equipo que tenemos conectado en el puerto LAN de un computador

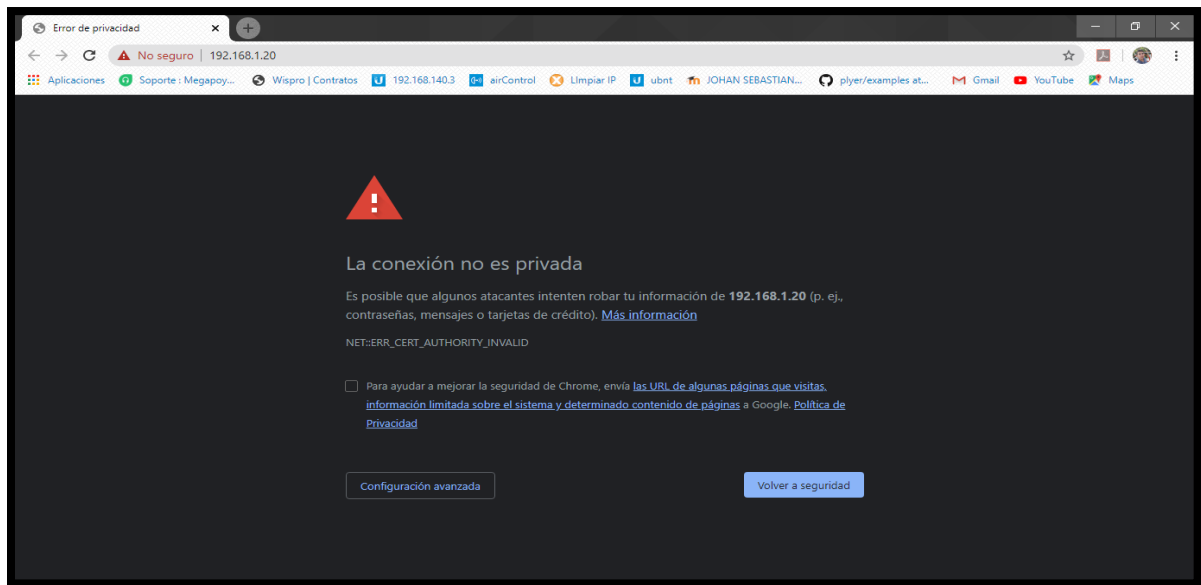
Figura 4-9 dispositivo con UBNT configurado.



Fuente: Autores

Figura 4-9: se aprecia que directamente dando clic derecho sobre el equipo que el software descubrió y dando clic en **Web UI**, va a direccionar a la página web de admiración del equipo(AirOs).

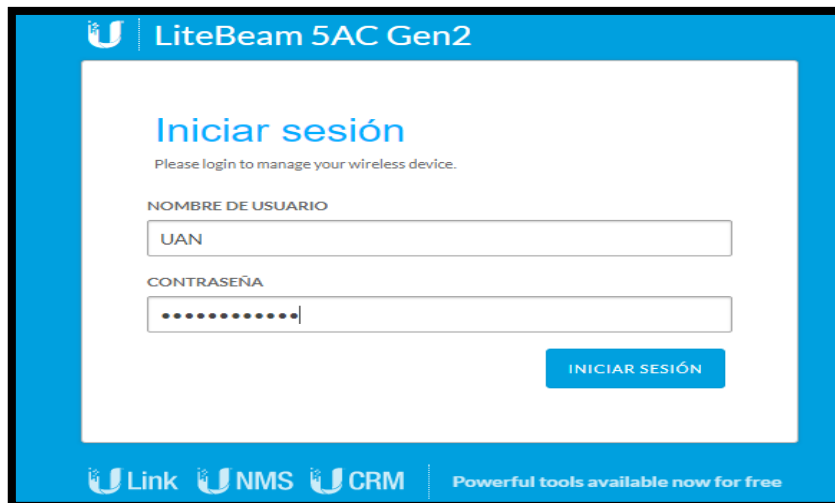
Figura 4-10 página de advertencia



Fuente: Autores

Por defecto se direcciona a una página con una advertencia, donde se omite la advertencia, como se observa en la figura 4-10.

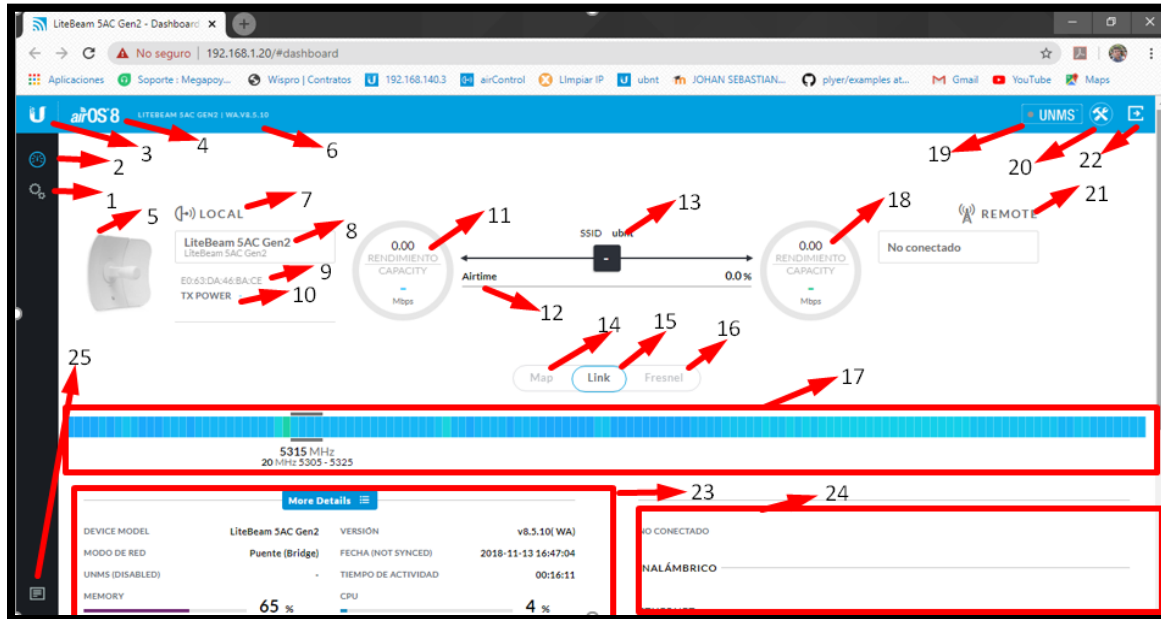
Figura 4-11 LiteBeam registro en el AirOs.



Fuente: Software AirOs8

Con la guía de ayuda del sistema operativo AirOs se configura el país y automáticamente se adapta a las regularidades del país, también se puede liberar toda la potencia de la estación y se termina con el nuevo usuario y contraseña.

Figura 4-12 página principal del sistema AirOs8



Fuente: Software AirOs8

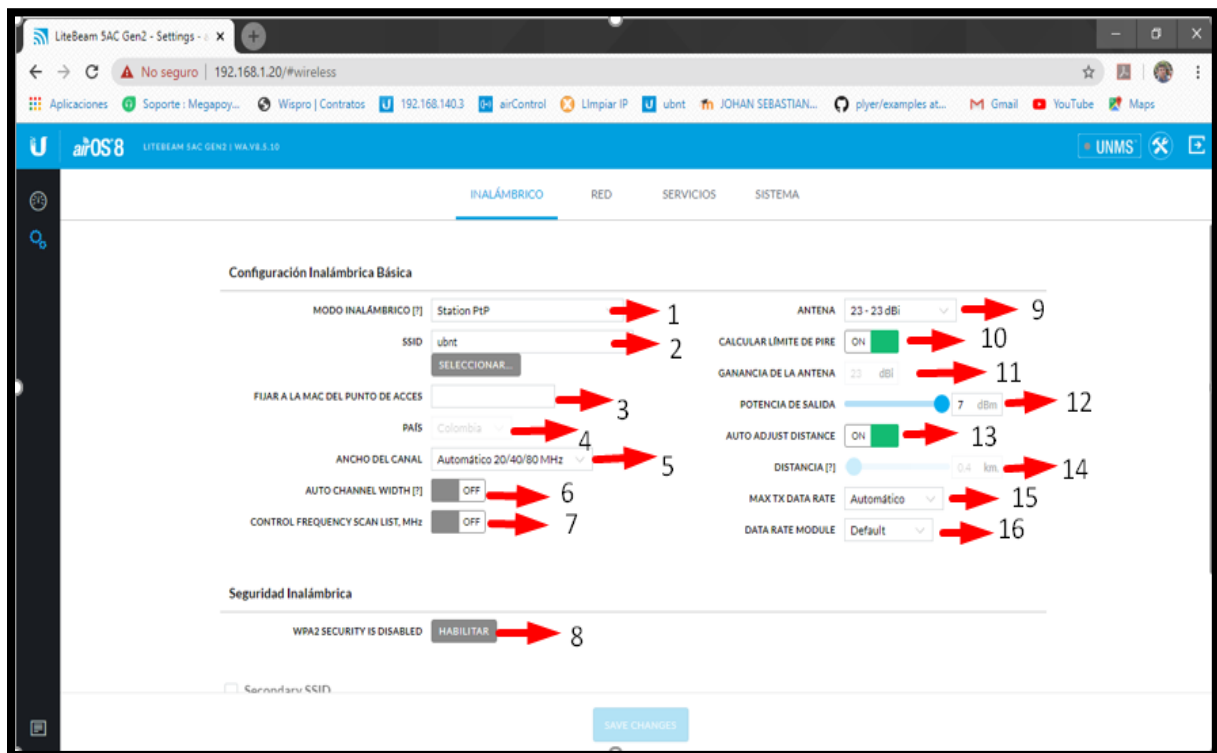
Tabla 4-3 Descripción de la Fig.4-12

N°	DESCRIPCIÓN
1	Configuraciones de la estación
2	Monitor Principal
3	Página principal de Ubiquiti ( <a href="https://www.ui.com/">https://www.ui.com/</a> )
4	Sistema operativo de Ubiquiti
5	Imagen de la estación
6	Referencia de la estación y firmware instalado.
7	Estación local
8	Nombre personalizable del equipo
9	MAC única del equipo
10	Potencia emitida por la estación
11	Monitor de capacidad y rendimiento del enlace local
12	Es el tiempo que se tarda en contestar un radio con el otro

13	Nombre de la red inalámbrica
14	Ubicación de los equipos en el mapa
15	Estado del enlace
16	Fresnel del enlace
17	Nivel de ruido de RF ambiental
18	Monitor de capacidad y rendimiento del enlace remoto
19	Sistema de administración UNMS
20	Herramientas
21	Estación remoto
22	Cerrar sesión
23	Más detalles del enlace
24	Más de talles de la estación remota
25	Registro del sistema

Fuente: Autores

Figura 4-13 Configuraciones pestaña inalámbrico



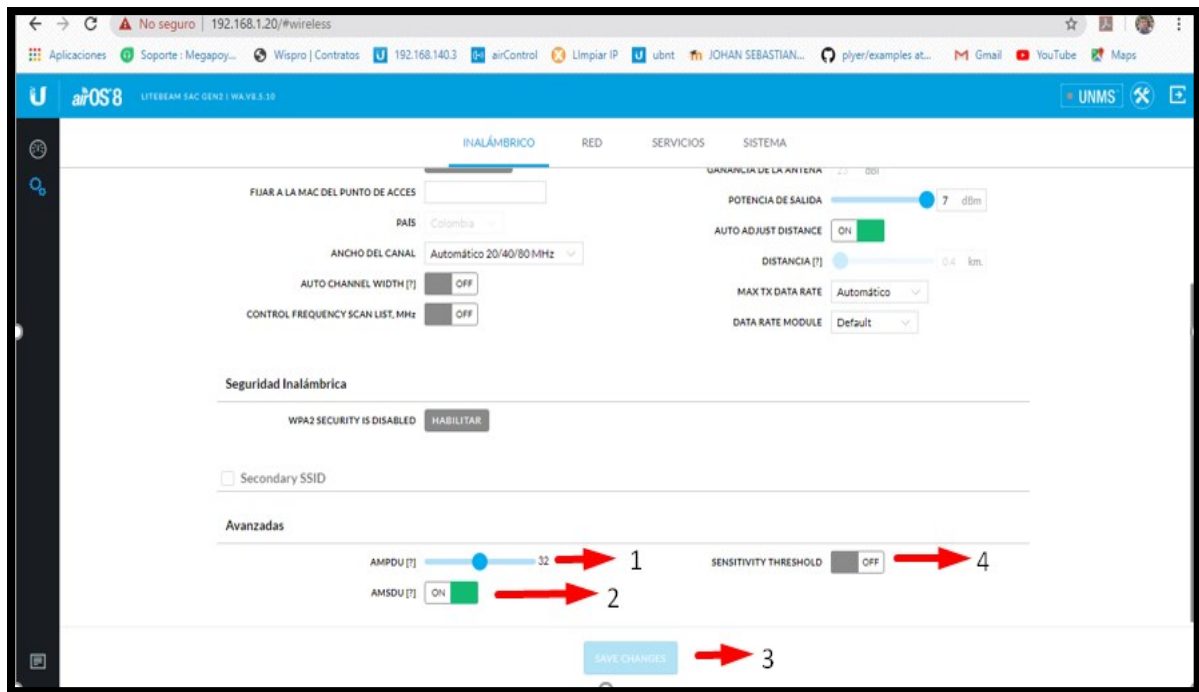
Fuente: Software AirOs8

Tabla 4-4 Descripción Fig.4-13

<b>N</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	Esta estación cuenta con 5 tipos de configuración inalámbrica: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Access Point PtP, el equipo funciona como emisor donde solo se puede conectar un emisor AirMAX AX en la configuración station PtP.</li> <li>2. Access Point AirMAX AC, funciona como AP solo para estaciones con configuraciones Station PtMP con tecnología AirMAX AC. Se pueden conectar máximo 85 equipos con un TDD Framing Flexible(Legacy).</li> <li>3. Access Point PtMP AirMAX Mixed, actuara como AP para toda la rama de tecnología AirMAX con configuración Station PtMP. Se pueden conectar máximo 85 equipos con un TDD Framing Flexible (Legacy).</li> <li>4. Station PtP, donde permitirá ser estación solo para una AP AirMAX AC con configuración Access Point PtP.</li> <li>5. Station PtMP, en esta configuración nos permite conectar la estación como un suscriptor de una AP con configuración Access Point AirMAX Mixed y Access Point AirMAX AC, los equipos con tecnología AirMAX AC solo se pueden enlazar con AP de la misma tecnología(AirMAX AC)</li> </ol>
<b>2</b>	Nombre de la conexión inalámbrica, personalizable
<b>3</b>	En esta casilla se puede fijar la MAC del AP para nuestra estación (Solo configuración Station.
<b>4</b>	Regulación del país, también se puede liberar todo el potencial
<b>5</b>	Canal en el que van a trabajar las estaciones (Los AP y las Station deben tener el mismo canal para poder enlazarlos)
<b>6</b>	Estas estaciones tienen la posibilidad de buscar automáticamente el canal del AP
<b>7</b>	Esta configuración nos permite detectar automáticamente la frecuencia del AP
<b>8</b>	Seguridad inalámbrica, la más común es la WPA2
<b>9</b>	Ganancia de antena, tener en cuenta que solo la bocina de alimentación tiene 3dbi de ganancia
<b>10</b>	Configuración que le permite a la estación calcular el Pire del enlace
<b>11</b>	Ganancia de la antena por defecto
<b>12</b>	Potencia radia por la estación
<b>13</b>	Ajuste automático del enlace (se recomienda dejar siempre activo)
<b>14</b>	Podemos poner la distancia manual mente, solo en situaciones especiales
<b>15</b>	Tasa de modulación del equipo, se recomienda dejar automático
<b>16</b>	Modulo tasa de datos, se recomienda dejar alternativo

Fuente: Autores

Figura 4-14 Segunda parte configuraciones pestaña inalámbrico



Fuente: Software AirOs8

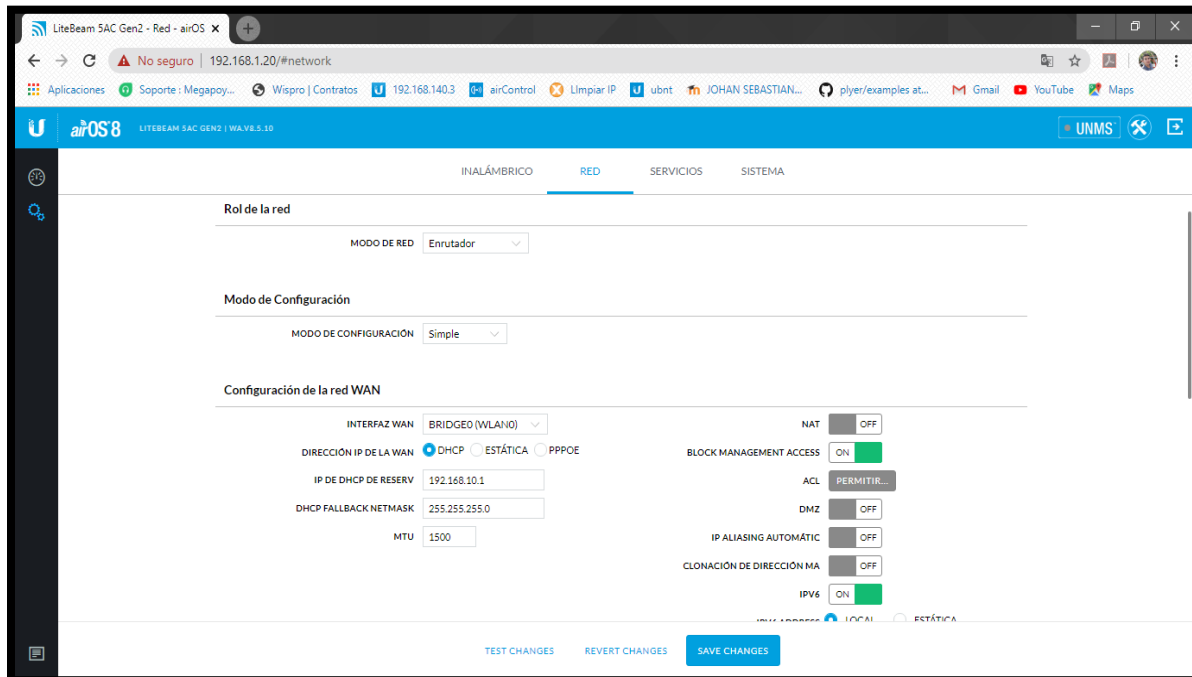
Como se puede evidenciar en la anterior figura 4-14, la parte de avanzadas tiene las configuraciones, donde se debe recordar que en cada configuración tanto como AP o estación, cambian ciertos parámetros y configuraciones como lo es el TDD.

Tabla 4-5 descripción Fig.4-14

N°	Descripción
1	AMPDU (Unidad de datos de protocolo MAC agregado), Los valores de AMPDU más grandes dan como resultado un mejor rendimiento. Valor de 32 recomendado para la mayoría de los entornos, y puede reducirse para enlaces ruidosos.
2	AMSDU (Unidad de datos de servicio MAC agregado), Habilitar esta función aumenta el rendimiento en entornos relativamente limpios, pero puede desactivarse para enlaces ruidosos.
3	Guardar configuraciones
4	Esta configuración permite un umbral donde aquella señal que la supere la se podrá enlazar

Fuente: Autores

Figura 4-15 Pestaña de Red.



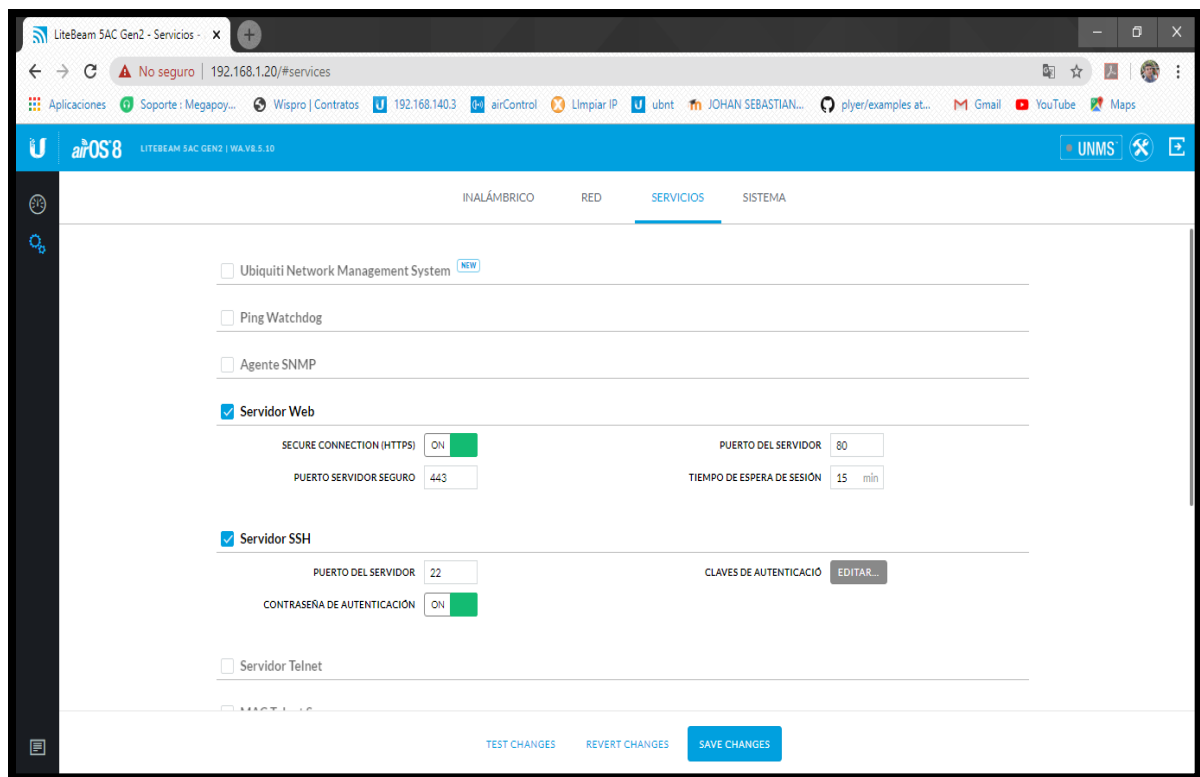
Fuente: Software AirOs8

En la figura 4-15: se observa la configuración de Red hay dos opciones para configurar los equipos, una es la configuración puente(bridge) y el segundo el enrutador. En la imagen se muestra la configuración básica de un Router, donde se puede dejar que el equipo obtenga una IP de la red WLAN o asignar una IP estática, como también la posibilidad de PPPoE, cuatro protocolos NAT, bloqueos de administración remota, DMZ, servidor DHCP, Ipv6 entre otras.

En la configuración de enrutador esta la configuración simple y la avanzada, donde hay más funciones incluyendo control de tráfico, donde la configuración puente se pretende dejar como un cable, es decir está en la capa dos (2) del modelo OSI de enlace de datos.



Figura 4-16 Pestaña de servicios

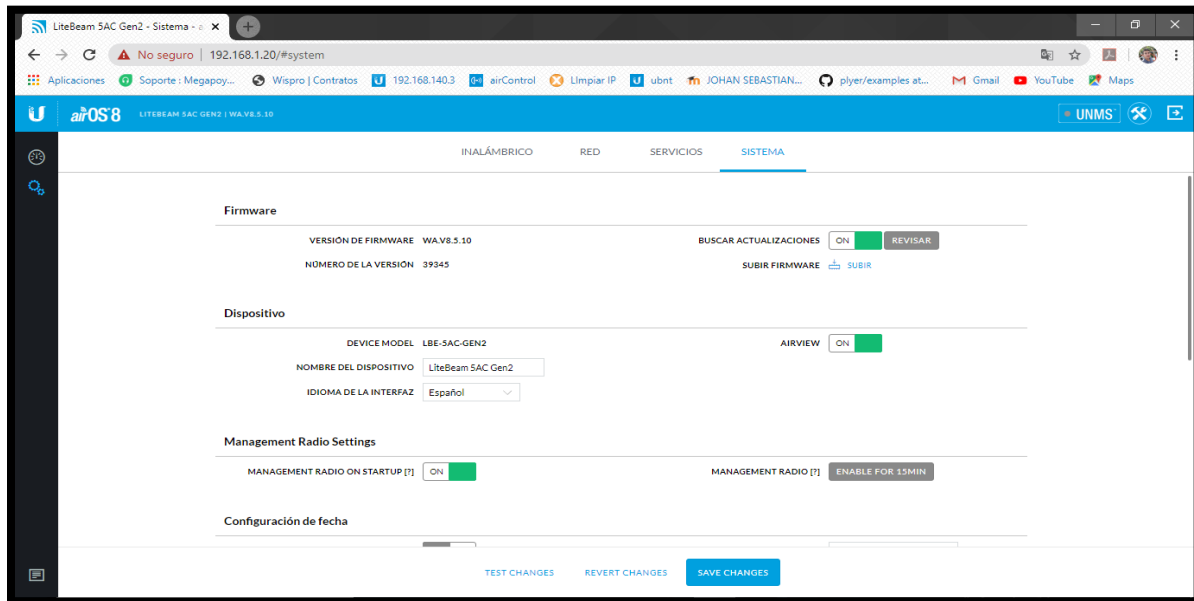


Fuente: Software AirOs8

En la figura 4-16 se observa pestaña servicios de la estación AirMAX AC, se encuentra el servicio en la nube que ya para ello se debe tener un servidor con un software especial de la Ubiquiti UNMS <(https://www.ui.com/software/)>, también se evidencia la posibilidad de habilitar ping guardián que sirve para mantener la constante comunicación con el equipo y cuando no lo está la estación se reinicia automáticamente. Así como el servicio Web, SSH, Telnet, registro de sistema, entre otros.

## 62 IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO Y DISEÑO DE RADIO ENLACES DE MICROONDAS DIGITALES EN LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE IBAGUÉ UTILIZANDO TECNOLOGÍA AIRMAX AC

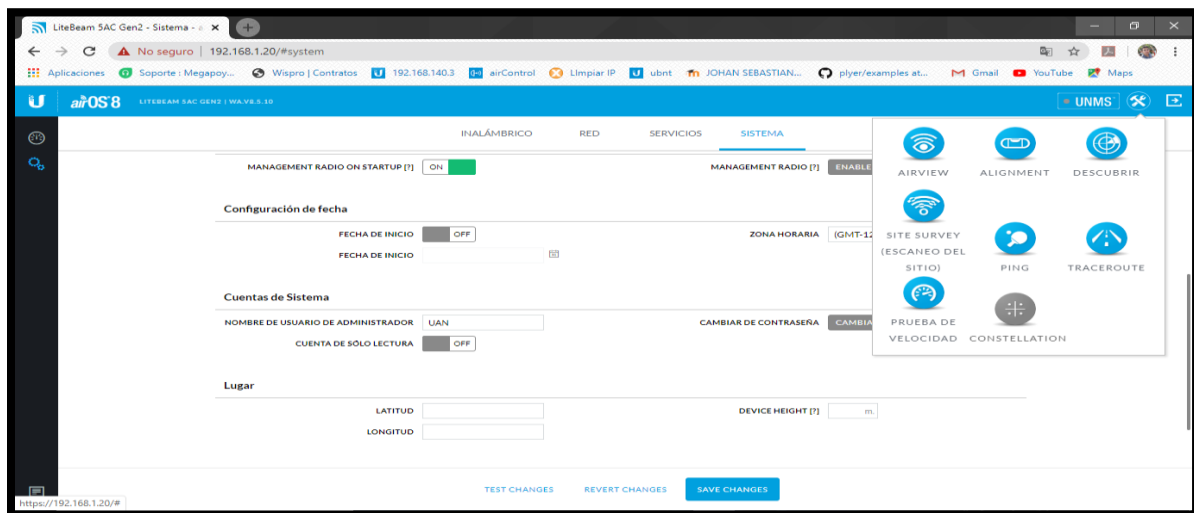
Figura 4-17 Pestaña de sistema



Fuente: Software AirOs8

En la figura 4-17 se encuentra la opción de subir firmware, numero de firmware, nombre del dispositivo, el servidor Manager Radio Setting, hora, usuarios, contraseñas, funciones, como reiniciar, formatear, respaldar configuración, entre otras.

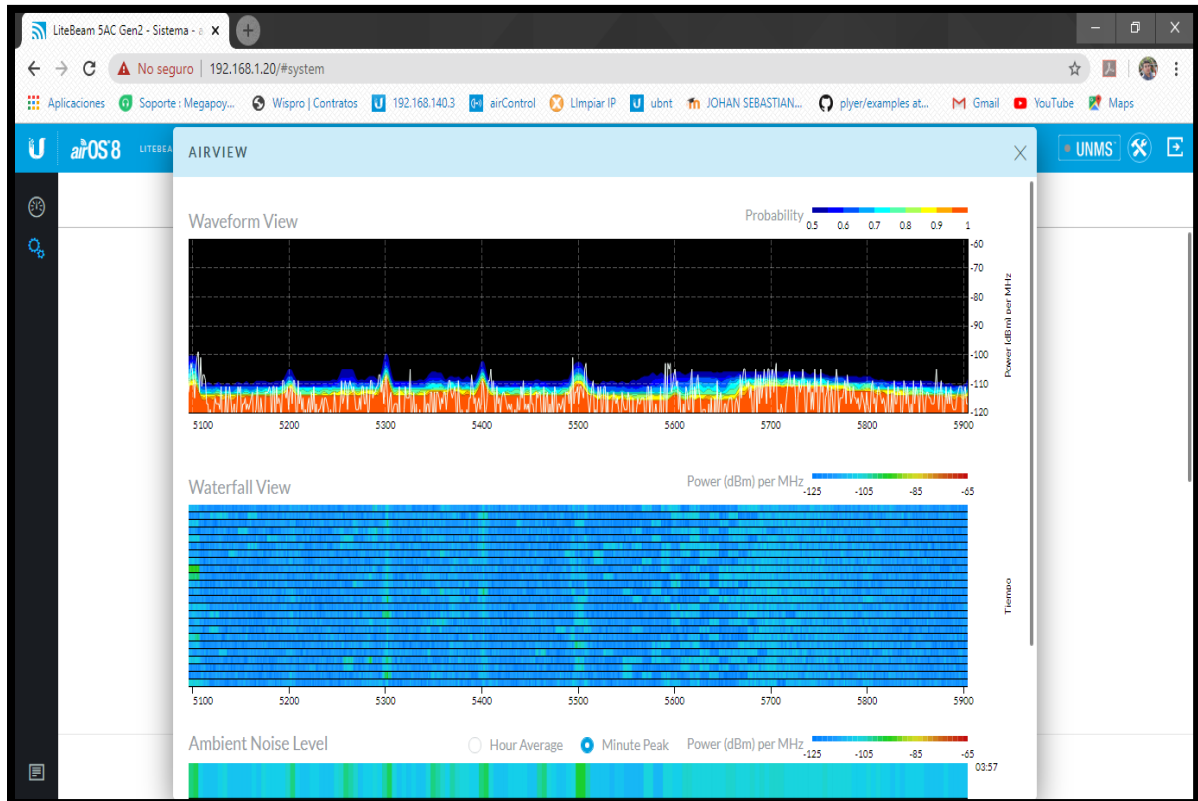
Figura 4-18 Herramientas



Fuente: Software AirOs8

En la figura 4-18, se evidencia en la parte de las herramientas de AirOs8 donde se encuentra, un analizador de espectros independiente, herramienta de alineamiento, herramienta de detección de equipos en la red, el espectro, ping, traceroute, constelaciones y el test de velocidad.

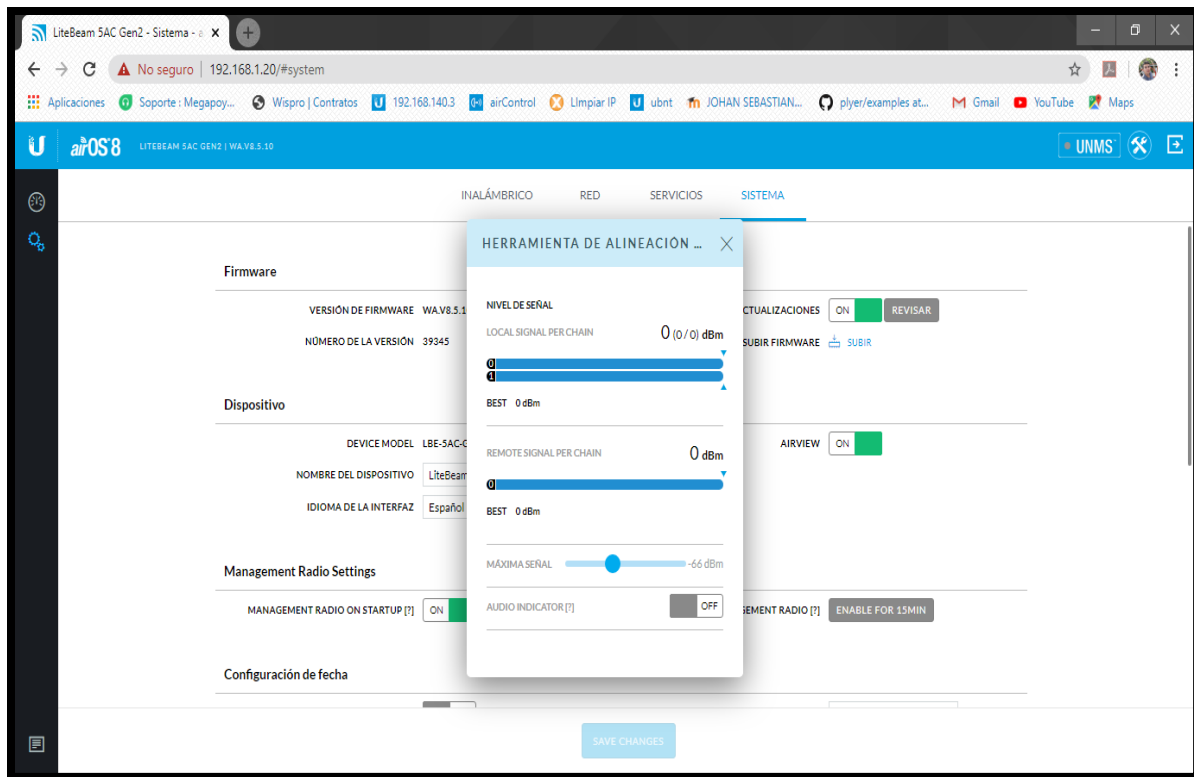
Figura 4-19 Analizador de espectros con intensidad de señal



Fuente: Software AirOs8

En la figura 4-19 se encuentra el analizador de espectro del dispositivo, la cual ayuda a buscar la frecuencia y el ancho de canal más adecuado para el enlace.

Figura 4-20 Herramienta de alineamiento



Fuente: Software AirOs8

En la figura 4-20 se aprecia la herramienta de alineamiento, donde facilita al operador al momento de instalar los dispositivos. Valores cercanos a cero da como resultado mejor recepción.

## **5. Conclusiones y recomendaciones**

### **5.1 Conclusiones**

En conclusión, se logró realizar un sistema de radioenlace real. Donde el objetivo principal fue realizar una metodología aplicada como medio de guía con los dispositivos 5.8GHz que serán dotados como herramienta de aprendizaje a la universidad Antonio Nariño sede Ibagué.

Se tomaron en cuenta aspectos importantes, como lo fue el estudio previo de los dos puntos a enlazar verificando el alcance, como lo es la línea de vista directa entre los dos puntos, despeje de la zona de fresnel y distancia en línea recta.

A través de la ayuda de las plataformas virtuales en línea como Airlink y Google Earth Pro, se logró recopilar información útil para conocer y validar los lugares donde se podían ubicar las estaciones LiteBeam Ac Gen2, como lo son su altura requerida, potencia de transmisión, ganancia de antena, azimut, elevación o inclinación, capacidad, distancia, sensibilidad y el porcentaje de probabilidad del enlace.

### **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda que antes de instalar los dispositivos de radioenlace es esencial la verificación visual del terreno, dado que el software de simulación no tiene en cuenta posibles obstáculos, como árboles y edificios que se encuentran en los puntos del enlace y pueden intervenir en el correcto funcionamiento del radioenlace. Ya que cuantas menos obstrucciones tenga el enlace mejor será la capacidad
- Se recomienda utilizar el analizador de espectros de software AirOs como apoyo para la selección de frecuencia y ancho de canal, ya que con la mala implementación generaría cambios bruscos en el enlace.

- Se recomienda que en un sistema profesional de radio enlace se opte por un sistema eléctrico de respaldo o bien energías renovables, para la disposición del enlace.
- Al aumentar la distancia de enlace el radio también se incrementa, se recomienda utilizar anchos de canal más angostos para disminuir el ruido.