

**Implementación de una Red por Radioenlaces para Proveer Servicio de  
Conectividad a Internet a Sedes Educativas Urbanas en la Ciudad de Buga**



**Sebastián Naranjo Manzano**

**Universidad del Cauca  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Telecomunicaciones  
Grupo de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones - GNTT  
Popayán  
2019**

**Implementación de una Red por Radioenlaces para Proveer Servicio de  
Conectividad a Internet a Sedes Educativas Urbanas en la Ciudad de Buga**



**Sebastián Naranjo Manzano**

**Práctica profesional presentada como requisito para obtener el título de Ingeniero  
en Electrónica y Telecomunicaciones**

**Director**

**Ing. Guefry Leider Agredo Méndez, PhD**

**Universidad del Cauca  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Telecomunicaciones  
Grupo de Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones - GNTT  
Popayán  
2019**

## **Nota de aceptación**

El Director y los Jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por su Autor y lo encontraron satisfecho.

---

Director

---

Jurado

---

Jurado

Popayán, septiembre de 2019

## Contenido

	Pág.
Lista de Tablas .....	vii
Lista de Figuras .....	viii
Lista de Acrónimos .....	xi
Resumen .....	xii
Abstract .....	xiii
Introducción .....	1
Capítulo I. Consideraciones generales.....	3
1.1 Radiocomunicaciones .....	3
1.2 Las ondas electromagnéticas.....	4
1.2.1 Propagación de las ondas electromagnéticas.....	5
1.2.2 Velocidad de transmisión. ....	8
1.2.3 Espectro electromagnético.....	8
1.2.4 Las microondas.....	9
1.3 Teoría de los radioenlaces .....	9
1.3.1 Alcance visual. ....	10
1.3.2 Línea de vista.....	10
1.3.3 Zona de Fresnel.....	10
1.3.4 Sensibilidad del receptor.....	11
1.3.5 Balance de un radioenlace.....	12
1.3.6 Tipos de radioenlace.....	13
1.3.7 Ventajas y desventajas de los radioenlaces. ....	15
1.4 Redes inalámbricas.....	16
1.4.1 Tipos de redes .....	16
1.5 Estándar IEEE 802.11 .....	17
1.6 Seguridad de redes inalámbricas .....	18
1.7 Normatividad para la regulación el espectro electromagnético .....	19
1.8 Programa “Conexión Total” .....	20
1.8.1 Programa “Conexión Total” en Buga.....	21

Capítulo II. Diseño de la infraestructura de red inalámbrica acorde con el estudio de georreferenciación de la zona .....	23
2.1 Generalidades de las Sedes Educativas urbanas de Buga.....	24
2.2 Recopilación de información, análisis y captura de requisitos .....	27
2.2.1 Información del programa “Conexión Total” y el lineamiento técnico.....	27
2.2.2 Infraestructura de red inalámbrica de la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S.....	28
2.3 Georreferenciación de la zona de estudio .....	30
2.3.1 Nodo Vijes hasta el nodo El Recreo.....	32
2.3.2. Nodo El Recreo hasta el nodo El Batallón. ....	32
2.3.3 Nodo El batallón hasta las Sedes Educativas .....	33
2.3.4 Simulación. ....	34
2.4 Diseño de la red de radioenlace.....	49
Capítulo III. Equipos de telecomunicaciones implementados en el proyecto .....	55
3.1 Caracterización de los equipos de telecomunicaciones a emplear .....	55
3.1.1 Especificaciones técnicas de los equipos .....	56
Capítulo IV. Implementación de la red por radioenlaces para brindar el servicio de internet a sedes educativas.....	61
4.1 Implementación .....	61
4.1.1 Nodo Vijes.....	61
4.1.2 Nodo El Recreo Este.....	62
4.1.3 Nodo El Batallón .....	63
4.2 Instalación de equipos en sedes educativas .....	66
4.2.1 Configuración de dispositivos. ....	67
4.3 Pruebas.....	73
4.3.1 La velocidad de descarga. ....	74
4.3.2 La velocidad de carga .....	74
4.3.3 Latencia .....	75
4.3.4 Señal en recepción .....	76
4.3.5 Usabilidad .....	76
4.3.6 Pruebas de saturación del canal.....	79

Capítulo V. Estrategias para cumplir las políticas de calidad de servicio que define la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S ..... 82

- 5.1 Estrategia para la calidad del servicio ..... 82
  - 5.1.1 Disponibilidad del Servicio..... 82
  - 5.1.2 Latencia..... 83
  - 5.1.3 Velocidad de Transferencia ..... 84
  - 5.1.4 Efectividad en la Instalación. .... 84

Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones ..... 86

- 6.1 Conclusiones..... 86
- 6.2 Recomendaciones..... 87

Bibliografía..... 89

Anexos ..... 94

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Elementos del espectro electromagnético .....	9
Tabla 2. Variables para el cálculo del balance de un radioenlace .....	12
Tabla 3. Ventajas y desventajas de los radioenlaces .....	15
Tabla 4. Tipos de redes .....	17
Tabla 5. Familia del estándar IEEE 802.11 .....	17
Tabla 6. Lista de Sedes Educativas que hacen parte del proyecto. ....	25
Tabla 7. Características de las antenas de los equipos Ubiquiti y Mimosa .....	55
Tabla 8. Características de los routers de la marca Cisco, Mikrotik y TP-Link .....	56
Tabla 9. Equipos para el Nodo de Vijos. ....	56
Tabla 10. Nodo que conecta El Recreo.....	57
Tabla 11. Nodo el Batallón. ....	59
Tabla 12. Equipos utilizados para conectar Sedes Educativas. ....	60
Tabla 13. Materiales y equipos para cada Sede Educativa.....	67
Tabla 14. El direccionamiento IP para los nodos.....	68
Tabla 15. El direccionamiento IP para las Sedes Educativas.....	68
Tabla 16. Saturación de las sedes educativas .....	79
Tabla 17. Estrategias para garantizar la disponibilidad del servicio. ....	83
Tabla 18. Estrategia para el monitoreo de la latencia.....	83
Tabla 19. Estrategias para garantizar la velocidad de transferencia. ....	84
Tabla 20. Efectividad en la instalación. ....	84

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Esquema de la onda electromagnética .....	5
Figura 2. Refracción .....	6
Figura 3. Reflexión .....	6
Figura 4. Difracción .....	7
Figura 5. Interferencia constructiva y destructiva .....	7
Figura 6. Representación de un radioenlace .....	10
Figura 7. Zona de Fresnel .....	11
Figura 8. Enlace punto a punto .....	13
Figura 9. Enlace punto a multipunto .....	14
Figura 10. Enlace multipunto a multipunto .....	15
Figura 11. Ciclo de vida del diseño de red Top-Down .....	23
Figura 12. Sedes Educativas urbanas de Buga.....	26
Figura 13. Topología de red de la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S en la herramienta de gestión y monitoreo DUDE BETA 4.0.....	29
Figura 14. Imagen satelital de la red de Buga. ....	31
Figura 15. Enlace punto a punto nodo Vijes hasta nodo El Recreo.....	32
Figura 16. Enlace punto a punto, nodo El Recreo hasta el nodo El Batallón.....	33
Figura 17. Enlace punto a multipunto, nodo El Batallón hasta las Sedes Educativas. ...	34
Figura 18. Simulación enlace nodo Vijes hasta nodo El Recreo. ....	35
Figura 19. Simulación enlace nodo El Recreo hasta nodo El Batallón. ....	36
Figura 20. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 10.....	37
Figura 21. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 11.....	38
Figura 22. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 12.....	39
Figura 23. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 13.....	40
Figura 24. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 14.....	41
Figura 25. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 15.....	42
Figura 26. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 16.....	43

Figura 27. Simulación enlace Nodo El Batallón-sede ID 17 .....	44
Figura 28. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 18.....	45
Figura 29. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 19.....	46
Figura 30. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 20.....	47
Figura 31. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 21 .....	48
Figura 32. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 22.....	49
Figura 33. Diseño de la red Nodo Vijes.....	50
Figura 34. Diseño de la red nodo El Recreo.....	51
Figura 35. Diseño de la red nodo El Batallón.....	52
Figura 36. Diseño de la red de las Sedes Educativas zona norte.....	53
Figura 37. Diseño de la red Sedes Educativas sur.....	54
Figura 38. Antena instalada en el nodo Vijes.....	61
Figura 39. Instalación de antena nodo El Recreo.....	63
Figura 40. Instalación dispositivo nodo El Batallón.....	64
Figura 41. Línea de vista del nodo El Batallón hacia las sedes educativas (sectorial de 90°).....	64
Figura 42. Línea de vista del nodo El Batallón hacia las sedes educativas (sectorial de 90°).....	65
Figura 43. Router nodo El Batallón.....	65
Figura 44. Configuración modo estación .....	70
Figura 45. Configuración modo punto de acceso .....	70
Figura 46. Configuración de red modo bridge .....	71
Figura 47. Configuración router nodo El Recreo .....	72
Figura 48. Configuración del router .....	73
Figura 49. Velocidad de descarga.....	74
Figura 50. Velocidad de carga.....	75
Figura 51. Latencia.....	75
Figura 52. Señal en recepción.....	76
Figura 53. Pruebas de usabilidad de la página Colombia aprende .....	77
Figura 54. Pruebas de usabilidad ingreso a la página del MEN .....	77
Figura 55. Pruebas de usabilidad ingreso a la página de la Secretaría de Educación ...	78

Figura 56. Pruebas en el router de una Sede Educativa ..... 78

Figura 57. Pruebas de saturación del router principal ..... 81

## Lista de Acrónimos

<b>AES</b>	<i>Advanced Encryption Standard</i> , Estándar de Encriptación Avanzado.
<b>ASCII</b>	<i>American Standard Code for Information Interchange</i> , Código Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información.
<b>LOS</b>	<i>Line of Sight</i> , Línea de Vista.
<b>MINTIC</b>	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
<b>NOC</b>	<i>Network Operation Center</i> , Centro de Operaciones de Red.
<b>NLOS</b>	<i>Non Line of Sight</i> , Sin Línea de Vista.
<b>PTP</b>	<i>Point to Point</i> , Punto a Punto.
<b>PTMP</b>	<i>Point to Multi-Point</i> , Punto a Multi-Punto.
<b>PSK</b>	<i>Pre Shared Key</i> , Llave Pre-Compartida.
<b>QAM</b>	<i>Quadrature Amplitud Modulation</i> , Modulación por Amplitud en Cuadratura.
<b>TIC</b>	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
<b>UMTS</b>	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i> , Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles.
<b>VLAN</b>	<i>Virtual Local Area Network</i> , Red de Área Local Virtual.
<b>WiFi</b>	<i>Wireless Fidelity</i> , Fidelidad Inalámbrica.
<b>WLAN</b>	<i>Wireless Local Area Network</i> , Red de Área Local Inalámbrica.
<b>WMAN</b>	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i> , Red de Área Metropolitana Inalámbrica.
<b>WPA</b>	<i>Wifi Protected Access</i> , Acceso Wifi Protegido.
<b>WPAN</b>	<i>Wireless Personal Área Network</i> , Red de Área Personal Inalámbrica.

## Resumen

La presente práctica profesional desarrollada en la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S, tuvo como objetivo implementar un sistema de radioenlaces para brindar conexión a *internet* a 13 Sedes Educativas, ubicadas en el casco urbano del municipio de Buga (Valle del Cauca) en el marco del “Programa “Conexión Total”, propuesta por el Ministerio de Educación Nacional (MEN) y el Ministerio de las Tecnologías de Información y las Comunicaciones (TIC). Se recurrió a la metodología de cascada, apoyado de herramientas de gestión como DUDE beta 4.0 y de georreferenciación tales como *Link Planner* y *Google Earth*. A partir de la práctica profesional se concluye que el diseño de radioenlaces es un proceso complejo que requiere un amplio conocimiento técnico, sin embargo, permite obtener datos más precisos en cuanto a la línea vista, las refracciones, la zona de Fresnel y los puntos de referencia, a fin de alcanzar una ubicación más exacta de los nodos y de los equipos tecnológicos (antenas y enrutadores). Finalmente, se espera con el presente texto fomentar otras investigaciones en el campo, a fin de llevar *internet* a zonas urbanas de manera eficiente y a costos favorables, ya que las instituciones públicas tienen un presupuesto de inversión limitado.

**Palabras claves:** radioenlace, señal, inalámbrica, internet y conectividad.

## **Abstract**

This professional practice developed in the company 'Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S', implements a radio link system to connect 13 educational sites to the internet, located in the urban area of the municipality of Buga (Valle del Cauca) through the "Total Connection Program", proposed by the Ministry of National Education (MEN) and the Ministry of Information and Communication Technologies (ICT). The methodology is cascade, supported by management tools such as DUDE beta 4.0 and georeferencing such as Link Planner and Google Earth. The research concludes that the design of radio links is a complex process that requires extensive technical knowledge, however, this study obtained accurate data of the line of sight, the refractions, the Fresnel zone and the reference points and it obtain the exact location of the nodes and the technological equipment (antennas and routers). Finally, the text is expected to encourage other research in the field, allowing other urban areas to connect to the Internet efficiently and at favorable costs, because public institutions have a limited investment budget.

**Keywords:** radio link, signal, wireless, internet and connectivity.

## Introducción

El *internet* ha permitido un avance significativo en los procesos educativos de muchos países en el mundo, por ende, mejores niveles de desarrollo, políticos, económicos y sociales [1]. Sin embargo, la posibilidad de acceder a este servicio en Colombia se ha convertido en un privilegio para algunas regiones, puesto que no todas cuentan con los recursos suficientes o simplemente se encuentran ubicados en zonas de difícil acceso. Esto se hace más complejo por la falta de inversión del Estado en infraestructura, lo que impide llevar el servicio a muchas regiones del país [2].

Frente a este panorama surge una tendencia generalizada hacia la conectividad a *internet*, a partir de sistemas de radioenlaces, con la tecnología *WiFi* con capacidad para transportar banda ancha desde la modulación de ondas electromagnéticas, a través del espacio y la integración de dispositivos físicos para la emisión y recepción de la señal como antenas, computadores, *tablets* o *smartphones*. Son muchas las razones para el uso de estas tecnologías, entre ellas, no se requieren licencias, se reducen los costos de instalación, son de fácil actualización, entre otras ventajas; concediendo así, una alternativa viable para el desarrollo de proyectos de interés público [1].

En este sentido, la práctica profesional llevada a cabo en la empresa *Dobleclick Software e Ingeniería*, tuvo como objeto la implementación de una red por radioenlaces para proveer servicio de conectividad a internet a 13 sedes educativas urbanas del municipio de Buga (Valle del Cauca), en el marco del Programa “*Conexión Total*” implementado por el Gobierno nacional, con el cual se busca avanzar en el proceso de transformación educativa en armonía con los cambios tecnológicos actuales a beneficio de los estudiantes y la comunidad en general.

Finalmente, la práctica profesional brinda respuesta al siguiente interrogante ¿Cómo implementar una infraestructura de radioenlaces para proveer y garantizar el servicio de conectividad a *internet* en la última milla a las Sedes Educativas en el municipio de Buga (Valle del Cauca)?

Para obtener una respuesta al planteamiento, con base a la metodología de cascada se llevaron a cabo cuatro fases específicas: a) Diseñar la infraestructura de red inalámbrica acorde con el estudio de georreferenciación de la zona. b) Definir los equipos de telecomunicaciones a implementar en el proyecto. c) Implementar la red por radioenlaces para brindar el servicio de *internet* a Sedes Educativas urbanas en la ciudad de Buga. d) Establecer estrategias para cumplir las políticas de calidad de servicio que define la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S.

El diseño e implementación de dicho sistema es de gran importancia, pues, como es sabido, las instituciones educativas en Colombia, requieren reducir la brecha digital existente, toda vez que el conocimiento a nivel educativo ya no se desarrolla de puertas para dentro, sino en las interacciones cotidianas en los espacios virtuales. Por ello, surge la necesidad de avanzar hacia la verdadera transformación tecnológica de las escuelas urbanas en la ciudad de Buga, donde se garantice la construcción de aprendizajes significativos, aún más cuando los docentes de estas Sedes Educativas se enfrentan a una serie de estudiantes que no solo han recurrido masivamente a estas tecnologías, sino que han vivido con ellas.

En consecuencia, la práctica profesional realizada es relevante porque favorece los procesos pedagógicos y administrativos de los centros educativos en cuestión, para contribuir al establecimiento de un sistema educativo de mayor calidad. De igual manera, aporta en lo académico, al abordar un tema de gran interés como son los sistemas de redes en la interconexión a *internet* en el campo de la educación, por el valor teórico que enriquece el conocimiento y el espíritu de nuevos investigadores.

## Capítulo I. Consideraciones generales

Este primer capítulo denominado: ‘Consideraciones generales’ da las primeras pinceladas para poder comprender cómo se implementó un sistema de radioenlaces para brindar conexión a *internet* a 13 Sedes Educativas, en el municipio de Buga (Valle del Cauca). De esta manera, se exponen conceptos claves, tales como: las radiocomunicaciones que permiten introducir al lector al campo de las ondas electromagnéticas, al mismo tiempo, se indaga en la velocidad de transmisión de dichas ondas en el espectro electromagnético. Posteriormente, se aborda la Teoría de los radioenlaces y se explica detalladamente sobre las redes inalámbricas. El capítulo desemboca en la normatividad vigente para la regulación del uso del espectro electromagnético y el servicio de *internet*; contextualizando el Programa “Conexión Total” a nivel nacional, especialmente, en el municipio de Buga.

### 1.1 Radiocomunicaciones

Este sistema de comunicación ha evolucionado ampliamente a través de la historia, pasando de la transmisión en AM a FM o PM y luego a las modulaciones analógicas que facilitaron el desarrollo de los sistemas digitales. Los primeros sistemas de radio comunicación fueron enlaces punto a punto y sistemas de radiodifusión, lo que llevó al desarrollo de las comunicaciones vía satélite en los años 60 y más tarde, dio paso a los sistemas móviles [3]. Posteriormente, en la década de los años 90 se crean otros sistemas para la comunicación inalámbrica como el radar y la radiolocalización [3].

La radiocomunicación es el proceso comunicativo que se efectúa a través de ondas electromagnéticas, por lo cual no requiere utilizar cableado desde el emisor hacia el receptor para transmitir los datos, sino que se transmiten modulando las ondas a una frecuencia determinada, enviadas por dentro del ancho de banda que se designe para tal fin [3]. Este proceso requiere una vista directa entre emisor y receptor para alcanzar una mayor conexión de las ondas a través del espacio electromagnético, de tal manera que

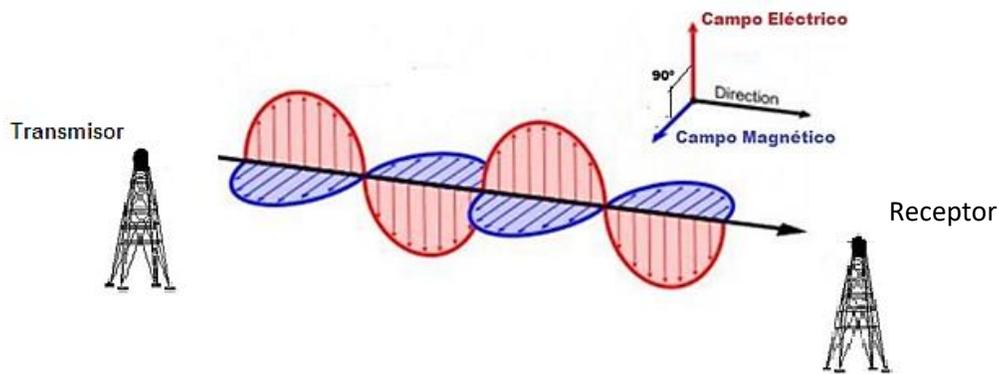
la señal pueda orientarse físicamente hacia el receptor, el cual debe tener la capacidad de recibirla adecuadamente [3].

En la actualidad, la radiocomunicación sigue vigente especialmente en la transmisión de voz y datos, donde se integran las ondas, el espectro radioelectrónico, la señal, la antena, el transmisor, el receptor, entre otros elementos que se abordaran más adelante. De igual manera, participan otros actores; primero, están los administradores públicos encargados de promover Leyes nacionales o internacionales para la utilización del espectro electromagnético; segundo, los operadores del servicio quienes administran una porción del mismo; y tercero, los usuarios finales como personas del común, empresas, instituciones públicas y privadas que utilizan el servicio de comunicación.

Expuesto lo anterior, es necesario abordar el concepto de las ondas electromagnéticas.

## **1.2 Las ondas electromagnéticas**

Para comprender las ondas electromagnéticas se debe tener en cuenta que la propagación de energía se genera mediante una antena transmisora, la cual crea un campo magnético y otro eléctrico, posteriormente, dichos campos se dispersan por un espacio tridimensional, oscilando de forma perpendicular que transporta la energía de un lugar a otro. En este sentido, las ondas de gran amplitud que rebotan entre la ionosfera y el suelo, viajan a bajas velocidades y las de menor amplitud a mayor velocidad, antes de ser recibidas por un receptor, que a su vez, contiene un modulador que las separa y las convierte en voz o datos [4]. A continuación se presenta el esquema de la onda electromagnética en la figura 1 [5].



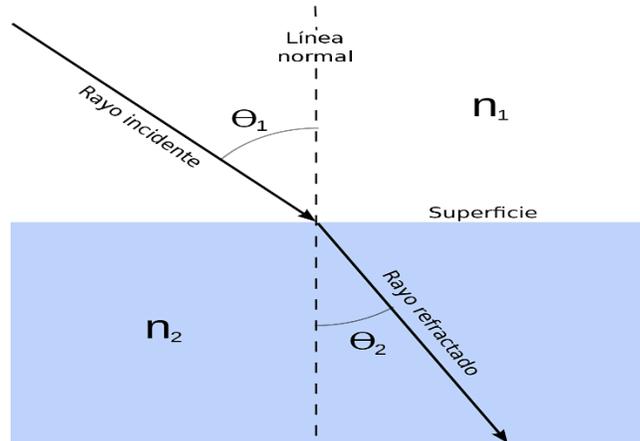
**Figura 1. Esquema de la onda electromagnética [5]**

Los campos eléctricos y magnéticos de una radiación varían según la frecuencia de la onda la cual se representa en  $f$  (Hz). De igual manera, la velocidad a la que se desplazan las radiaciones electromagnéticas están asociadas a la condiciones físicas, entre ellas, la permitividad  $\epsilon$  (F/m) y permeabilidad  $\mu$  (H/m) [4].

**1.2.1 Propagación de las ondas electromagnéticas.** Las ondas electromagnéticas se propagan fácilmente por cualquier medio de baja conductividad eléctrica como el aire, pero presentan dificultades en materiales como el agua, dado que los campos electromagnéticos influyen corrientes que interfieren en la energía de las ondas [6]. En este sentido, las ondas se propagan por la atmósfera terrestre gracias a la energía transmitida por la fuente y posteriormente, esta energía es recibida por la antena receptora cuya eficiencia depende de la distancia establecida entre ambas.

En la propagación de las ondas electromagnéticas se presentan fenómenos importantes como:

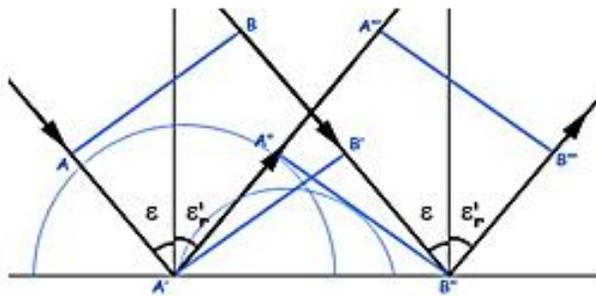
- **Refracción.** Hace referencia al cambio de dirección que experimentan las ondas al atravesar capas con distintas propiedades, debido a que la velocidad de propagación de una onda es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que se propaga. De allí que se presenta la refracción cuando cambia de un medio a otro [6]. Obsérvese los elementos presentes en la refracción en la figura 2 [7].



**Figura 2. Refracción [7]**

- **Reflexión.** Es el cambio que experimenta la onda al chocar contra un objeto que no puede atravesar. Al igual que las ondas de luz, las ondas electromagnéticas también son reflejadas cuando entran en contacto con barreras de metal y superficies de agua. Por ende, el ángulo en el cual la onda incide en esta superficie es el mismo ángulo en el cual es desviada, es decir, cuando la onda choca se forma un ángulo en el cual incide. No obstante, esto puede variar dependiendo de la superficie metálica ya que si es rugosa o presenta orificios puede causar dificultades en el cálculo de la reflexión [3].

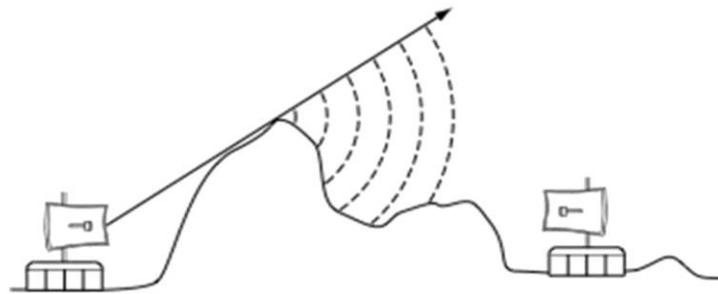
A continuación, se muestra el fenómeno de la reflexión en la figura 3 [7].



**Figura 3. Reflexión [7]**

- **Difracción.** Es un fenómeno en el cual la onda en su propagación se encuentra con un obstáculo, cuyas características son compatibles a su longitud de onda, la cual

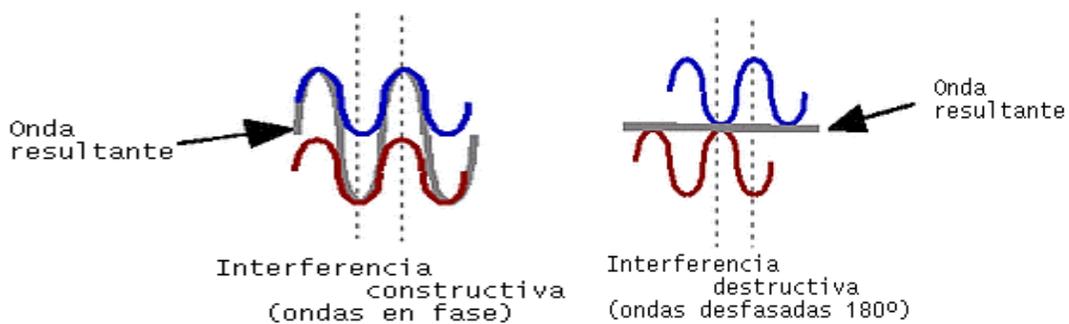
genera una onda circular que alcanza puntos que están en línea directa, detrás del obstáculo como se observa en la figura 4 [8].



15

**Figura 4. Difracción [8]**

- **Interferencia.** Es un fenómeno producido cuando se combinan dos ondas electromagnéticas que causan una degradación en la funcionalidad del sistema, asociado al principio de interposición lineal cuando dos o más ondas ocupan el mismo espacio de manera simultánea. Por tanto, cuando estas ondas coinciden en su punto de inicio y longitud, dan origen a una nueva onda: interferencia positiva [3]. En sentido contrario, cuando no coinciden en su longitud, la combinación daría como resultado una onda lineal de valor cero, es decir, las dos ondas se destruyen mutuamente: interferencia destructiva [3]. En efecto, se presenta la interferencia constructiva y destructiva en la figura 5 [9].



**Figura 5. Interferencia constructiva y destructiva [9]**

- **Absorción.** Cabe señalar que el aire está formado por átomos, moléculas y sustancias gaseosas, las cuales tienen la capacidad de absorber energía de las ondas

electromagnéticas, causando pérdidas y provocando una atenuación en el campo electromagnético, por ende, una reducción en la densidad y la potencia, conocido como absorción. Esto significa que las ondas al propagarse en un espacio con presencia de lluvia o de neblina, mayor es su absorción [10].

**1.2.2 Velocidad de transmisión.** Otro de los aspectos a considerar en el servicio de *internet* inalámbrico es la velocidad en la transmisión de los datos, siendo un indicador de calidad en el servicio que demandan los usuarios, de allí la importancia de hacer una breve aproximación a este concepto. Pues bien, la velocidad de transmisión de datos en un sistema inalámbrico hace referencia a la cantidad de información que se transmite en un determinado lapso de tiempo y se mide en bits/s o bps [11], como se muestra en la ecuación 1.

$$C = \frac{1}{T} \text{ bps} \quad (1)$$

De igual manera, el ancho de la banda es un aspecto importante en los proyectos de enlace inalámbrico, ya que éste influye en la velocidad en que se transmiten los datos, por lo tanto, entre más reducido sea el ancho de banda, menor será la cantidad de datos que circulen por ésta y viceversa.

**1.2.3 Espectro electromagnético.** Es comprendido como el rango en que se ubican las ondas electromagnéticas por su longitud y frecuencia, constituyendo una gama que se propaga en el vacío con la misma velocidad. A continuación, se presentan los elementos del espectro electromagnético en la tabla 1 [12].

**Tabla 1. Elementos del espectro electromagnético [12]**

Tipos de radiación	Longitud de onda(M)	Frecuencia (Hz)	Energía (J)
Rayos gama	<10 pm	>30.0 EHz	>20.10 <sup>-15</sup> J
Rayos x	<10 nm >	>30.0 PHz	>20.10 <sup>-18</sup> J
Ultravioleta extremo	<200 nm	>1.5 PHz	>993 10 <sup>-21</sup> J
Ultravioleta cercano	<370 nm	>789 THz	>523.10 <sup>-21</sup> J
Luz visible	<780 nm	>384 THz	>255.10 <sup>-21</sup> J
Infra rojo cercano	<2.5 um	>120 THz	>79 10 <sup>-21</sup> J
Infrarrojo medio	<50 um	>6.00 THz	>4 10 <sup>-21</sup> J
Infrarrojo lejano sub milimétrico	<1 mm	>300 GHz	>200 10 <sup>-24</sup> J
Microondas	<30 cm	>1 GHz	>2 10 <sup>-24</sup> J
Ultra alta frecuencia radio	<1 m	>300 MHz	>19.8 10 <sup>-25</sup> J
Muy alta frecuencia radio	<10 m	>30 MHz	>19.8 10 <sup>-2</sup> J
Onda corta radio	<180m	>1.7 MHz	>11.22 10 <sup>-28</sup> J
Onda media radio	<650m	>650 KHz	>42.9 10 <sup>-28</sup> J
Onda media radio	<10Km	>30 Khz	>19.8 10 <sup>-30</sup> J
Muy baja frecuencia radio	>10 Km	<30 Khz	<19>.8 10 <sup>-30</sup> J

**1.2.4 Las microondas.** Son definidas como la porción del espectro electromagnético que comprende frecuencias aproximadas entre los 3 Ghz y 300 Ghz que corresponde a la longitud de onda en vacío entre 10 cm y 1 mm, por encima de los 100 MHz [4]. Estas microondas viajan en línea recta enfocadas hacia un haz reducido que permite conectar con mayor facilidad toda la energía a una antena receptora, logrando así una señal más alta en relación con el ruido y alcanzando grandes distancias siempre y cuando se utilicen los equipos adecuados [4].

### 1.3 Teoría de los radioenlaces

Un radioenlace es definido como la interconexión efectuada a través de dos terminales de comunicación, utilizando ondas electromagnéticas en un medio no guiado más conocido como enlace transmisor [13]. En otras palabras, un radioenlace es un conjunto de equipos de emisión y recepción vía radio, de uno a otro centro de la red, el cual puede

transmitir una o varias señales de manera simultánea, según lo establecido en el diseño. En la figura 6 [13] se representa gráficamente un radioenlace.



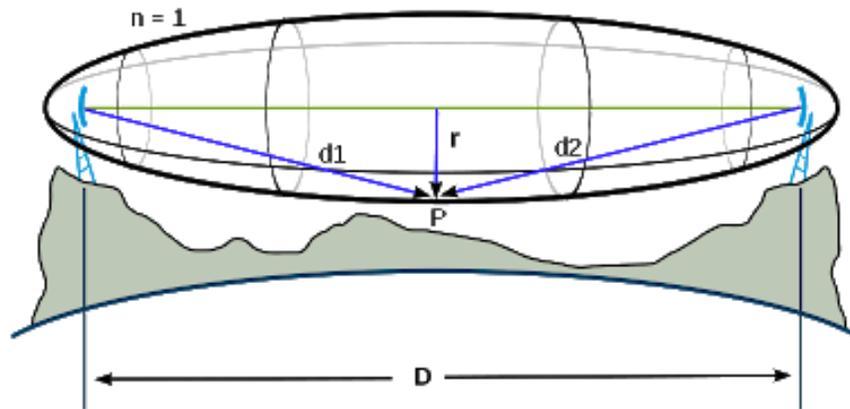
**Figura 6. Representación de un radioenlace [13]**

Teniendo en cuenta que el trayecto de una onda de radio puede ser obstaculizada por montañas, árboles, edificaciones, partículas, la curvatura de la tierra, entre otros, es necesario realizar las respectivas configuraciones de los equipos a utilizar, tales como: el transmisor, el receptor y la antena. Además, se requiere calcular pérdidas en el espacio libre, el alcance visual y sensibilidad de la antena, las cuales se describen a continuación.

**1.3.1 Alcance visual.** Se refiere a la máxima distancia a la que pueden estar separados dos puntos antes de que sean obstruidos por la curvatura terrestre. Se calcula sumando el radio horizonte de cada punto según la altura de la antena [13].

**1.3.2 Línea de vista.** Hace referencia a un camino libre sin obstáculos, entre las antenas transmisora y receptora, donde se observan una a la otra. Sin embargo, eso no es suficiente, siendo necesario identificar la zona de Fresnel [13].

**1.3.3 Zona de Fresnel.** Es entendida como el radio que se deja despejado alrededor de la línea de vista del enlace, con el fin de reducir la interferencia generada por la reflexión de la onda en contacto con objetos cercanos. Como se muestra en la figura 7 [14], Fresnel en su teoría, logra identificar algunas zonas en la cual los obstáculos pueden afectar la onda por el efecto de la interferencia [13].



**Figura 7. Zona de Fresnel [13].**

El cálculo de la zona de Fresnel tiene como propósito examinar la línea vista desde el punto A al punto B, ya que algunas ondas viajan directamente entre estos dos puntos, mientras que otras se desplazan en una trayectoria indirecta, aumentando el riesgo de interferencia con los obstáculos [13].

Para calcular el radio de la zona de Fresnel es necesario aplicar la ecuación 2:

$$r = 17.32 * \sqrt{((d1 * d2)/(D * f))} \quad (2)$$

**Donde:**

r=17,32

d1: distancia al obstáculo desde el transmisor en kilómetros

d2: distancia al obstáculo desde el receptor en kilómetros

d: distancia entre el transmisor y el receptor en kilómetros

f: frecuencia GHz

r: radio en metros

**1.3.4 Sensibilidad del receptor.** Se refiere al valor mínimo de señal de radiofrecuencia que puede percibir el equipo receptor en su entrada y que requiere ser decodificada sin que se pierda la información transmitida [15], esta sensibilidad requiere una adecuada configuración, pues de lo contrario puede causar interferencia en la misma.

**1.3.5 Balance de un radioenlace.** Cuando se habla de balance de un radioenlace se hace referencia a la suma de los factores de instalación que aportan a la señal y resta aquellas que generan pérdida, dando como resultado un cálculo estimado del nivel de señal. Los resultados obtenidos están directamente relacionados con la capacidad y calidad de los equipos a utilizar para la conexión.

Para calcular el balance de un radioenlace se deben considerar las variables que se presentan en la tabla 2 [16]

**Tabla 2. Variables para el cálculo del balance de un radioenlace [16]**

VARIABLE	DEFINICIÓN	VALOR ESTÁNDAR
• Ganancia de una antena	La cantidad de señal captada que se concentra en el alimentador	De 6 -24 dB
• Pérdida del cable	Son las pérdidas que se generan cuando la señal pasa por el cable.	De 0.05 a 1dB por metro
• Pérdida del conector	Son las pérdidas cuando la señal pasa por el conector tanto del emisor como del receptor	De 0.25 dB por conector
• Pérdida en el espacio libre	Es la pérdida cuando las ondas salen del emisor y viajan a través del espacio antes de ser captadas por el receptor.	$F L_p [dB]=32,45+20 \log f$ [MHz]+20 log d [Km]

Para calcular el balance de un radioenlace se recurre a la ecuación 3:

$$PRx=PTx+GTx- LccTx- LccRx- Lp+GRx \quad (3)$$

Donde:

PRx Potencia recibida por el receptor

PTx Potencia transmitida por el transmisor

GTx Ganancia de la antena del transmisor en la dirección del enlace

LccTx Pérdidas de cable y conectores en el sistema transmisor

LccRx Pérdidas de cable y conectores en el receptor

Lp Pérdidas de propagación

GRx Ganancia de la antena del receptor en la dirección del enlace.

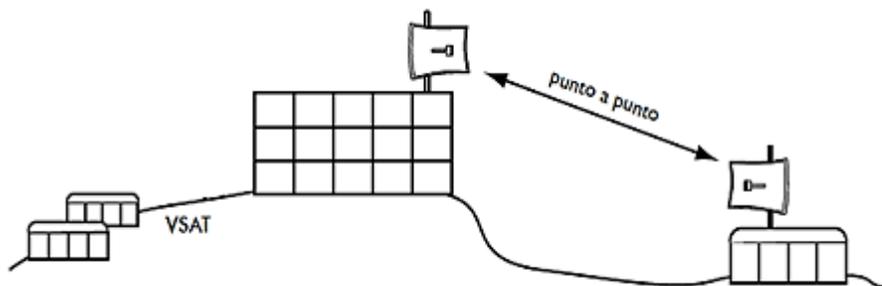
Cuando hay una propagación en el espacio libre, las pérdidas de señal se calculan en función de la distancia empleando la ecuación 4:

$$L_p [dB]=32,45+20 \log f [MHz]+20 \log d [Km] \quad (4)$$

Cabe recordar que los resultados suelen alterarse por las condiciones geográficas y climáticas, generando pérdidas en la propagación de la señal [17].

**1.3.6 Tipos de radioenlace.** Existen varios tipos de radioenlace dependiendo de los requerimientos y el diseño, donde se destacan los siguientes:

- **Enlace punto a punto (PTP).** Este tipo de enlace como su nombre lo dice, hace referencia únicamente a la conexión entre dos puntos o dos nodos. Estos enlaces pueden usarse para extender su red a grandes distancias y ofrecen una mayor capacidad para el transporte de información sobre el medio. A continuación, se presenta gráficamente el enlace punto a punto en la figura 8 [18].

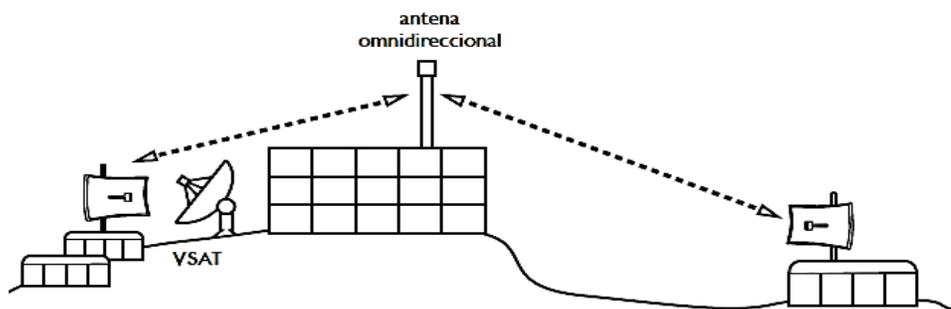


**Figura 8. Enlace punto a punto [18]**

Igualmente, al establecerse una red punto a punto debe considerarse: Modo *Simplex*, que se refiere a la transmisión de datos solo involucrando dos puntos como es el receptor y el transmisor. Modo *Half Dúplex*, el cual consiste en el envío de datos desde el

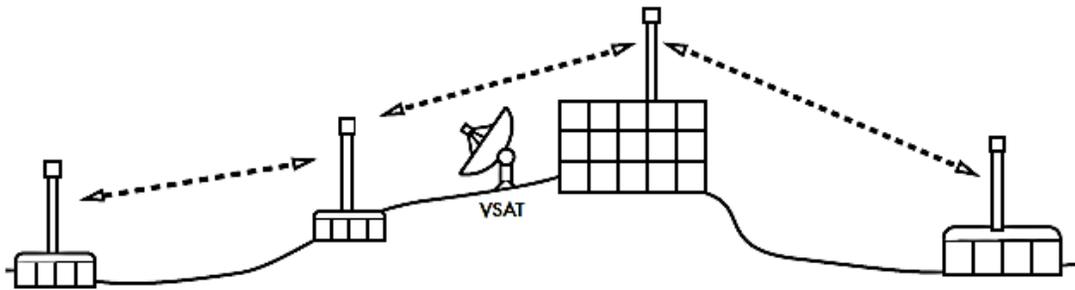
transmisor hacia el receptor y viceversa. Modo *Full Dúplex*, la transmisión de datos en el mismo momento de receptor a transmisor y viceversa [19].

- **Enlace punto a multipunto (PTMP).** Son enlaces en los que cada canal de datos puede conectarse con varios centros a la vez mediante una línea de comunicación, cuyo uso está compartido por todas las terminales de la red. Por ello, la información circula en doble dirección y es aplicable para todas las terminales. Aunque tiene ventajas en materia de costos, también presenta desventajas como la pérdida de velocidad en la transmisión de la información. El diseño e instalación de un enlace de este tipo es más compleja que la anterior, ya que se tienen múltiples nodos que compiten por los recursos de la red [20]. En la figura 9 [18], se esboza el enlace punto a multipunto.



**Figura 9. Enlace punto a multipunto [18]**

- **Multipunto-a-Multipunto.** Cuando cada centro de una red puede comunicarse con cualquier otro. Es también conocida como red en malla (*mesh*) o ad-hoc. Este enlace resulta más complejo que el anterior, debido a que no hay una red central, sino que se van añadiendo nodos a medida que se incorporan a la red, sin la necesidad de cambiar la configuración de ninguno de los nodos existentes. De esta manera, en la figura 10 [18], se representa un enlace multipunto a multipunto.



**Figura 10. Enlace multipunto a multipunto [18]**

**1.3.7 Ventajas y desventajas de los radioenlaces.** La utilización de radioenlaces para la transferencia de voz y datos ha ganado importancia en los últimos años, especialmente en el desarrollo de proyectos de conexión en instituciones educativas, centros de salud y viviendas. En la tabla 3 [20] se presentan algunas ventajas y desventajas que se tienen al implementar esta tecnología:

**Tabla 3. Ventajas y desventajas de los radioenlaces [20]**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Pueden llevar miles de canales individuales de información entre puntos.	Presentan interferencia cuando las ondas electromagnéticas chocan con obstáculos.
Se adaptan mejor al contacto con el agua, terrenos empinados, bosques entre otros obstáculos.	Son más vulnerables a la hurto de señal
Los canales de radio frecuencia no requieren licencia de uso del espectro.	Requieren configuraciones eficientes para ganar señal en zonas con difíciles condiciones atmosféricas.
Las altas frecuencias equivalen a longitudes de onda cortas, las cuales requieren antenas relativamente pequeñas.	Pueden presentar menor calidad de la señal en comparación con los enlaces de cableado o fibra óptica.
Las señales de radio se propagan con mayor facilidad entre los obstáculos físicos.	Requiere en ocasiones la instalación de equipos especiales
Permite una reducción significativa en los costos de instalación y mantenimiento.	

## 1.4 Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas son entendidas como un conjunto de computadores o cualquier otro dispositivo informático, comunicados entre sí, mediante soluciones tecnológicas que no requieren uso de cableado para su interconexión. Por su alta flexibilidad y economía, las redes inalámbricas son cada vez más utilizadas en proyectos de interés público o privado, como la conexión de instituciones de salud y educación. En otras palabras, una red es entendida como un sistema de comunicación que tiene como finalidad permitir que una serie de dispositivos se integren entre sí, por ejemplo: computadoras, terminales, memorias y de más equipos que les permiten a los usuarios acceder y compartir voz o datos.

**1.4.1 Tipos de redes.** Existen varios tipos de redes inalámbricas para la transferencia de voz y datos, entre ellos, *Wifi*, *Bluetooth*, UMTS; los cuales se clasifican de acuerdo con su alcance en: a) Redes de área personal o WPAN (*Wireless Personal Área Network*), indicadas para conectar equipos a nivel domiciliario, por ejemplo, el control del televisor o el computador de la impresora; b) Redes de área local o WLAN (*Wireless Personal Área Network*), las cuales alcanzan distancias en cientos de metros y son apropiadas para crear entornos de red local, entre computadores o terminales situados en un mismo edificio como el *WiFi*; c) Redes de área metropolitana o WMAN (*Wireless Metropolitan Área Network*), indicadas para cubrir áreas más extensas como barrios, comunas o conjuntos residenciales; d) Redes de áreas globales o WAN (*Wide Área Network*), las cuales permiten crear entorno de comunicación a nivel del país incluso en un grupo de países. A continuación en la tabla 4 [16] se presenta los tipo de redes.

**Tabla 4. Tipos de redes [16]**

Área personal	Área local	Área metropolitana	Área global
WPAN	WLAN	WMAN	CELULAR
>10 metros	Edificios conjunto	Ciudad Regional	Mundial
<i>Bluetooth</i> IEEE 802.15 IrDA	<i>Wifi</i> <i>HomeRf</i> <i>Iperlan</i>	<i>Wifi</i> <i>MMDS</i> <i>WIMAX</i>	2.5G 3G 3G

### 1.5 Estándar IEEE 802.11

Este estándar también denominado *Wifi*, fue el primer estándar implementado en el mercado, por consiguiente, el más utilizado para la creación de redes *WLAN*, ya que ofrece acceso de banda ancha en múltiples entornos públicos y a precios favorables. El *Wifi* es conocido como un mecanismo para la conexión de red inalámbrica, la cual se sustenta en el estándar de radiofrecuencia, utilizado para conectar dispositivos entre sí, para transmitir señales de radio o datos de *internet*.

Esta tecnología ha sido utilizada recientemente de manera incremental, gracias a su flexibilidad y movilidad, convirtiéndose en una de las tecnologías más populares en varios sectores, incluyendo el educativo, lo cual ha dado lugar a una familia de dicho estándar, como se expone en la tabla 5 [21]

**Tabla 5. Familia del estándar IEEE 802.11 [21]**

ESTÁNDAR	VELOCIDAD
802.11a	Alcanza hasta 54 Mbps en las bandas no licenciada a 5 GHz.
802.11ac	Alcanza hasta 450 Mbps en la banda no licenciada a 5.8GHz
802.11b	Alcanza hasta 11 Mbps en la banda no licenciada a 2.4 GHz
802.11g	Alcanza hasta 54 Mbps en la banda no licenciada a 2.4 GHz
802.11n	Alcanza hasta 600 Mbps en las bandas no licenciadas a 2.4 GHz y 5 GHz
802.11ad	Alcanza hasta 7Gpbs en la banda de 60 GHz
802.11ah	Alcanza los 347Mbps en la banda entre las bandas 54 y 790 MHz
802.11af	Alcanza entre 25 y 425 Mbps en la banda de 900 MGz

De la familia del estándar 802.11 de la tabla anterior, se toma como referencia el 802.11ac, en el cual la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S. tiene mayor experiencia, además dicho estándar presenta grandes ventajas, entre ellas garantizar una mayor velocidad en la red inalámbrica con un aumento del 10 % gracias a que opera en la banda de 5.8 GHz denominada *UNI (Unlicensed National Information Infrastructure)*, la cual presenta más espacio disponible [22]. Además, es capaz de comunicarse con varios dispositivos a la vez de manera Independence adaptándose fácilmente a las características de cada dispositivo. A esto se suma que permite el aumento del ancho del canal hasta 160 MHz. De igual manera, provee mejor modulación de la amplitud en cuadratura hasta 256 *QAM (Quadrature Amplitud Modulation)*, lo cual resulta apropiado para la transferencia de datos [22].

## **1.6 Seguridad de redes inalámbricas**

El hecho de que las ondas electromagnéticas se desplacen por el espacio libre, también genera retos en materia de seguridad, ya que éstas se hacen más vulnerables a ser interferidas de manera fraudulenta, lo cual exige una configuración más exhaustiva en comparación con la red de cableado, a fin de brindar más seguridad y evitar el acceso a los datos de manera ilegal [23]. Por ello, uno de los sistemas de seguridad inalámbrica más utilizado es el *WPA2-PSK/AES (WiFi Protected 2 Access)* o acceso *Wifi* protegido – llave pre compartida, el cual se presenta en dos versiones: *WPA2* personal y *WPA2* empresarial [24]

*WPA2* personal, protege el acceso a la red, proporcionando una contraseña de configuración y una contraseña *WPA2* que debe constar de al menos 8 caracteres y un máximo de 63 caracteres *ASCII*, distinguiéndose mayúsculas y minúsculas. De esta manera, todos los dispositivos inalámbricos certificados por la *Wi-Fi Alliance* que se han producido desde el año 2006 deben ser compatibles con *WPA2*, el cual Proporciona una seguridad adecuada para el hogar y pequeñas redes inalámbricas de oficina [24].

En lo respecta con *WPA2* empresarial, existen tres elementos fundamentales a considerar, como son: a) El suplicante o cliente, que requiere conectarse con la red. b) El servidor de autorización/autenticación, el cual contiene toda la información necesaria para saber cuáles equipos y/o usuarios plenamente autorizados para acceder a la red. c) El autenticador, es decir, el equipo de red (*switch*, *Access Point*) que recibe la conexión del suplicante y que actúa como intermediario entre el suplicante y el servidor de autenticación [24].

### **1.7 Normatividad para la regulación el espectro electromagnético**

Por otra parte, una vez se abordaron elementos fundamentales para considerar el espectro electromagnético, las ondas electromagnéticas, el tipo de radioenlaces y el tipo de redes; es oportuno también considerar cuál es la normatividad vigente para la regulación del uso del espectro electromagnético y el servicio de *internet*.

En concordancia, la Constitución Política de Colombia reglamenta el uso del espectro electromagnético, así se expresa en el Artículo 75 “*es un bien enajenable e imprescriptible sujeto a control y gestión de estado*”. En este sentido, el Estado es el encargado de garantizar el buen uso de espectro electromagnético, como un bien público de interés general y no a beneficio particular [25].

En este orden de ideas, el uso del espacio electromagnético requiere un permiso previo por parte del MinTIC, con el fin de garantizar el buen uso, así lo establece la Ley 1341 de 2009 en su Artículos 11 y 12. No obstante, el Decreto 1972 de 2003 en su Artículo 32, establece que el uso del espectro electromagnético para aplicaciones industriales, científicas y médicas, cuyas actividades tengan un beneficio general, las comunicaciones en el uso de las bandas de frecuencia es libre [26].

Cabe señalar que cuando se habla de libertad en el uso del espectro electromagnético, se alude la exención de cualquier pago o contraprestación por el uso de frecuencias o bandas de frecuencia del espectro radio eléctrico, autorizadas por el MinTIC. De igual

manera, la Resolución 689 de 2004, en su Artículo 1° expresa la libre utilización de las bandas de frecuencia radio eléctrica, mediante el sistema de redes inalámbricas locales que involucren tecnológicas de banda ancha y baja potencia [27].

En lo que respecta a las empresas proveedoras de servicio de *internet* por parte de terceros, estos deben contar con su respectiva licencia y concesiones, según lo estipula el Decreto Ley 1900 de 1990 y la Ley 80 de 1993 en su Artículo 33. Además, existen algunas excepciones como los servicios de televisión, los servicios de radiodifusión sonora, según lo expresa la Ley 182 de 1995.

### **1.8 Programa “Conexión Total”**

Es un programa creado por el Estado colombiano en coordinación entre el MinTIC y el MEN con el objetivo principal de ampliar la cobertura del servicio de *internet* en las Sedes Educativas del país, como estrategia para mejorar su competitividad en el marco de una política educación de calidad [28].

Por ello, el programa “Conexión Total” tiene como propósito contribuir al mejoramiento, reposición y densificación de las redes y computadores en las Sedes Educativas de las Secretarías vinculadas al programa. Desde esta perspectiva, el Gobierno nacional busca ofrecer a las escuelas un servicio de conectividad de calidad que permita contribuir al desarrollo eficiente del proceso educativo, donde los estudiantes puedan acceder a bibliotecas virtuales y plataformas de conocimiento e investigación que promueva el desarrollo social [29]

El programa “Conexión Total”, se sustenta en los siguientes criterios:

- a) **Calidad:** garantiza el ancho de banda acorde con el número de estudiantes matriculados y los contenidos que allí se manejan.
- b) **Disponibilidad:** asegura conectividad durante las 24 horas del día.

- c) **Costo:** se relaciona con las economías de escala de los procesos de contratación de los operadores de telecomunicaciones y se evidencia en el uso de las tecnologías disponibles en cada zona.
- d) **Financiación:** asegura los recursos para sostener y garantizar el servicio de la red a mediano y largo plazo.
- e) **Monitoreo:** garantiza el seguimiento sobre la calidad del servicio contratado y sobre el uso del *internet* en el establecimiento educativo.
- f) **Mesa de ayuda:** dispone de un servicio de soporte técnico oportuno ante dificultades técnicas que se presenten con el acceso a *internet*.
- g) **Flexibilidad:** establece modalidades contractuales con los proveedores del servicio de conectividad que permitan ajustarse a las condiciones cambiantes de la tecnología.

**1.8.1 Programa “Conexión Total” en Buga.** La administración municipal de Buga, en coordinación con la Secretaría Municipal, tiene como propósito consolidar y fortalecer los procesos educativos en las Sedes Educativas como centros para la promoción de desarrollo social y comunitario que promueva, además, la realización coordinada de acciones educativas que respondan a la dinámica tecnología de la actualidad que surge como consecuencia de los cambios globales.

En este sentido, el municipio le apuesta al **programa “Conexión Total”** como una manera de materializar el mejoramiento de las herramientas tecnológicas e informáticas, así como la optimización de los recursos ya existentes, minimizando la duplicidad de esfuerzos de los docentes y estudiantes en el desarrollo de los procesos educativos. A través de estos medios se **pretende** acceder a espacios de conocimiento que faciliten el desarrollo de saberes entre estudiantes y formadores.

Desde este panorama, el municipio ha sido uno de los beneficiados con el **programa “Conexión Total”**, para conectar 13 Sedes Educativas con *internet* banda ancha, a partir de una tecnología económica y sustentable que permita a estas instituciones mejorar sus procesos de interacción tecnológica, que no sólo beneficia a los estudiantes sino también

a los docentes, quienes podrán contar con herramientas de consulta para la autoformación en el mejoramiento de su quehacer pedagógico, de cara a alcanzar una educación con calidad que responda a los interés de los estudiantes y de la comunidad en general.

## Capítulo II. Diseño de la infraestructura de red inalámbrica acorde con el estudio de georreferenciación de la zona

El presente apartado tiene como finalidad presentar el proceso de diseño de la estructura de red inalámbrica, acorde con la necesidad específica de las sedes educativas en cuanto a la conectividad a internet en armonía con los lineamientos del programa conexión total. en este sentido, para el diseño de dicha infraestructura se recurre a la metodología PPDIO [30], la cual tiene como finalidad facilitar el diseño de redes en las organizaciones de tal manera que satisfagan las necesidades del usuario, cumpliendo con los requerimientos técnicos, procurando obtener una la solución funcional, accesible y escalable.

Esta metodología comprende 6 fases específicas como son: a) análisis de requisitos, b) desarrollo del diseño lógico, c) Desarrollo del diseño físico, d) Probar, optimizar y documentar el diseño, e) Implementar y probar la red, f) Monitorear y optimizar la red. (Ver figura 11)



Figura 11. Ciclo de vida del diseño de red Top-Down [30]

**Preparar:** En esta fase se identifican los requerimientos técnicos del proyecto, así como la propuesta de una infraestructura de red.

**Planear:** En esta fase se realiza se determinan las funcionalidades y se analizan las posibilidades y limitaciones de la diseñar.

**Diseñar:** como su nombre lo indica en esta fase se realiza el respectivo diseño de la red, se realizan las simulaciones y se plantean los primeros bocetos de la infraestructura en red, los servicios y sus aplicaciones.

**Implementar:** en esta fase se realizan la implementación de la red y se realizan las primeras pruebas de la solución planteada.

**Operar:** Esta fase comprende puesta en marcha de la red en un escenario real, así como la realización de pruebas de su funcionamiento.

**Optimizar:** esta fase comprende la supervisión permanente de la red y a realización de ajustes necesario para su estabilización en la prestación del servicio [30].

Cabe señalar que el diseño de la solución solo comprendió las primeras 4 fases, dado que la fase operativa y de optimización, estuvo a cargo directamente el personal de la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S.

## **2.1 Generalidades de las Sedes Educativas urbanas de Buga**

Antes que nada, es necesario contextualizar rápidamente el municipio donde se llevó a cabo la práctica profesional. De esta manera, Buga “La Ciudad Señora” se encuentra rodeada de zonas planas, ligeramente onduladas que se van elevando a las estribaciones de la cordillera. Tiene un área de 832 Km<sup>2</sup>; presentando una altura de 969 mts/snm y una temperatura de 23° grados centígrados. Su población es de 114.439 habitantes aproximadamente y la ciudad está ubicada en el Valle del Cauca. Cuenta con una tipografía plana con pequeñas elevaciones y área circundante, lo cual resulta favorable para la implementación del radioenlace. En lo referente a las instituciones donde se realizó la interconexión, de acuerdo con el programa “Conexión Total”, se identificaron 13 escuelas que cumplieron con los requisitos mencionados en el Manual Técnico de dicho programa, como se aprecia en la tabla 6.

**Tabla 6. Lista de Sedes Educativas que hacen parte del proyecto.**

ID	CÓDIGO DANE	NOMBRE DE LA ESCUELA	DIRECCIÓN	LATITUD				LONGITUD				TELÉFONO	ZONA
1	176111000515	I.E. MANUEL ANTONIO SANCLEMENTE	CALLE 4A # 1 - 26E	3	53	35	N	76	17	30	W	2364259	URBANA
2	176111001015	I.E. SAN VICENTE	CARRERA 15 # 7 - 09	3	54	2	N	76	18	8	W	2363782	URBANA
3	176111001031	I.E. TULIO ENRIQUE TASCÓN	KR 9BIS CL 17 25	3	54	26	N	76	17	38	W	2371121	URBANA
4	176111000507	I.E. AGRICOLA GUADARAJARA DE BUGA ITA	CALLE 23 CON CARRERA 9 ESQ	3	54	42	N	76	17	30	W	2371115	URBANA
5	176111001104	I.E. ACADÉMICO	CARRERA 9 # 2 SUR - 55	3	53	32	N	76	17	55	W	2366919	URBANA
6	176111032328	COLEGIO MUNICIPAL DEL DEPORTE	CARRERA 12 # 2A SUR - 117	3	53	27	N	76	18	5	W	2284697	URBANA
7	176111000531	I.E. JOSE MARIA VILLEGAS	CALLE 13 # 9 - 19	3	54	12	N	76	17	43	W	2372877	URBANA
8	176111000523	CARLOS ARTURO CABAL	CARRERA 15 # 8 -08	3	54	5	N	76	18	7	W	2366494	URBANA
9	176111001155	MARIA AUXILIADORA	CARRERA 15 # 7 - 09	3	54	2	N	76	18	8	W	2273564	URBANA
10	176111032263	I.E. GRAN COLOMBIA	CARRERA 14 # 16 - 67	3	54	31	N	76	17	52	W	2276873	URBANA
11	176111000604	GUADALAJARA	CARRERA 27 # 14 - 23	3	54	42	N	76	18	26	W	3166932424	URBANA
12	176111000469	I.E. NARCISO CABAL SALCEDO	CALLE 2 # 8 - 47	3	53	40	N	76	17	51	W	2362773	URBANA
13	276111001761	JULIAN MENDOZA GUERRERO	CALLE12A No.6E-00	3	53	53	N	76	18	8	W	2366061	URBANA

Adicionalmente, en la figura 11, se puede observar las sedes educativas urbanas de Buga.

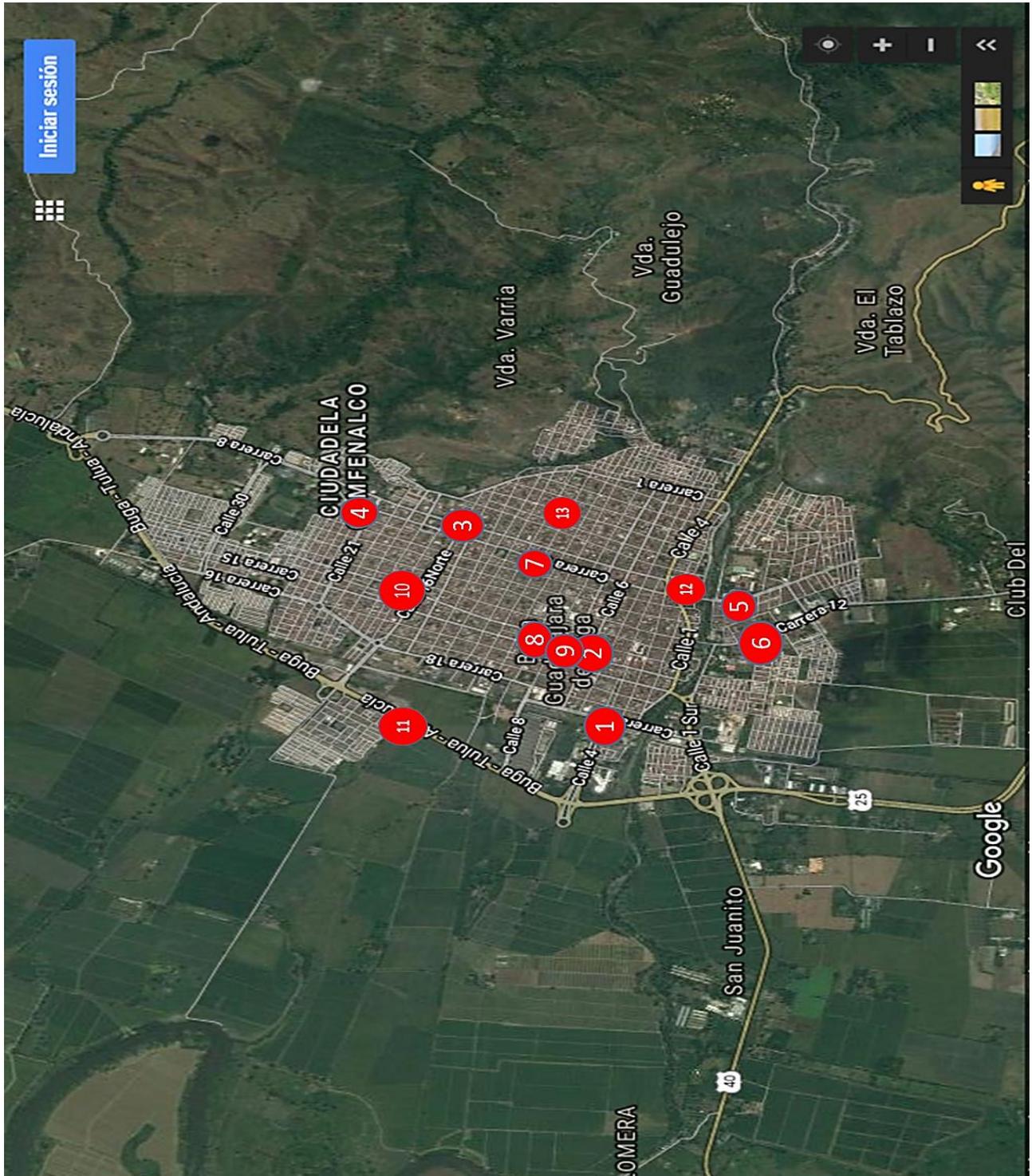


Figura 12. Sedes Educativas urbanas de Buga

## **2.2 Recopilación de información, análisis y captura de requisitos**

**2.2.1 Información del programa “Conexión Total” y el lineamiento técnico.** Para el análisis de los requisitos se tuvo en cuenta el lineamiento técnico propuesto en el programa “Conexión Total”, el cual establece los requisitos básicos que deben cumplir los proveedores del servicio de radioenlace. Así mismo, define las condiciones mínimas que deben cumplir las escuelas para acceder al programa de interconexión. En este sentido, las escuelas que formaron parte de proyecto fueron seleccionadas directamente por la Secretaría de Educación Municipal, por lo cual no fue necesario este proceso de verificación.

En concordancia, las escuelas seleccionadas presentaron las siguientes características: a) estar adscritas al programa; b) contar con un espacio apropiado para la instalación de equipos; c) tener buen servicio de energía eléctrica; d) estar en servicio activo para la comunidad educativa; entre otros aspectos considerados en el Programa “Conexión Total”.

Con respecto a la solución inalámbrica a implementar se verificaron los criterios que exige el lineamiento técnico del programa “Conexión Total”, entre los que se encuentran:

- La red de transporte del tipo inalámbricas, deberán ser en bandas licenciadas.
- Si se utiliza banda libre, sólo se aceptan sistemas en la banda de 5.8 GHz, en los que se garantice línea de vista óptica total y línea de vista eléctrica.
- Todo lo anterior cumpliendo con la regulación Nacional vigente del MinTIC donde se exige equipos en banda U-NII (Infraestructura Nacional de Información No Licenciada) de 5 GHz [30, pp. 20-21].

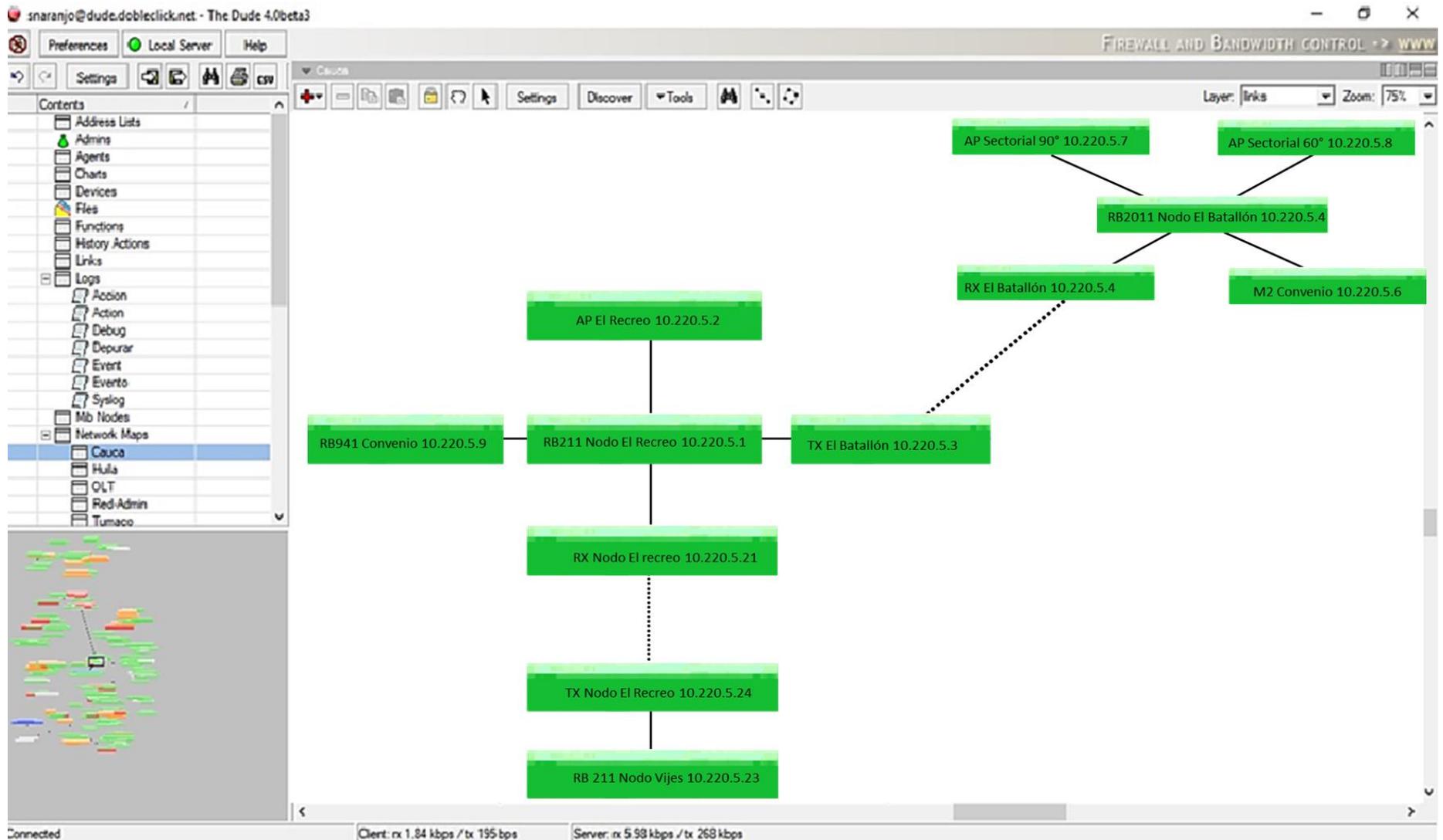
A partir de estas exigencias se determina que la solución más apropiada para la conexión de las sedes es la tecnología inalámbrica Wifi, bajo el estándar 802.11.ac, toda vez que alcanza una velocidad hasta 450 Mbps en la banda no licenciada a 5.8 GHz

**2.2.2 Infraestructura de red inalámbrica de la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S.** Centra la atención en la infraestructura de red localizada al norte del departamento del Cauca y al sur del Valle del Cauca, con el apoyo de la herramienta *Dude beta 4.0*<sup>1</sup>, con la cual se pudo monitorear todos los nodos interconectados de acuerdo con la topología diseñada. De esta manera, se observó que cada nodo cuenta con una antena receptora, un *router* y antenas transmisoras que permiten expandir la red y brindar cobertura a las diferentes zonas de la región, entre ellos el municipio de Buga donde se desarrolló el proyecto.

En este sentido, la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S identificó los nodos más cercanos a Buga, eligiendo el nodo Vijes, por su proximidad a dicho municipio y constituyendo un punto importante para la transmisión de la señal. (ver figura 13)

---

<sup>1</sup> Es un tipo de archivo EXE asociado a *Third-Party Application* desarrollado por *Windows Software Developer* para el Sistema Operativo de *Windows*. La última versión conocida de *Dude-install-4.0beta3.exe* contiene instrucciones paso a paso que la computadora debe seguir para llevar a cabo una función. En el caso de estudio, a través de la herramienta mencionada, se pudo observar la conexión entre nodos, donde cada uno cuenta con una antena receptora, antenas transmisoras, un *router* y sistemas de alimentación con energía eléctrica o solar (paneles solares). Posteriormente, se analizaron parámetros como señal, frecuencia, potencia, distancia e interferencia, con el fin de tener una visión general de la red para la instalación del radioenlace. El software se encuentra disponible en: <https://ccm.net/download/download-1001-the-dude>



**Figura 13. Topología de red de la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S en la herramienta de gestión y monitoreo DUDE BETA 4.0.**

### **2.3 Georreferenciación de la zona de estudio**

La georreferenciación fue una fase importante en la implementación de un radioenlace porque permitió tener una idea precisa de las condiciones geográficas de la zona. Para este propósito, se contó con el apoyo del personal técnico de la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S, para desplazarse a la zona e identificar los puntos más altos sobre los cuales se ubicaron los nodos. De igual manera, con la ayuda de la herramienta *Google Earth*, se obtuvo un mapa satelital y los puntos estratégicos que, al ser cotejados con la información de los técnicos, permitió definir con exactitud la ubicación de los nodos del radioenlace como se observa en la figura 14.

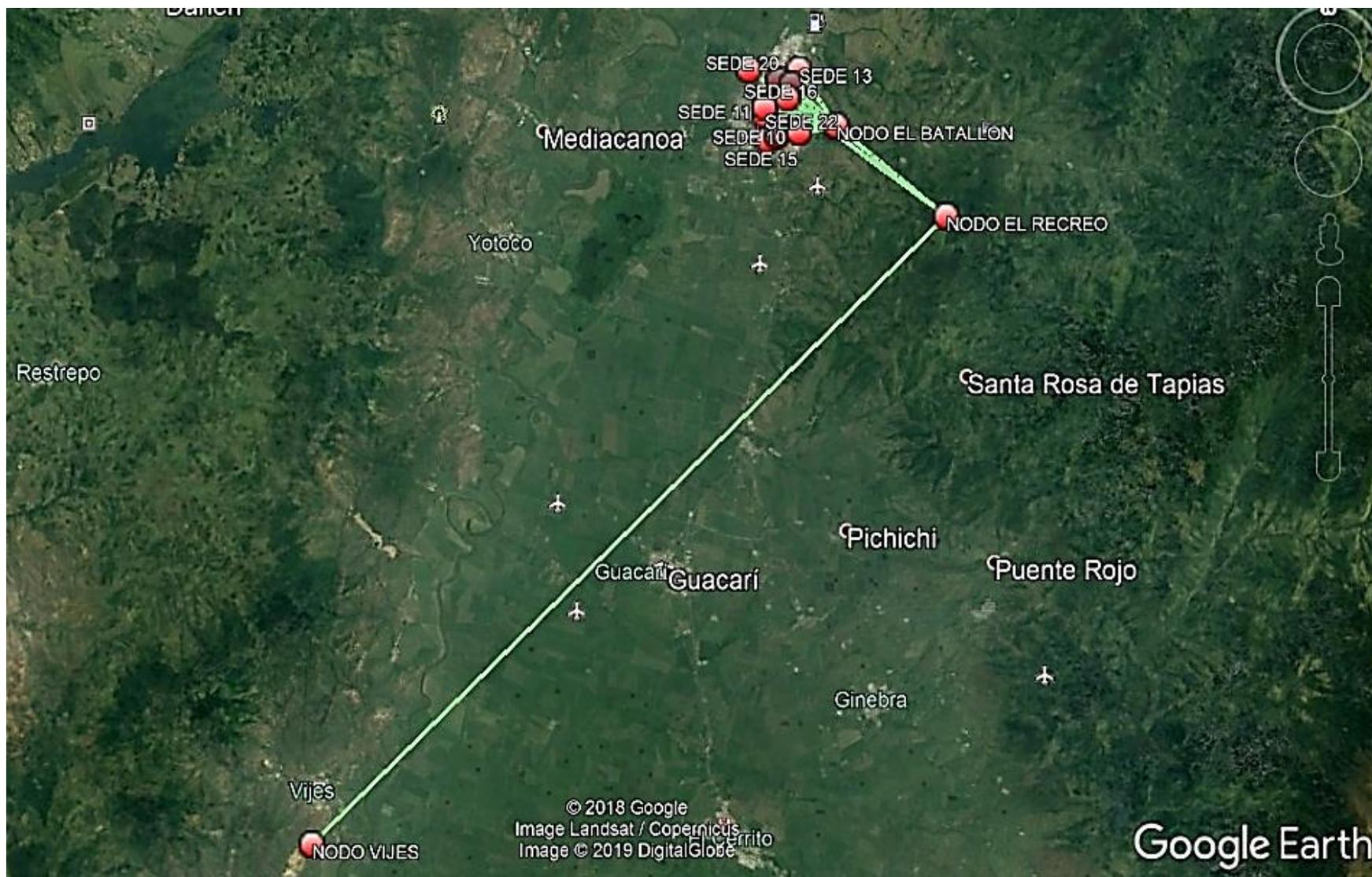
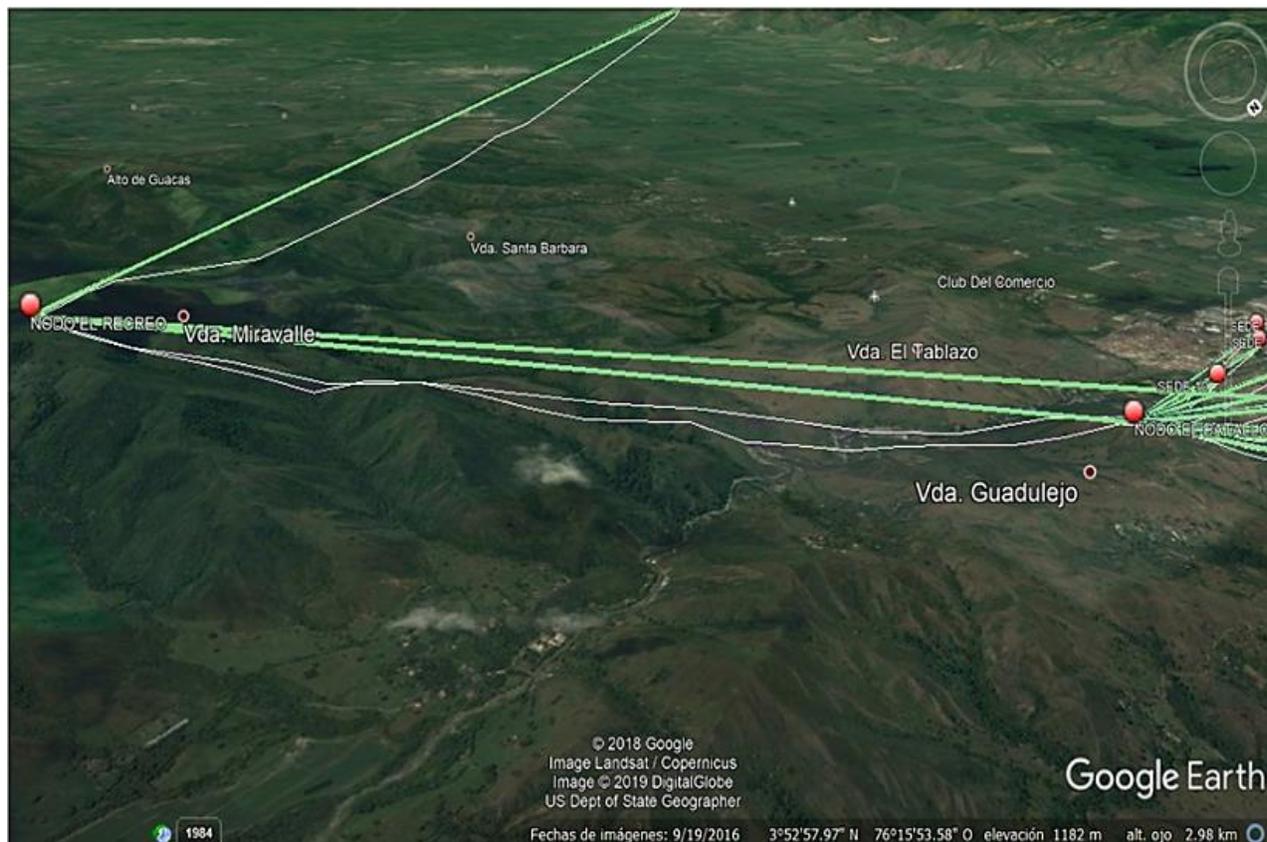


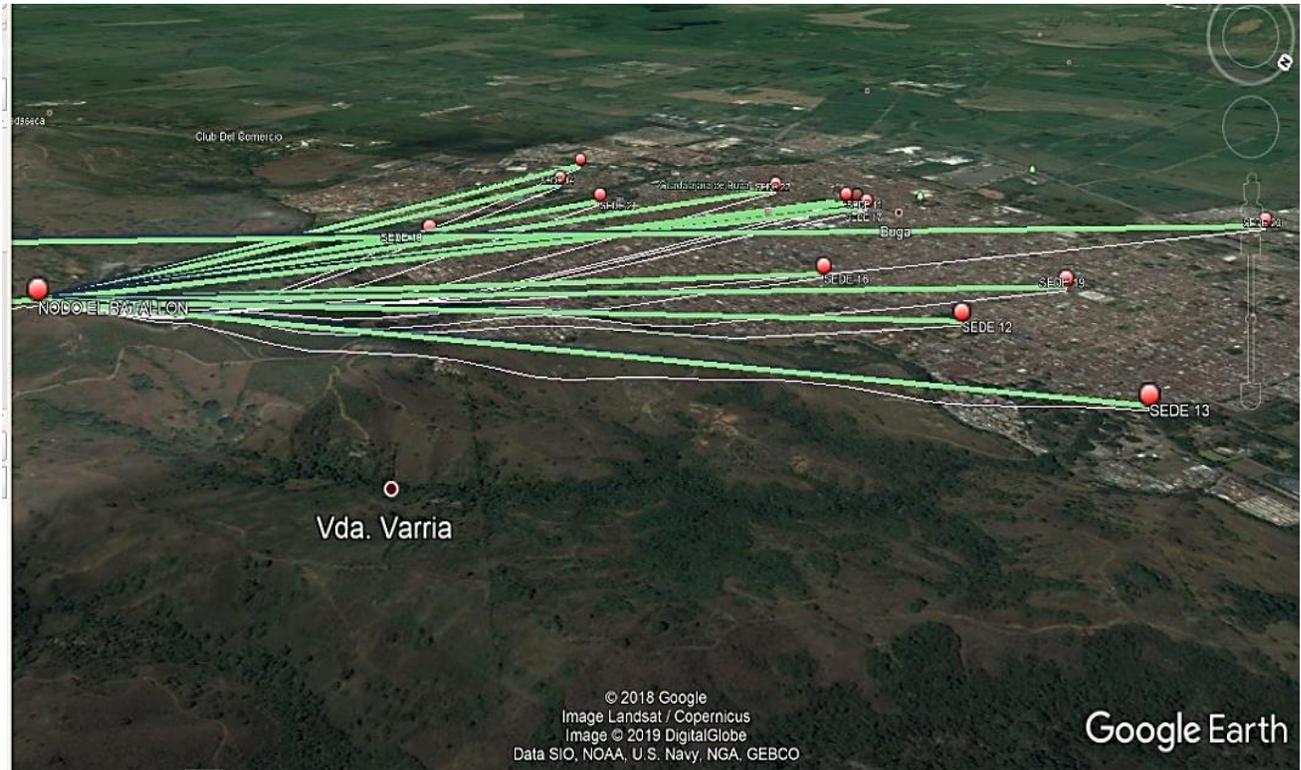
Figura 14. Imagen satelital de la red de Buga.





**Figura 16. Enlace punto a punto, nodo El Recreo hasta el nodo El Batallón.**

**2.3.3 Nodo El batallón hasta las Sedes Educativas.** Las Sedes Educativas se encuentran localizadas en el casco urbano del Municipio de Buga, en una zona relativamente plana, sin la presencia de edificación de gran altura u otro tipo de construcciones que puedan afectar la transmisión de la señal desde del punto emisor hasta el receptor, como se expone en la figura 17.



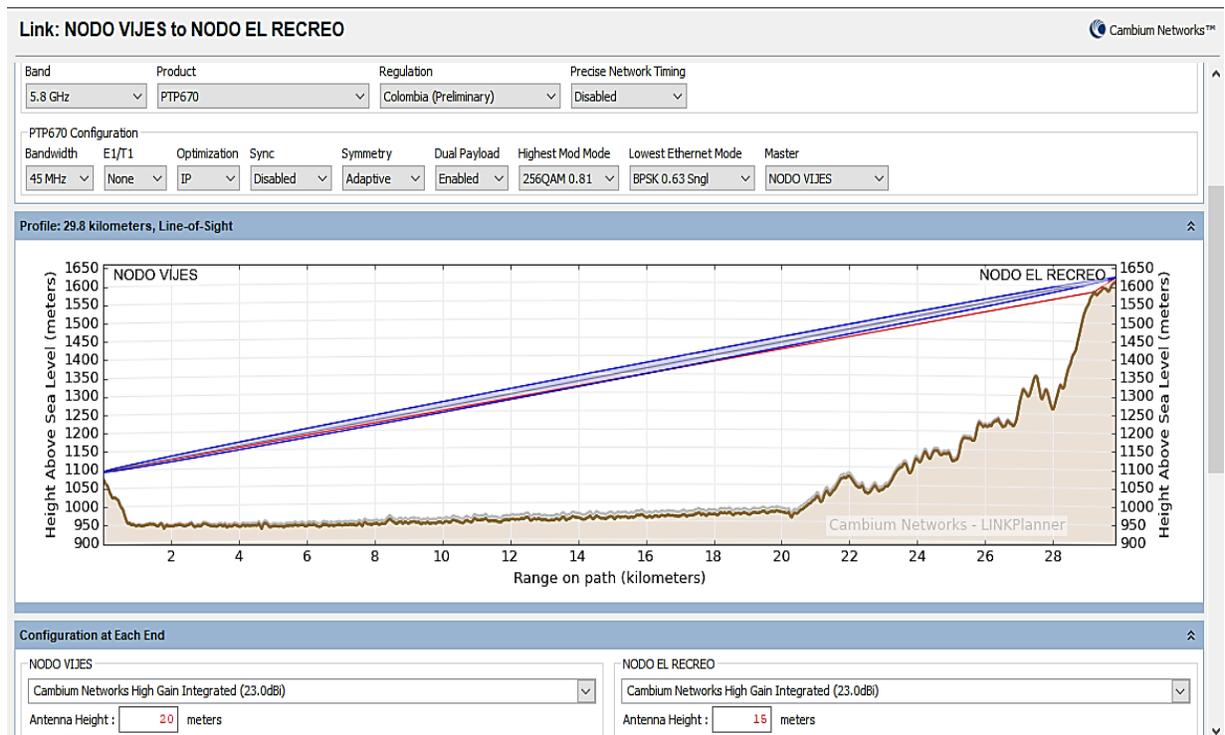
**Figura 17. Enlace punto a multipunto, nodo El Batallón hasta las Sedes Educativas.**

**2.3.4 Simulación.** La herramienta *Link Planer* también fue fundamental para la configuración de propiedades de enlaces, el margen de desvanecimiento de la señal, así como el nivel de interferencia existente entre el punto emisor y el punto receptor. Esto permitió determinar si se estaba cumpliendo con las mínimas exigencias del área, para la adecuada propagación de las ondas. Otros parámetros que se pudieron calcular con esta herramienta fueron: la potencia de transmisión, el funcionamiento en polaridad dual o simple y el patrón de radio frecuencia a utilizar.

Con respecto a los **enlaces punto a punto nodo Vijas hasta el nodo El Recreo**; este radioenlace es uno de los más importantes, dado que permitió llevar la señal del Municipio de Vijas al Municipio de Buga, muy cerca de las 13 Sedes Educativas. De esta manera, se pudo establecer que el emisor se encuentra a una altura de 1.100 mts/snm<sup>2</sup> y el

<sup>2</sup> Abreviación de metros sobre el nivel del mar.

receptor a una distancia de 1600 mts/snm. Así mismo, se observa que la línea de vista se encuentra totalmente despejada, puesto que no se identifican obstáculos que afecten la primera zona de Fresnel, lo cual resulta favorable para la instalación del radioenlace, como se muestra en la figura 18.

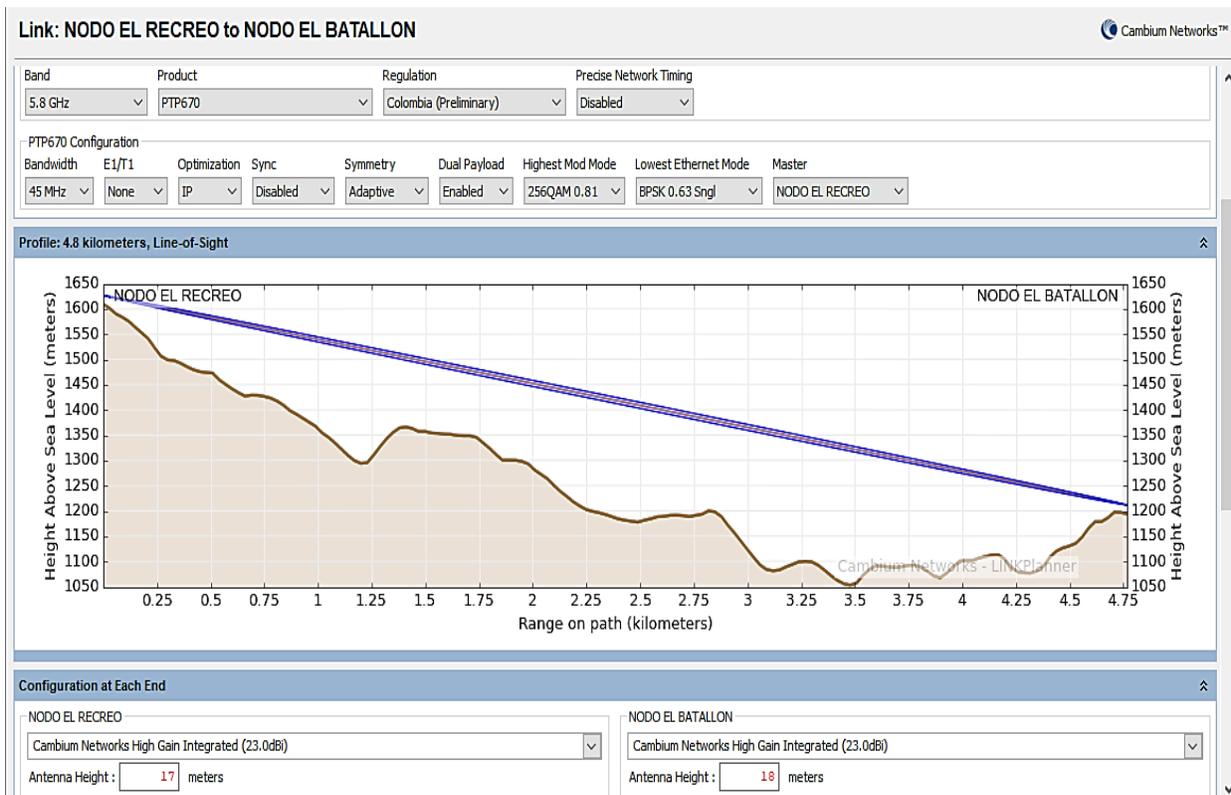


**Figura 18. Simulación enlace nodo Vajes hasta nodo El Recreo.**

Debido a la diferencia entre la altura dentro del emisor y receptor, fue necesario la inclinación de las antenas a fin de encontrar una línea directa entre ambos, evitando la mayor cantidad de pérdidas posibles en el espacio libre. El software también muestra la distancia existente entre el punto A y el punto B la cual corresponde a 29.8 m. Así mismo, indica la altura requerida entre las antenas donde la emisora debe medir 20 m y la receptora 15 m. El software también indica la ganancia obtenida en la antena de 23 dB.

Por otro lado, en el enlace punto a punto nodo El Recreo hasta el nodo El Batallón, la simulación realizada permitió evidenciar una línea de vista directa y una zona de Fresnel libre de obstáculos que puedan afectar la transmisión de la señal. Claramente se pudo

observar que se cuenta con una distancia entre los dos puntos de 4.8 km, para lo cual se requiere una altura en la antena emisora de 17 m y la receptora de 18 m. De acuerdo con la figura 19 se obtiene una ganancia de antena de 23 dB, lo cual resulta favorable para la transmisión de la señal.



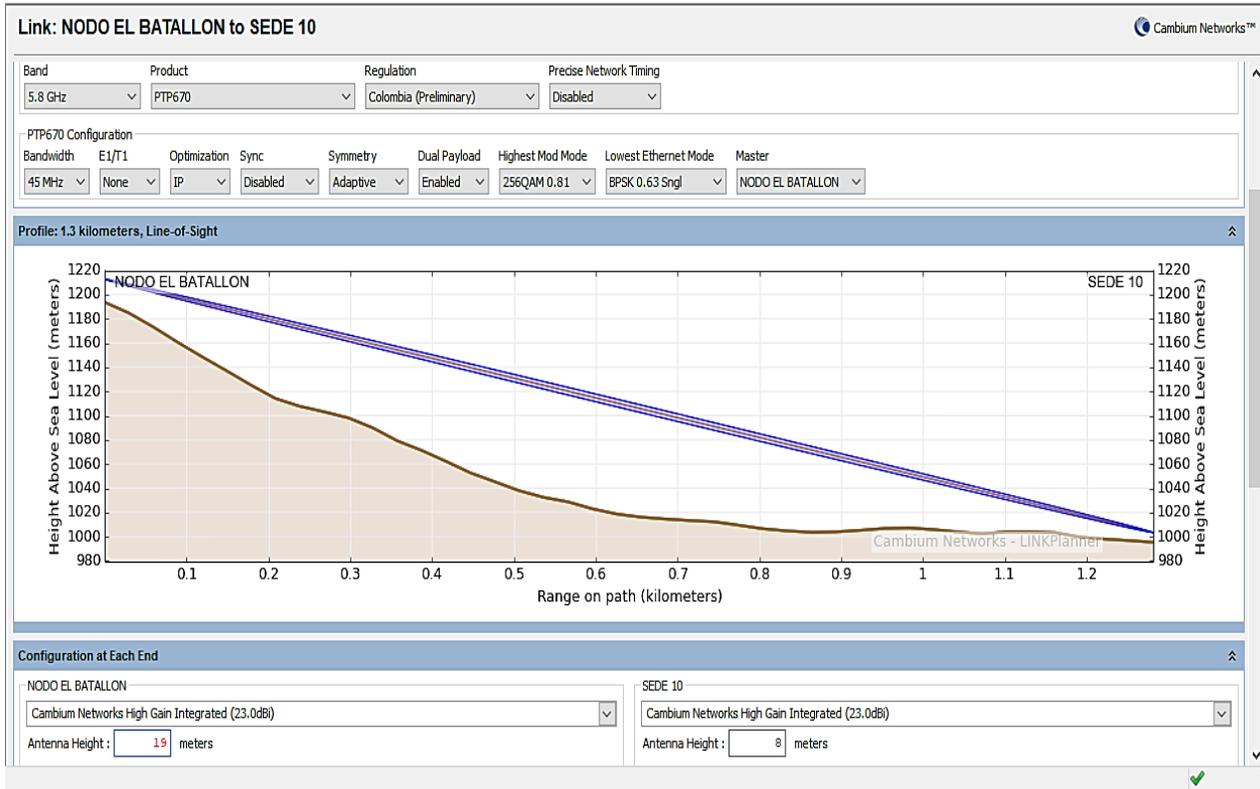
**Figura 19. Simulación enlace nodo El Recreo hasta nodo El Batallón.**

Además, en los *enlaces punto a multipunto* nodo El Batallón hasta las Sedes Educativas, se observó que presentan diferentes características en cuanto a la altura y distancia. De allí la importancia de conocer los resultados de la simulación realizada en cada una de ellas como se expone a continuación.

- **Nodo El Batallón – Sede ID 10**

Este radioenlace presenta una distancia de 1.3 km; el punto emisor se ubica en una altura de 1210 mts/snm y receptor a 1.000 mts/snm, lo que implica también inclinar las antenas de tal manera que se mantenga una posición frontal la una con la otra. De igual manera,

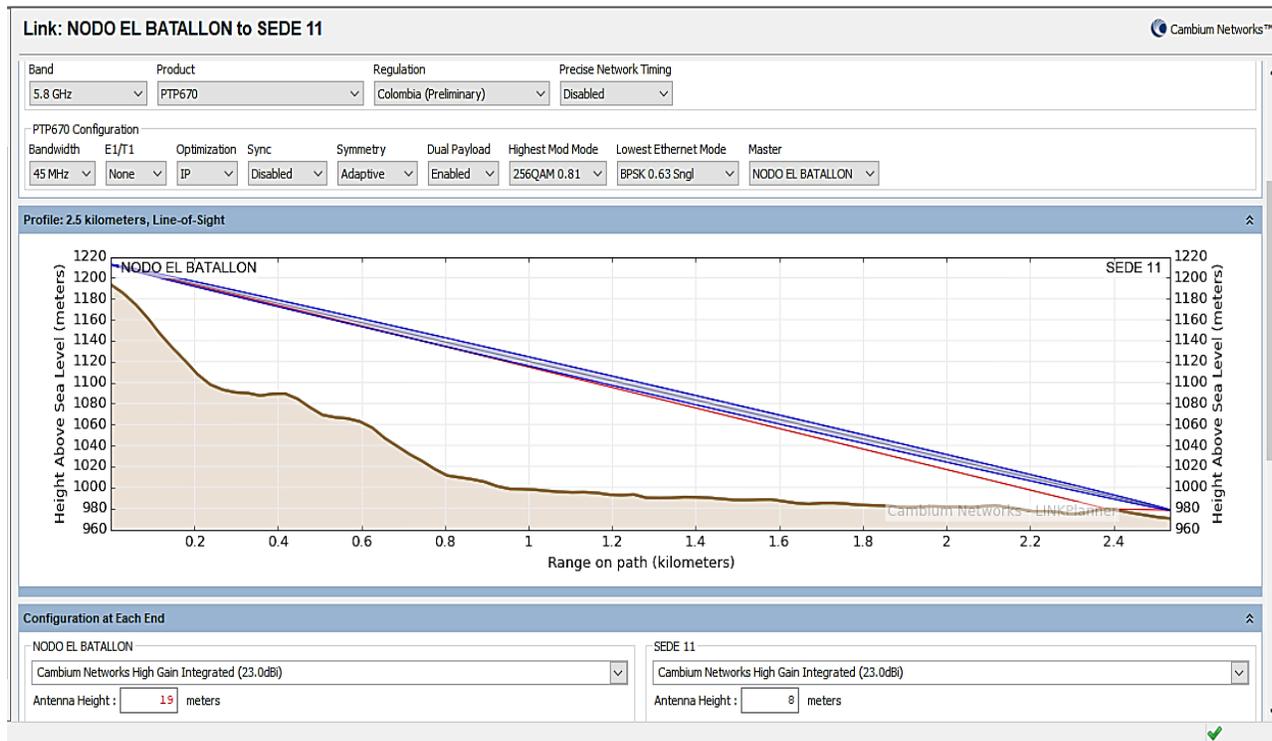
la figura 20 muestra que para este enlace se requiere elevar la antena emisora a una altura de 17 m del suelo y la receptora a 9 m. Igualmente, se observa que la ganancia de las antenas obtenidas se ubica en 23 dB.



**Figura 20. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 10.**

- **Enlace El Batallón - Sede ID11**

Como se observa en la figura 21, en este enlace existe una línea de vista despejada debido a que no se anteponen picos de tierra, ni edificaciones u otro elemento que pudiera obstruir la señal de onda transmitida. Debido a la diferencia en la altura del terreno del lado del emisor y el receptor, se evidencia la necesidad de ubicar las antenas de manera frontal para obtener una mejor conexión en la señal.

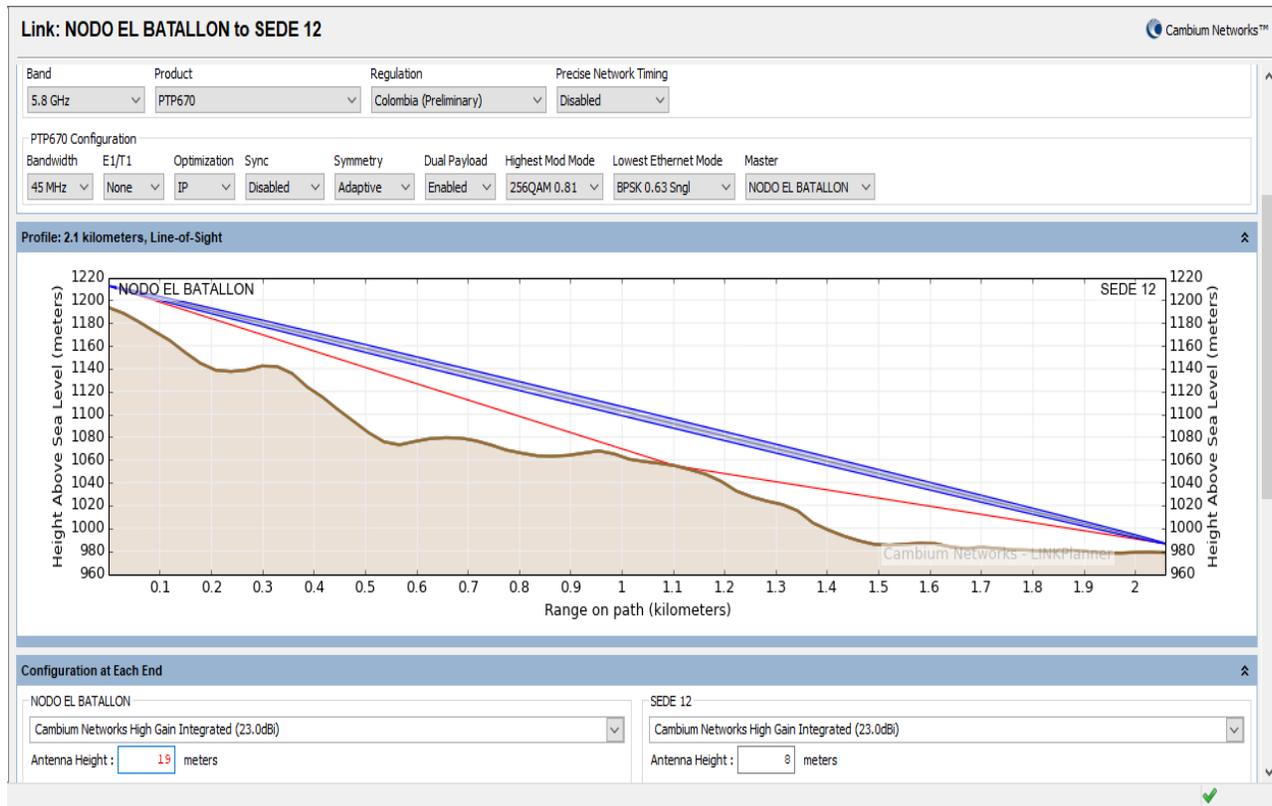


**Figura 21. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 11**

En lo que respecta a la ganancia de la antena, el programa muestra un valor de 23 dB, tanto del lado del receptor como del lado del emisor. También indica que la antena emisora debe estar ubicada a una altura de 17 m desde el suelo y la receptora a una altura de 9 m para poder recibir señal en esta sede.

- **Enlace El Batallón – Sede ID 12**

Este enlace presenta una distancia de 2.1 km entre los dos puntos, donde la altura del terreno del lado del receptor asciende a los 210 mts/snm y el receptor a 980 mts/snm. En lo que respecta a la altura, se observa que el punto emisor se ubica a 1100 mts/snm y el receptor a 980mts/snm. De acuerdo con la figura 22, el terreno, aunque presenta algunas elevaciones que causa reflexión de onda en el 1.1km, éstas no generan graves afectaciones en la trasmisión de la señal.

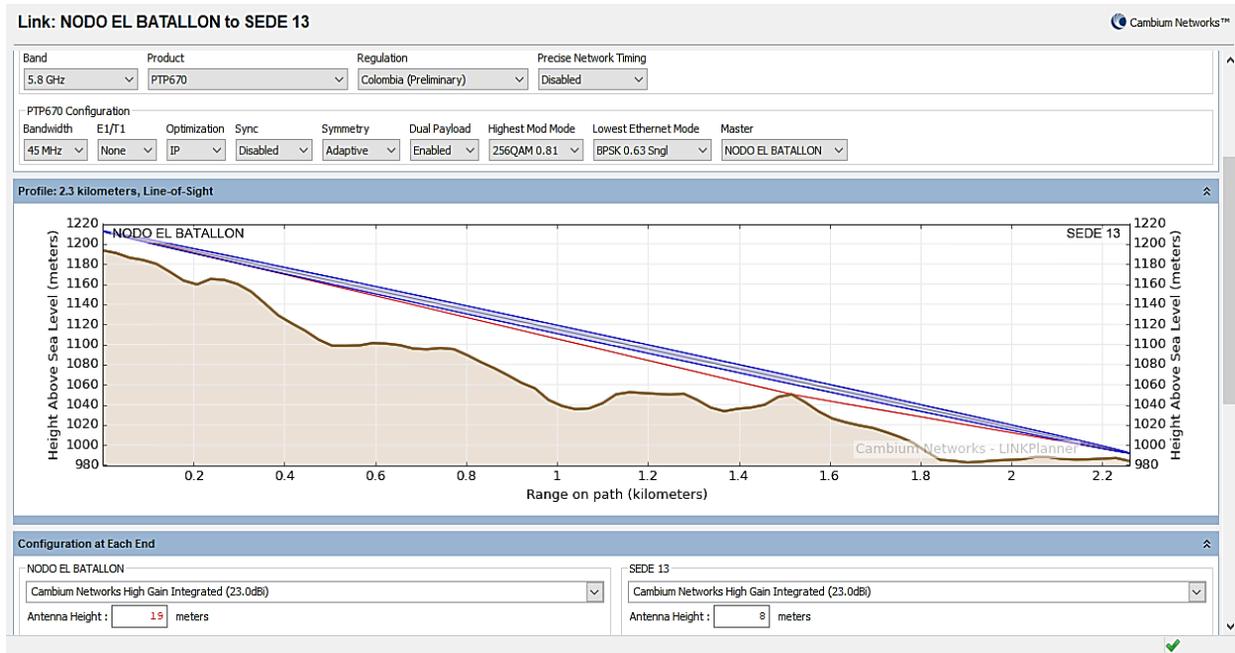


**Figura 22. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 12**

En lo que respecta a la altura de las antenas, del lado receptor debe estar ubicada a 17m del suelo y la receptora a 980 m, de tal manera que se pueda obtener una vista frontal de las mismas.

- **Enlace El Batallón – Sede ID 13**

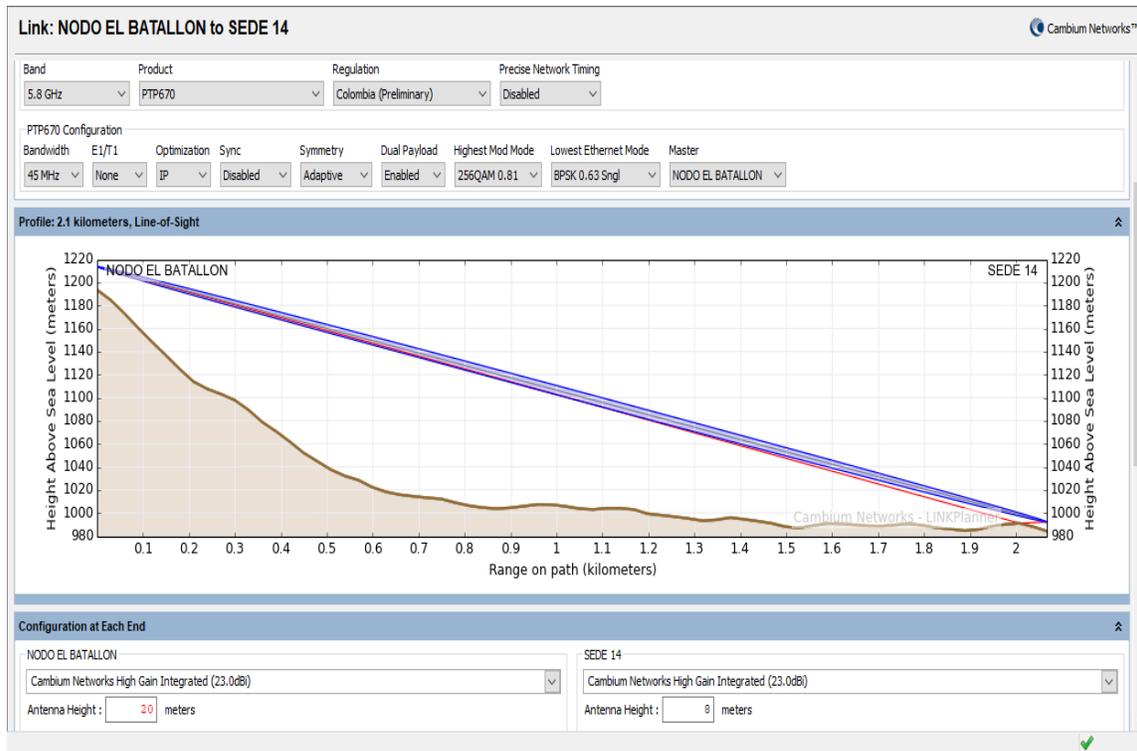
Este enlace presenta una distancia de 2.3 km, se caracteriza porque el terreno presenta una inclinación importante entre el 1.5 kilómetro y 1.6 kilómetro, causando una reflexión de onda. Pese a esta elevación, se observa que existe una línea de vista despejada al igual que la zona de Fresnel, lo cual resulta positivo para la transmisión de la señal. De acuerdo con la figura 23, se requiere que la antena emisora esté ubicada a una altura de 17 m del suelo y la receptora a 9 m. Además, es necesario realizar una ubicación frontal de las mismas. La imagen también muestra una ganancia de antena obtenida de 23 dB en ambos puntos del enlace lo cual resulta suficiente para lograr la transmisión de señal para esta sede.



**Figura 23. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 13.**

- **Nodo El Batallón – Sede ID 14**

Esta sede a diferencia de la anterior, presenta una distancia de 2.1 km entre los dos puntos; un terreno ondulado con una línea vista y una zona de Fresnel despejada, con una pequeña reflexión de onda a 2 km de distancia. La figura 24 también muestra que la altura de la antena en el punto emisor debe ser mínimo de 17 m de la tierra y la receptora a 8 m, para que se puede establecer conexión de la señal.



**Figura 24. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 14**

- **Nodo el Batallón –Sede ID15**

Este enlace tiene como objetivo transmitir la señal a la sede ID 6; en una distancia de 1.9 km, donde se observa un terreno ondulado con elevaciones poco pronunciadas, lo cual permite una línea de vista despejada y una zona de Fresnel libre de obstrucciones que puedan afectar la calidad de la señal.

De acuerdo con la figura 25, el simulador muestra que la antena emisora debe ser ubicada en una altura de 14 m del suelo y la receptora a 8 m. Cabe resaltar que, aunque existe reflexión a 2.3 km, éste no representa ninguna afectación en la recepción de la señal, ya que la zona de Fresnel se encuentra despejada. Así mismo, la antena receptora debe estar ubicada a 14 m de altura del suelo y la receptora a 9 m para obtener una ganancia de antena de 23 dB.



**Figura 25. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 15**

- **Nodo El Batallón – Sede ID 16**

Es de resaltar que el punto emisor se ubica a una altura de 1210 mts/snm y el receptor a 980 mts/snm, lo que permite obtener una ganancia de antena de 23 dB en ambos puntos. La antena emisora debe estar ubicada a una altura de 14 m y la receptora a una distancia de 8 m. Cabe recordar que este enlace no presenta reflexiones de onda, por tanto, es viable la transmisión de la señal entre los dos puntos, como se observa en la figura 26.

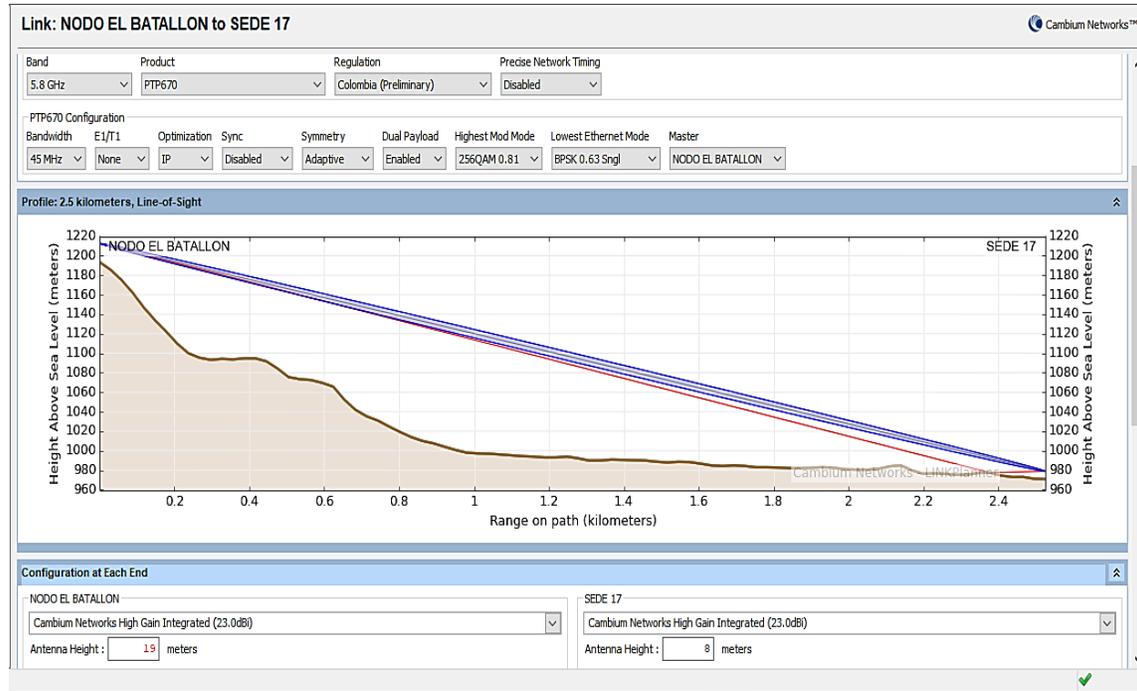


**Figura 26. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 16**

- **Nodo El Batallón –Sede ID 17**

De acuerdo con el simulador, este enlace presenta una distancia de 2.6 km, donde el emisor se ubica a una altura de 1.210 mts/snm y el receptor a una altura de 980 mts/snm. Como se observa en la figura 26 se cuenta con una línea de vista directa y una reflexión de onda a 2.4 km, la cual no genera ningún impedimento para la transmisión de la señal, ya que la zona de Fresnel se encuentra despejada.

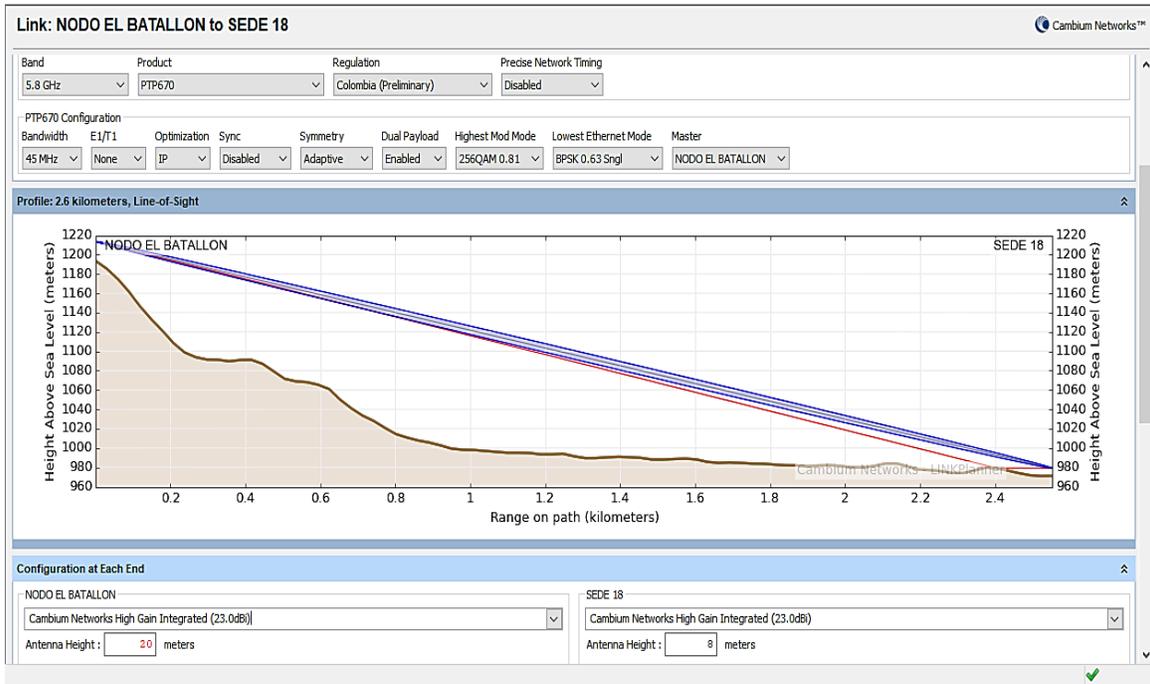
Asimismo, el simulador indica que la antena emisora debe ubicarse a una altura de 17 m del suelo y la receptora a 9 m para que se pueda realizar la transmisión de la señal en esta Sede Educativa.



**Figura 27. Simulación enlace Nodo El Batallón-sede ID 17**

- **Nodo El Batallón – Sede ID 18**

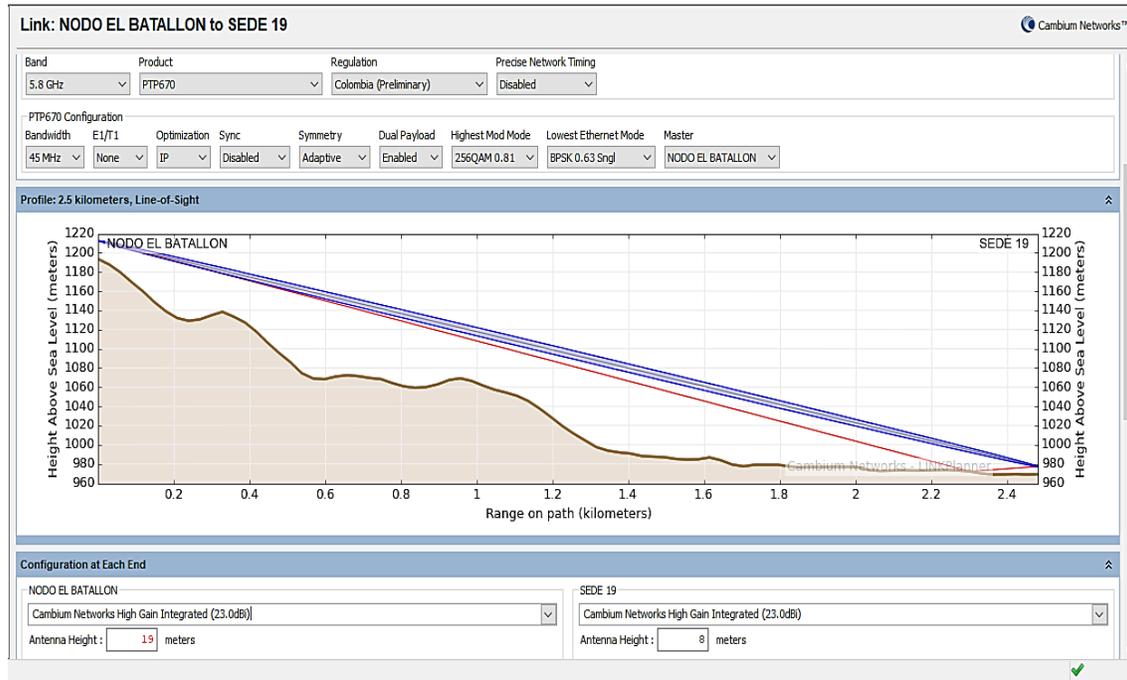
Este enlace tiene una longitud de 2.6 km entre los dos puntos, donde el emisor se encuentra situado a 1.210 mts/snm y la receptora a 980 mts/snm, en un terreno ondulado que permite una línea vista directa y una reflexión de onda a 2.4 km, sin generar limitación en la trasmisión de la señal, dado que la primera zona de Fresnel se encuentra libre. De acuerdo con esta simulación la antena emisora debe estar situada a 14 m de altura y la receptora a 9 m, con una ganancia de antena de 23 dB como se muestra en la figura 28.



**Figura 28. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 18**

- **Nodo el Batallón –Sede ID 19**

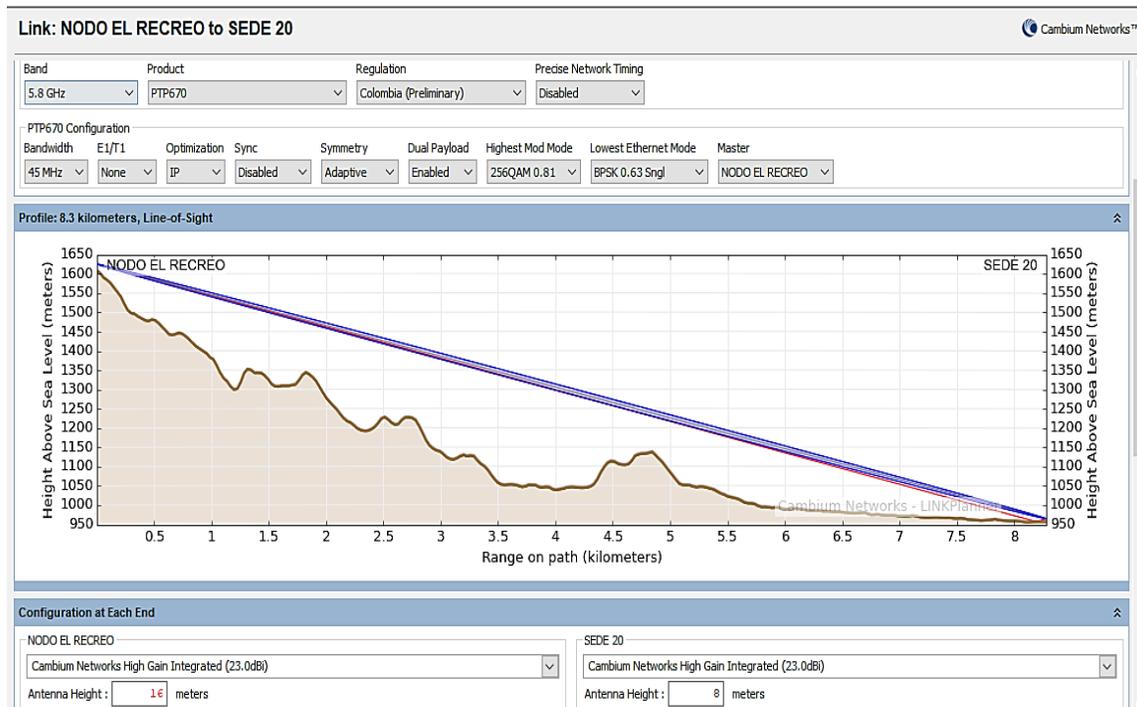
Este enlace presenta una distancia punto a punto de 2.6 km, donde se observa un terreno poco ondulado con elevaciones poco pronunciadas que no interfieren en la línea vista, aunque se presenta una reflexión de onda a 2.3 km, no es impedimento para la transmisión de la señal, dado que la primera zona de Fresnel se encuentra libre de obstáculos. Según la figura 29, la antena emisora debe estar ubicada como mínimo a 17 m de altura desde el suelo y la receptora a 9 m, con una ganancia de antena de 23 dB en ambos puntos.



**Figura 29. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 19**

- **Nodo El Recreo - Sede ID 20**

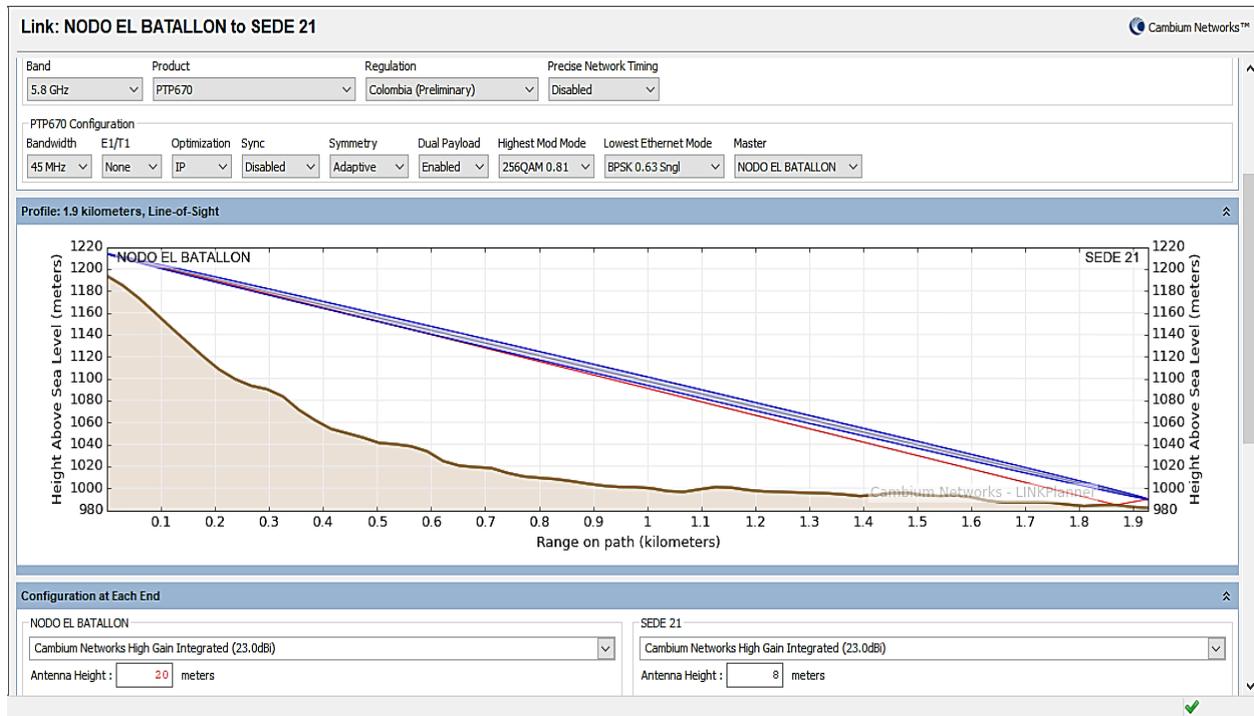
Este enlace a diferencia de los anteriores presenta una particularidad en la conexión, ya que el punto emisor no se ubica en el nodo El Batallón sino directamente desde el nodo El Recreo, dado que la Sede Educativa se encuentra más próxima a esta zona, como se observa en la figura 30.



**Figura 30. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 20.**

- **Nodo El Batallón – Sede ID 21**

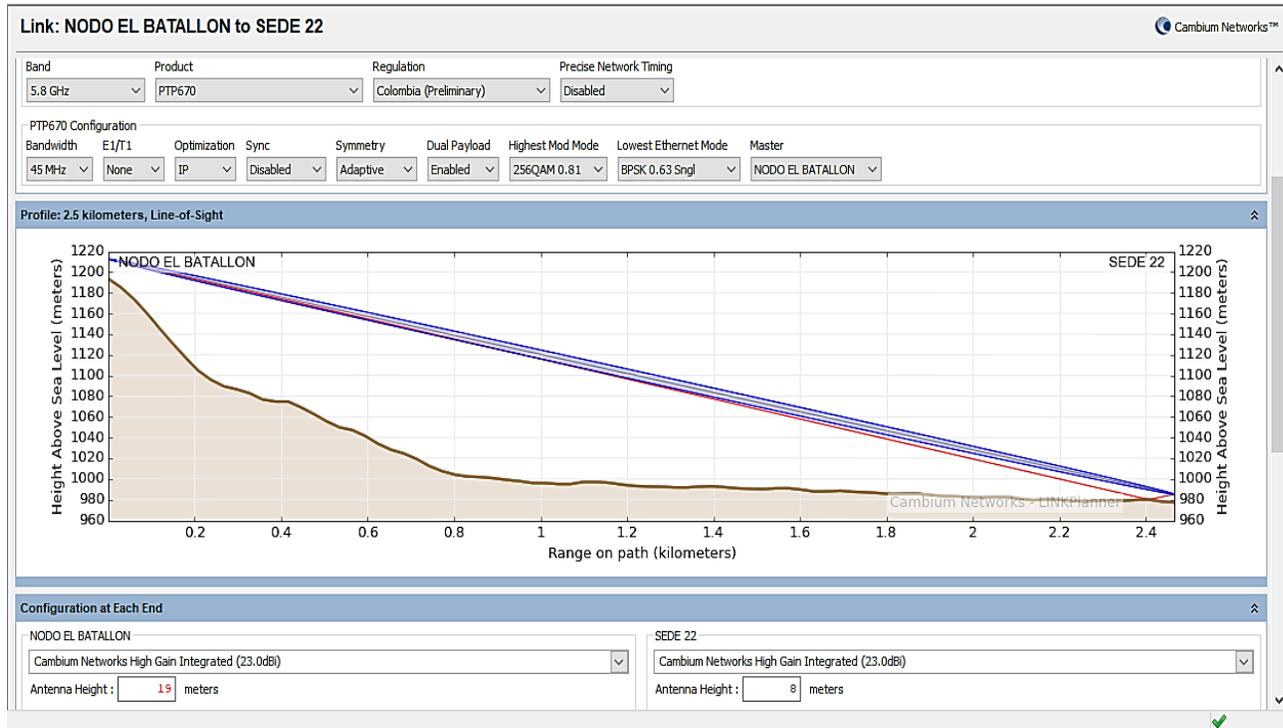
Este nodo presenta una distancia de 1.3 km, en un terreno ondulado con una línea vista completamente despejada y una zona de Fresnel libre de obstáculos, brindando amplias posibilidades para la implementación del radioenlace. Cabe destacar que se presenta una reflexión de onda a 1.9 km, pero no es limitante al momento de transmitir la onda. En lo que respecta a la altura de las antenas el programa sugiere localizar la antena emisora a 14 m del suelo y la receptora a 9 m, de tal manera que la señal sea transmitida sin ningún problema, como se observa en la figura 31.



**Figura 31. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 21**

- **Nodo El Batallón – Sede ID 22**

Este enlace se caracteriza por presentar una longitud de 2.6 km, presenta una topografía ondulada donde el punto emisor se ubica a una altura de 12010 mts/snm, y el receptor a 980 mts/snm. Como se observa en la figura 31, el programa indica que la antena emisora debe estar ubicada a 17 m del suelo y la receptora a 9 m, para disminuir la reflexión de onda que se presenta a 2.4 km.



**Figura 32. Simulación enlace nodo El Batallón-sede ID 22**

## 2.4 Diseño de la red de radioenlace

Esta fase comprendió el diseño de las topologías de red con base a las informaciones obtenidas en la fase anterior. Para ello se recurrió a la herramienta de gestión *DUDE beta 4.0*. La figura 33 muestra el diseño de la topología en árbol del nodo Vijes, el cual consta de un *router Mikrotik-RB2011* y una antena transmisora que irradia señal hacia el nodo El Recreo, esta antena es de marca Mimosas B5.

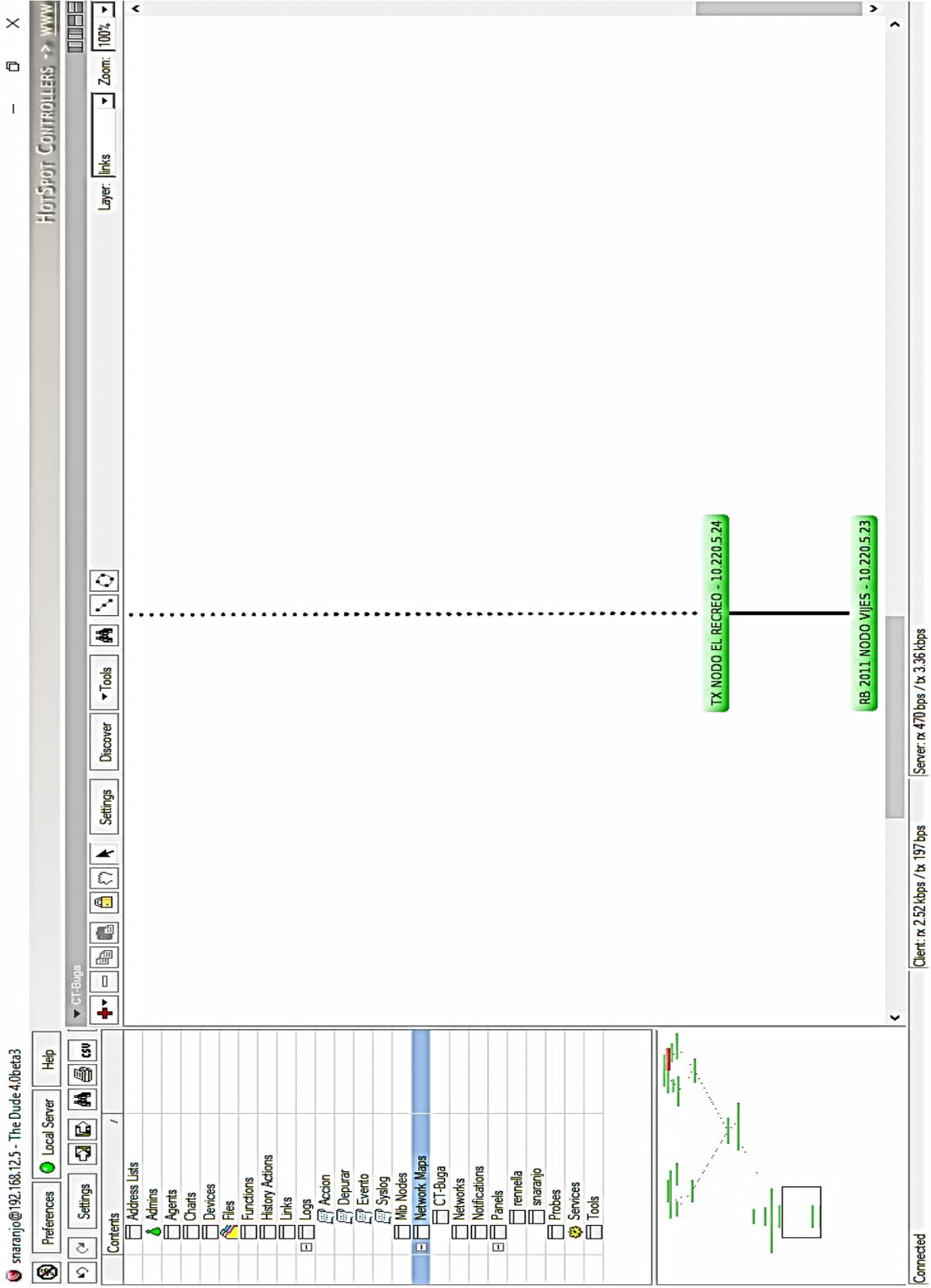


Figura 33. Diseño de la red Nodo Vijos.

En la figura 34 se muestra la topología del nodo El Recreo, el cual consta de un *router Mikrotik-RB2011*, una antena receptora de marca Mimosa B5, una antena que transmite señal hacia el nodo El Batallón, otra antena que irradia la señal hacia Buga donde se conecta la Sede Educativa ID 20 Guadalajara y finalmente, un *router-Mikrotik RB941* para brindar servicio de *internet* al dueño del predio donde se encuentran instalados los equipos de telecomunicaciones.

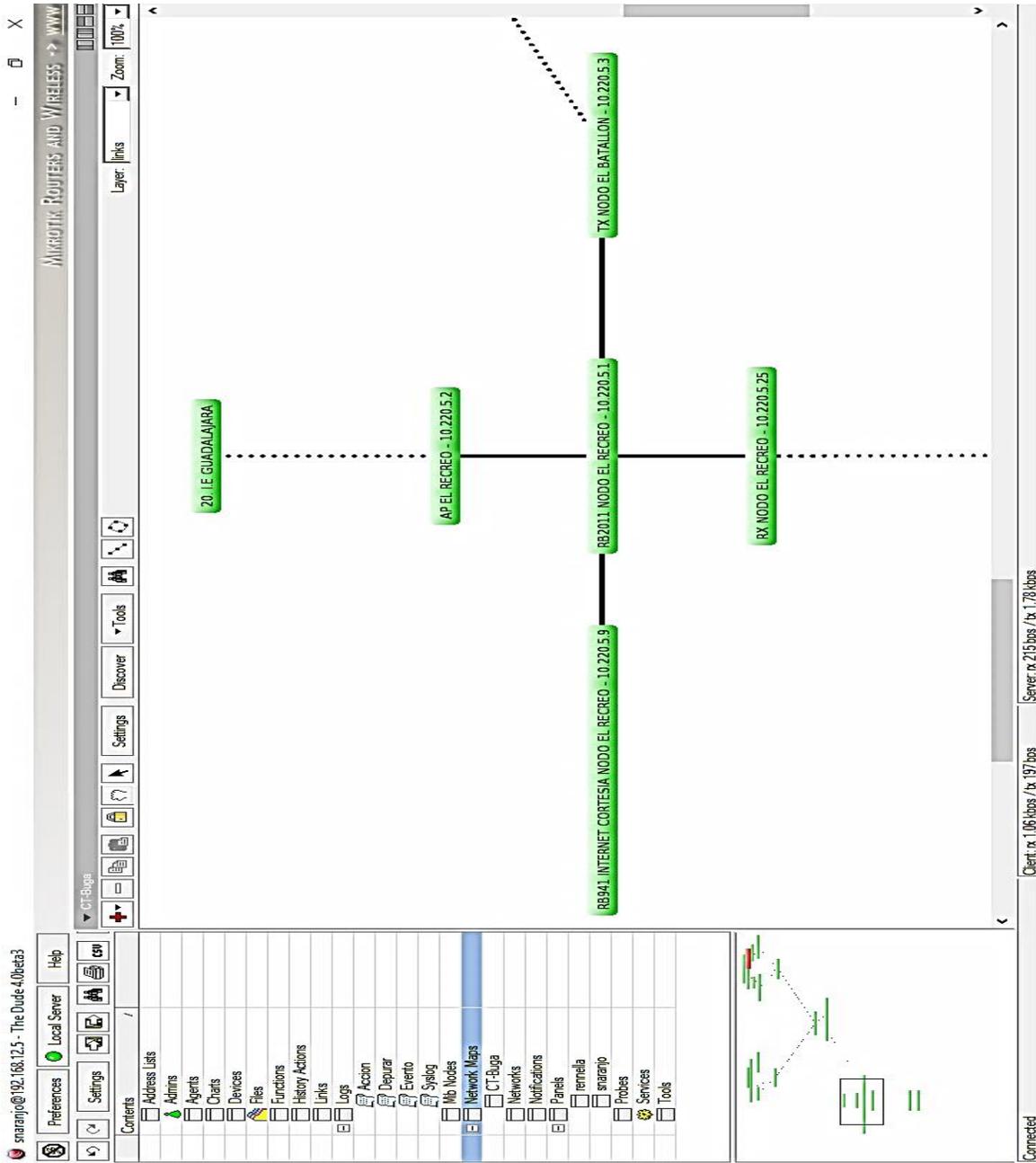


Figura 34. Diseño de la red nodo El Recreo.



## Radioenlace en árbol.

La figura 36 presenta una topología de red en estrella, donde se establece un enlace punto multipunto, a fin de lograr la conexión a las 7 instituciones educativas, a partir de una antena sectorial de 60°. Se observa que la antena de la institución ID 17 Carlos Arturo Cabal se encuentra por fuera de la red (color rojo) debido a que se deshabilitó la interfaz de dicha antena en el *router* principal, con el fin de probar y confirmar las alarmas en la herramienta de monitoreo.

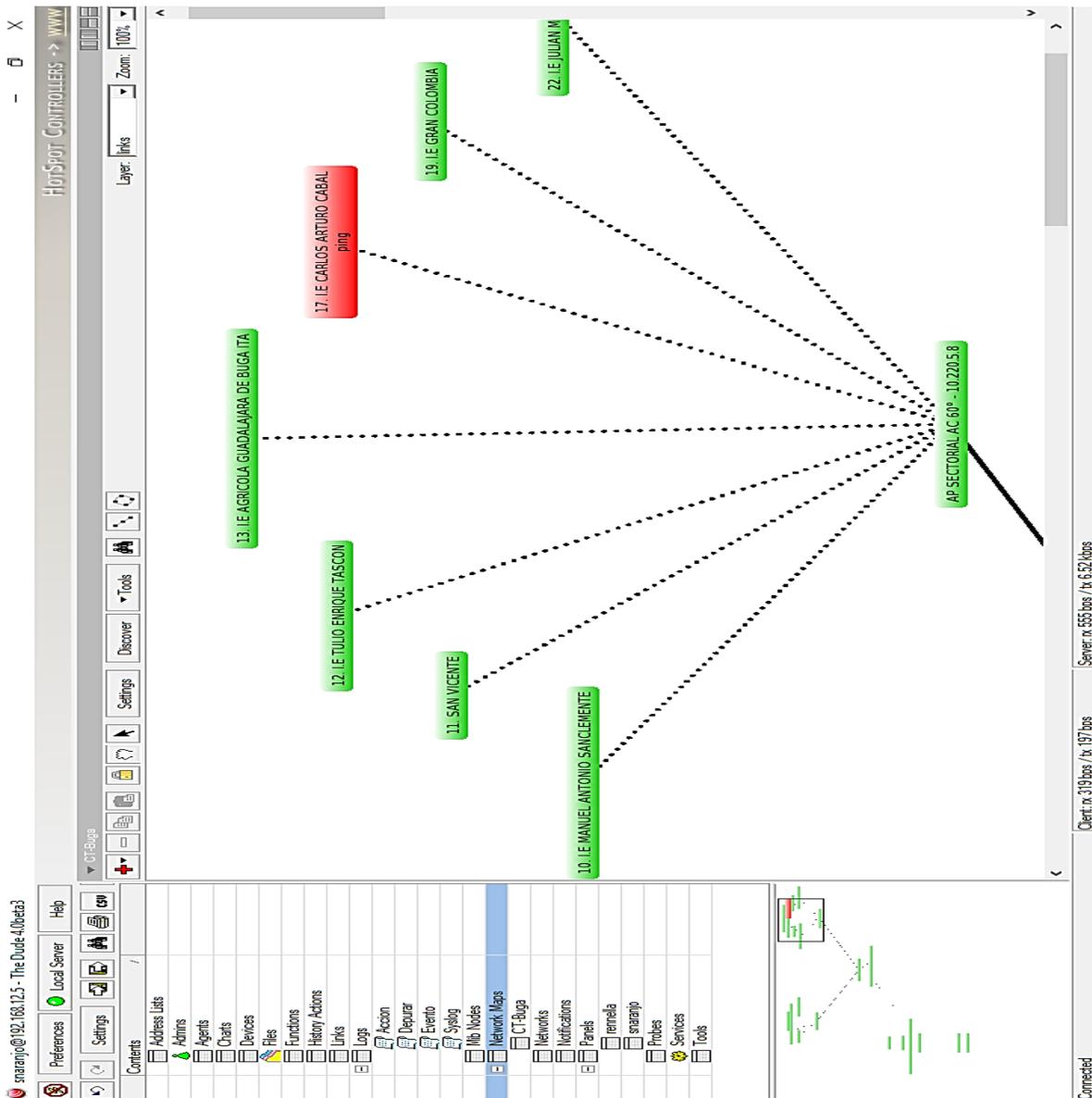


Figura 36. Diseño de la red de las Sedes Educativas zona norte.

La figura 37 presenta una topología en estrella, donde se implementa un enlace punto a multipunto, donde las antenas de 5 instituciones educativas se conectan a la antena sectorial de 90°

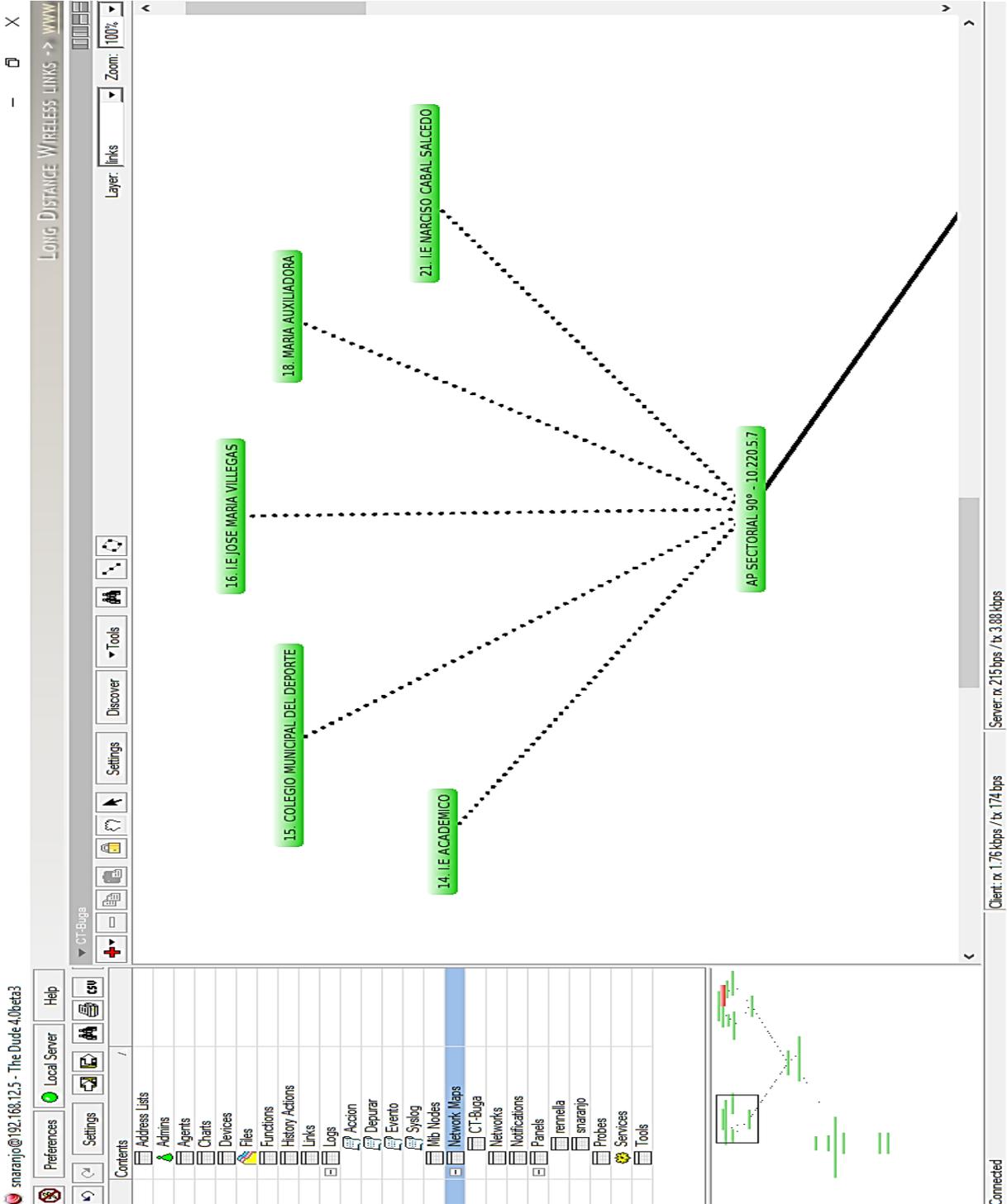


Figura 37. Diseño de la red Sedes Educativas sur.

## Capítulo III. Equipos de telecomunicaciones implementados en el proyecto

### 3.1 Caracterización de los equipos de telecomunicaciones a emplear

Saber identificar correctamente los equipos a utilizar es un asunto importante al considerar un radioenlace, ya que de ello depende en gran parte la eficiencia en la transmisión de la señal. Por ello, para identificar correctamente los equipos fue necesario conocer las principales características de las dos marcas más reconocidas como Ubiquiti y Mimosa para las antenas y Cisco, Mikrotik y TP-Link para los *routers*, como se muestra a continuación en la tabla 7 y 8.

**Tabla 7. Características de las antenas de los equipos Ubiquiti y Mimosa [31]**

MARCA	CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS
<b>UBIQUITI</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fácil Instalación porque no requiere del uso de herramientas ni de una gran habilidad en instalación de antenas para <i>internet</i>.</li><li>• Presenta gran versatilidad ya que se puede implementar como un puente <i>Point-to-point</i>, <i>Point</i> (como conectividad inalámbrica para sistemas de vigilancia en vídeo).</li><li>• Ofrece conectividad Ethernet Dual, dado que puede alimentar un dispositivo externo, como una cámara de seguridad PoE, para una integración perfecta de vídeo IP.</li><li>• Permite un alto rendimiento y redes de <i>multi-point</i> al aire libre. Ofrece funciones como la configuración inalámbrica, configuración de puente o encaminamiento y servicios de administración de sistemas.</li><li>• Personalización, permite personalizar por completo la posición de la antena en una ventana o pared.</li></ul>
<b>MIMOSA</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Permite la conexión a largas distancias y las más altas necesidades de rendimiento, utiliza B5c con un disco de antena de doble polaridad.</li><li>• Permite aumentar la ganancia de la radio C5x con el sistema de acoplamiento "<i>Twist-On</i>".</li><li>• Ofrece z una gran flexibilidad para usar la antena más adecuada. Sin sacrificar el rendimiento, la N5-X25</li><li>• Opera en un amplio rango de frecuencias de 4.9 a 6.4 GHz.</li></ul>

**Tabla 8. Características de los *routers* de la marca Cisco, Mikrotik y TP-Link [32].**

MARCA	CARACTERISTICAS
<b>CISCO</b>	Distribución automática de servicios, implementación, administración, uso y soporte más sencillos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguridad integrada</li> <li>• Robustez integrada</li> <li>• Estándares abiertos e innovación</li> <li>• Sistema integrado de extremo a extremo que ofrece menor costo total de propiedad y protección de la inversión</li> </ul>
<b>MIKROTIK</b>	Es más fácil su configuración. Mikrotik es más potente y flexible.
<b>TP-LINK</b>	Presenta alta capacidad hasta de 5Ghz Diseño atractivo Se puede obtener a bajo costo

### 3.1.1 Especificaciones técnicas de los equipos

#### Equipos para el Nodo de Vijos

Para este nodo fue necesario utilizar los siguientes equipos: una antena transmisora con su respectivo radio y un *router* como se expone en la tabla 9.

**Tabla 9. Equipos para el Nodo de Vijos.**

Dispositivo transmisor Mimosa Tx (El Recreo)	<b>Radio B5c mimosa</b> Distancia máxima hasta 30 km con línea de vista plena. Distancia máxima velocidad hasta 10 km con línea de vista plena. La capacidad en Mbps depende de la distancia del enlace. Rango de frecuencia de parabólica: 4.8 - 6.5 GHz. Rango de frecuencia de radio: 4.9 - 6.4 GHz.
	<b>Antena: Roket dish 5G34, 34dBi</b> Rango de frecuencia: 4.9 - 5.8 GHz. Polarización: Dual. Ganancia: 34 dBi. Dimensiones: 1050 x 1050 x 421 mm.

	Peso: 13.5 kg. F/B Ratio: 42 dB.
<i>Router</i>	<b>RB 2011 MIKROTIK</b> Dimensiones 214mm x 86mm para PCB Sistema operativo RouterOS Rango de temperatura de funcionamiento -35C a + 65C Consumo máximo de energía 11W 1 Puerto SFP Procesador de red Atheros 600MHz 74K MIPS, 128 MB de RAM, 5 puertos LAN Gigabit, 5 puertos LAN Fast Ethernet y fuente de alimentación 24V 1.2Amperios

- **Nodo El Recreo**

El nodo El Recreo es el encargado de recibir la señal del nodo de Vijes y al mismo tiempo transmitirla al nodo El Batallón, este último muy próximo a las Sedes Educativas. Para este propósito fue necesario utilizar los siguientes equipos: una antena receptora, una antena emisora, un AP 5.2 y un *router*, como se describe en la tabla 10.

**Tabla 10. Nodo que conecta El Recreo.**

<b>Dispositivo receptor RX</b>	<b>Radio:</b> Radio B5C mimosa 1 Antena parabólica TXP-D4865-28-SMA de 28 dB. Distancia promedio máxima hasta 20 km con línea de vista plena. Distancia promedio para máxima velocidad hasta 10 km con línea de vista plena. La capacidad en Mbps depende de la distancia del enlace. Rango de frecuencia de parabólica: 4.8 - 6.5 GHz. Rango de frecuencia de radio: 4.9 - 6.4 GHz.
	<b>Antena:</b> Rocket dish 5G34, 34dB Rango de frecuencia: 4.9 - 5.8 GHz. Polarización: Dual. Ganancia: 34 dB. Dimensiones: 1050 x 1050 x 421 mm. Peso: 13.5 kg. F/B Ratio: 42 dB.
<b>Tx (El Batallón)</b>	<b>Radio Rocket 5 AC Lite</b> Frecuencia de operación en el mundo: 5170 – 5875 MHz EE.UU.: 5725 – 5850 MHz Interfaz de red (1) Puerto Ethernet 10/100/1000

	<p>Conectores RF (2) RP-SMA (impermeable)  LEDs Potencia, LAN, (4) Intensidad de la señal  Max. 8.5 W Consumo de energía  Fuente de alimentación de 24V, adaptador PoE Gigabit 0.5A (Incluido)  Método de alimentación Passive PoE (pares 4, 5 +, 7, 8 de Retorno)  Temperatura de funcionamiento -40 a 80 ° C (-40 a 176 ° F)</p>
	<p><b>Antena: Rocket dish 5G31 AC, 31 dB</b>  Rango de frecuencia: 5.1 – 5.8 GHz  Ganancia: 31 dB  Polarización: Dual  Compatible con radios RocketM5 y Rocket5ac.  Mayor aislamiento y relación Front-to- Back.</p>
<p><b>AP 5.2 Tx (Buga)</b></p>	<p><b>Radio: Rocket 5 AC Lite</b>  Frecuencia de operación en el mundo: 5170 – 5875 MHz EE.UU.: 5725 – 5850 MHz  Interfaz de red (1) Puerto Ethernet 10/100/1000  Conectores RF (2) RP-SMA (impermeable)  LEDs Potencia, LAN, (4) Intensidad de la señal  Max. 8.5 W Consumo de energía.  Fuente de alimentación de 24V, adaptador PoE Gigabit 0.5A (Incluido)  Método de alimentación Passive PoE (pares 4, 5 +, 7, 8 de Retorno)  Temperatura de funcionamiento -40 a 80 ° C (-40 a 176 ° F)</p>
	<p><b>Antena: Rocket dish 5G34, 34. dB</b>  Características de la antena:  Rango de frecuencia: 4.9 - 5.8 GHz.  Polarización: Dual.  Ganancia: 34 dB.  Dimensiones: 1050 x 1050 x 421 mm.  Peso: 13.5 kg.  F/B Ratio: 42 dB.</p>
<p><b>Router: Mikrotik RB 2011</b></p>	<p><b>RB 2011 MIKROTIK</b>  Dimensiones 214mm x 86mm para PCB  Sistema operativo RouterOS  Rango de temperatura de funcionamiento -35C a + 65C  Consumo máximo de energía 11W  1 Puerto SFP  Procesador de red Atheros 600MHz 74K MIPS,  128 MB de RAM,  5 puertos LAN Gigabit,  5 puertos LAN Fast Ethernet y  fuente de alimentación 24V 1.2Amperios</p>

## Nodo El Batallón

El nodo El Batallón tiene como objetivo recibir la señal del nodo El Recreo y transmitirla a las Sedes Educativas. Por tal razón, se utilizaron dos dispositivos de transmisión (antenas sectoriales), uno de recepción y un *router*, como se expone en la tabla 11.

**Tabla 11. Nodo el Batallón.**

<b>Dispositivo de recepción RX</b>	<p><b>Radio: Rocket 5Ac Prism</b>  Rango de operación (5150 - 5875 MHz) depende del país.  Procesador Atheros MIPS.  Radio de administración en 2.4 GHz.  Alimentación: 24 VDC, 1 A. Adaptador PoE Gigabit.  Dimensiones: 88 x 230 x 40 mm.  Temperatura de Operación: -40°C a 80°C.</p>
	<p><b>Antena: Rocket 5 AC Lite 5G 30,30dB</b>  Rango de frecuencia: 5.1 - 5.9 GHz.  Polarización: Dual.  Ganancia: 30 dB.  Dimensiones: 650 x 650 x 386 mm.  F/B Ratio: 30 dB.</p>
<b>AP sectorial 60° TX (Sedes)</b>	<p><b>Radio Rocket AC Lite</b>  Ofrece Alto grado de flexibilidad en la configuración de los anchos de banda de los canales, de 20, 40, 50, 60 y/o 80 MHz.  Requiere una modulación densa como 256QAM, un incremento significativo de 64QAM.  Soportan hasta 450Mbps de rendimiento real TCP/IP.</p>
	<p><b>Antena: AM 5AC2-60,2dB</b>  Dimensiones: 750 x 173 x 78 mm (29.53 x 6.81 x 3.07")  Frecuencia: 5.15 - 5.85 GHz  Ganancia: 21 dB  HPOL Beamwidth 60° (6 dB)  VPOL Beamwidth 60° (6 dB)</p>
<b>AP sectorial 90°Tx(sedes)</b>	<p><b>Radio: Radio Rocket 5 AC Lite</b>  Ofrece alto grado de flexibilidad en la configuración de los anchos de banda de los canales, de 20, 40, 50, 60 y/o 80 MHz.  Requiere una modulación densa como 256QAM, un incremento significativo de 64QAM.  Soportan hasta 450Mbps de rendimiento real TCP/IP.</p>
	<p><b>Antena: AM 5G-17-90</b>  Antena sectorial para radio estaciones, base airMAX de 90 grados de cobertura horizontal, 5 GHz (4.90-5.85 GHz) de 17 dB.  Doble Polaridad Simultánea (Vertical y Horizontal).  Rango de frecuencia: 4.90-5.85 GHz.  Ganancia: 17 dB.  Dimensiones: 367 x 63 x 41 mm.</p>

<b>Router Mikrotik RB 2011</b>	<b>RB 2011 MIKROTIK</b> Dimensiones 214mm x 86mm para PCB Sistema operativo RouterOS Rango de temperatura de funcionamiento -35C a + 65C Consumo máximo de energía 11W 1 Puerto SFP Procesador de red Atheros 600MHz 74K MIPS, 128 MB de RAM, 5 puertos LAN Gigabit, 5 puertos LAN Fast Ethernet y fuente de alimentación 24V 1.2Amperios
------------------------------------	---

### Sedes Educativas

Para conectar a las Sedes Educativas con el nodo El Batallón fue necesario utilizar dos equipos específicos como son una antena receptora y un *router* como se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12. Equipos utilizados para conectar Sedes Educativas.**

<b>Antena receptora Rx</b>	<b>Antena: lite beam M5 Ubiquiti</b> Procesador MIKS 74K Memoria 64 MB Ethernet Puerto 10/100 Ethernet Frecuencia de Operación 5150 - 5875 MHz Ganancia 23 dB Potencia de Transmisión 23 dBm Energía Adaptador PoE a 24V, 0.2 A Max. Consumo de Potencia 4 W
<b>Router</b>	CPU frecuencia nominal: 650 MHz Tamaño de RAM: 32 MB 4 Puertos Ethernet 10/100 Banda de frecuencia: 2.4 GHz Ganancia de antena: 1.5 dB Fuente de alimentación 5V 1 Amperio

## Capítulo IV. Implementación de la red por radioenlaces para brindar el servicio de internet a sedes educativas

### 4.1 Implementación

Esta fase tuvo como objetivo realizar la respectiva instalación de radios y antenas en los puntos establecidos en las fases anteriores, así como la configuración de los equipos utilizados. Para este propósito se contó con el apoyo de personal especializado de la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S, con amplia experiencia en trabajos en altura para la correcta instalación de los dispositivos.

**4.1.1 Nodo Vijos.** Se encuentra ubicado en zona rural del municipio que lleva su nombre, coordenadas latitud: 3.68272 N y longitud: 76.44295 W. Este nodo consta de una torre de 25 m de altura, un *router* principal de marca Mikrotik RB2011, una antena receptora y una antena transmisora; esta última brinda conectividad a usuarios residentes en la zona. En este nodo fue necesario instalar una antena trasmisora marca *Mimosa B5* para garantizar un alcance mínimo de 30 km, con el fin de enviar señal hacia el municipio de Buga como se observa en la figura 38.

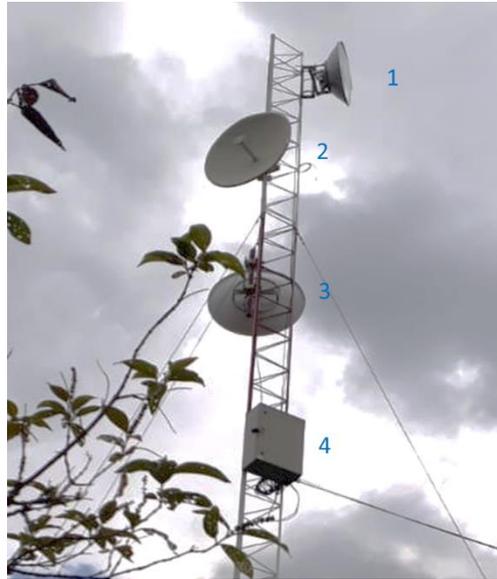


Figura 38. Antena instalada en el nodo Vijos.

**4.1.2 Nodo El Recreo Este.** Se encuentra ubicado en la coordenadas latitud: 3.86738 N y longitud: 76.24705 W. Para el montaje de este nodo fue necesario instalar una torre de 18 m de altura, siendo necesario el apoyo del personal técnico especializado de la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S. En primer lugar, se identificó el punto donde se ubicaría el nodo y posteriormente se verificó que cumpliera con las Normas establecidas por la *ITU* (Unión internacional de telecomunicaciones) las cuales establecen que la torre se encuentre ubicada a 50 m de distancia de la vivienda y cuenta con servicio de energía eléctrica. Una vez analizada la viabilidad del predio, se llegó a un acuerdo con el dueño para el alquiler del lugar donde se ubicaría el nodo. En este orden, se realizó el montaje de una torre de 18 m la cual consta de 6 peldaños de 3.2 m cada uno.

Por último, se procede a instalar los dispositivos de transmisión de señal: el N° 1 fue ubicada a 17 m de altura y su función es transmitir señal para el nodo El Batallón; el N° 2 se ubicó a 16 m de altura y tiene la función de transmitir señal hacia la Sede Educativa ID 20, esto con el fin de contar con un canal de contingencia en caso de que falle uno de los enlaces del nodo El Batallón; la antena N°. 3 fue ubicada a 15 m de altura y se le dio una inclinación de 30° hacia abajo para establecer un enlace más preciso para la recepción de la señal del nodo de Vijes.

En este nodo también se instaló un *router* que a su vez cuenta con un multitoma para la alimentación de energía y para suministrarle a las antenas. Este *router* es el encargado de brindar conectividad al cableado como se observa en la figura 39.



**Figura 39. Instalación de antena nodo El Recreo**

**4.1.3 Nodo El Batallón.** Se encuentra ubicado en la latitud: 3.89480 N y longitud: 76.28018 W. Para la ubicación de este nodo fue necesario visitar las instalaciones de El Batallón, logrando identificar una torre emisora al verificar que cumplía con la Norma ITU, anteriormente mencionada, se procedió a negociar los permisos para la instalación de los equipos.

Adicionalmente, como se observa a continuación en la figura 39, el dispositivo N° 1 es transmisora sectorial de 90°, ubicado a 20 m de altura, la cual tiene como función brindar cobertura a las instituciones educativas ubicadas en la zona sur. La N° 2, es una antena transmisora sectorial de 60° ubicada a 19.5 m, la cual tiene la función de brindar cobertura a las instituciones ubicadas en la zona norte. La N° 3, es una antena que recibe señal del nodo El Recreo y tiene una inclinación de 30° hacia arriba y se encuentra ubicada a 19 m de altura.



**Figura 40. Instalación dispositivo nodo El Batallón**

Igualmente, en las figuras 40 y 41 a seguir, se aprecia la línea de vista del nodo El Batallón hacia las Sedes Educativas (sectorial de 90°).



**Figura 41. Línea de vista del nodo El Batallón hacia las sedes educativas (sectorial de 90°)**



**Figura 42. Línea de vista del nodo El Batallón hacia las sedes educativas (sectorial de 90°)**

Vale la pena mencionar, que, al nodo de El Batallón, también se le instaló un *router* donde se conectó el cableado que llega desde las antenas, el cual fue instalado en el cuarto de equipos de El Batallón; consta de un multitoma para su alimentación de energía y brindarles alimentación a las antenas como se observa en la figura 42.



**Figura 43. Router nodo El Batallón**

## 4.2 Instalación de equipos en sedes educativas

Para el proceso de instalación de equipos en las Sedes Educativas, inicialmente se identificó un punto alto que tuviera línea de vista con las antenas del nodo El Batallón y a su vez que ese punto estuviera cercano al aula de sistemas. Esto con el fin de garantizar que la longitud del cable UTP para exteriores entre antena y *router* no excediera los 100 m para evitar pérdidas en la transmisión de la señal.

Una vez identificado el punto, se procedió con la instalación de un mástil para el soporte de las antenas marca *Ubiquiti lite Beam M5*, a una altura promedio de 8 m. Para la conexión entre antena y *router* se utilizó cable UTP categoría 5e para exteriores y conectores RJ45.

Por otra parte, en el aula de sistemas se instaló un *router* de la marca *Mikrotik RB 941*, el cual posee cuatro (4) puertos *ethernet*, uno de ellos se establece como *WAN* y los 3 restantes como *LAN*, con el propósito de enrutar los datos. Este equipo, brinda conectividad a través de *WiFi* a los dispositivos, tales como, celulares, *tablets* y portátiles del aula de sistemas como se observa en la tabla 13.

**Tabla 13. Materiales y equipos para cada Sede Educativa.**

REFERENCIA DEL EQUIPO	FIGURA
Ubiquiti Lite Beam M5,	
1 Router marca Mikrotik RB 941	
1 Mástil de 3 m de altura	
80-100 m de cable UTP categoría 5e exteriores (color negro)	
50 m de cable UTP categoría 5e interiores (color blanco)	
Conectores RJ45	

**4.2.1 Configuración de dispositivos.** Se dio inicio con la configuración del *router* principal ubicado en el *backbone* de la empresa, el cual centraliza todo el enrutamiento de la red, estableciéndose dos (2) direcciones de red IPv4; la primera definida como

10.220.5.0/24 con la *VLAN 51* para gestionar los equipos instalados en la red de Buga y la segunda, definida como 10.250.5.0/24 con la *VLAN 50* para brindar navegación.

- **Direccionamiento IP.** En la tabla 14 se presenta el direccionamiento IP asignado a cada nodo y a las Sedes Educativas del proyecto.

**Tabla 14. El direccionamiento IP para los nodos.**

NODO	DIRECCIÓN IP	NOMBRE DEL DISPOSITIVO
Vijes	10.220.5.23	RB2011 nodo Vijes
	10.220.5.24	Tx-nodo El Recreo
El Recreo	10.220.5.1	RB2011 nodo El Recreo
	10.220.5.2	AP El Recreo
	10.220.5.3	Tx nodo El Batallón
	10.220.5.25	Rx nodo El Recreo
	10.220.5.9	RB 941 <i>internet</i> cortesía nodo El Recreo
El Batallón	10.220.5.5	RB 2011 nodo El Batallón
	10.220.5.4	M2 <i>internet</i> cortesía nodo El Batallón
	10.220.5.6	Rx nodo El Batallón
	10.220.5.7	AP sectorial 90°
	10.220.5.8	AP sectorial 60°

En la tabla 15 se presenta el direccionamiento IP de las Sedes Educativas.

**Tabla 15. El direccionamiento IP para las Sedes Educativas.**

ID SEDE	GESTIÓN		NAVEGACIÓN
	IP RADIO	IP MIKROTIK	IP NAVEGACIÓN
10	10.220.5.10	10.220.5.110	10.250.5.10
11	10.220.5.11	10.220.5.111	10.250.5.11
12	10.220.5.12	10.220.5.112	10.250.5.12
13	10.220.5.13	10.220.5.113	10.250.5.13

14	10.220.5.14	10.220.5.114	10.250.5.14
15	10.220.5.15	10.220.5.115	10.250.5.15
16	10.220.5.16	10.220.5.116	10.250.5.16
17	10.220.5.17	10.220.5.117	10.250.5.17
18	10.220.5.18	10.220.5.118	10.250.5.18
19	10.220.5.19	10.220.5.119	10.250.5.19
20	10.220.5.20	10.220.5.120	10.250.5.20
21	10.220.5.21	10.220.5.121	10.250.5.21
22	10.220.5.22	10.220.5.122	10.250.5.22

- **Configuración de dispositivos de emisión y recepción.** Se inició con la configuración ingresando al sistema operativo *AirOS* vía web, a través de la dirección IP 192.168.1.20, establecida por el fabricante. Una vez dentro de la interfaz, se procede a establecer la configuración inalámbrica (*Wireless*) y de red (*Network*). La primera hace referencia a los parámetros que caracterizan el enlace, tales como: modo inalámbrico, *SSID* (*Service Set Identifier*), frecuencia, ancho de canal, potencia, ganancia de antena y seguridad inalámbrica. La segunda, establece el enrutamiento lógico en la red y comprende parámetros entre los que se destacan: modo de red, modo de configuración, interfaz de administración, dirección IP, máscara de red, puerta de enlace, configuración de *VLAN* y configuración de puente (*Bridge*).

- **Configuración inalámbrica (*Wireless*)**

Para la configuración inalámbrica (*Wireless*) de las antenas receptoras se utilizó el modo Estación (*Station*) y para las antenas transmisoras el modo Punto de Acceso (*Access Point*). Los parámetros *SSID*, frecuencia, ancho de canal, potencia, ganancia de antena y seguridad inalámbrica fueron ajustados a los requerimientos de cada nodo. A continuación, en las figuras 44 y 45 se ilustra la configuración de una antena receptora y una antena transmisora.

WIRELESS   NETWORK   SERVICES   SYSTEM

---

**Basic Wireless Settings**

<p>WIRELESS MODE [?] <input type="text" value="Station PTP"/></p> <p>SSID <input type="text" value="bx_nodo_interno"/></p> <p>LOCK TO AP MAC <input type="text"/></p> <p>COUNTRY <input type="text" value="Trinidad and Tobago"/></p> <p>CHANNEL WIDTH <input type="text" value="Auto 20/40/80 MHz"/></p> <p>AUTO CHANNEL WIDTH [?] <input type="checkbox" value="OFF"/></p> <p>CONTROL FREQUENCY SCAN LIST, MHz <input type="checkbox" value="OFF"/></p>	<p>ANTENNA <input type="text" value="RD-5G-30 - 30 dBi"/></p> <p>CALCULATE EIRP LIMIT <input type="checkbox" value="OFF"/></p> <p>ANTENNA GAIN <input type="text" value="30 dBi"/></p> <p>CABLE LOSS <input type="text" value="2 dB"/></p> <p>OUTPUT POWER <input type="text" value="27 dBm"/></p> <p>AUTO ADJUST DISTANCE <input type="checkbox" value="ON"/></p> <p>DISTANCE [?] <input type="text" value="0.4 km"/></p> <p>MAX TX DATA RATE <input type="text" value="Auto"/></p> <p>DATA RATE MODULE <input type="text" value="Default"/></p>
---	---

**Wireless Security**

WPA2 SECURITY  PERSONAL    ENTERPRISE [?]

WPA2 PRESHARED KEY

**Figura 44. Configuración modo estación**

WIRELESS   NETWORK   SERVICES   SYSTEM

---

**Basic Wireless Settings**

<p>WIRELESS MODE [?] <input type="text" value="Access Point PtMP airMAX Mixed"/></p> <p>SSID <input type="text" value="ap2_sectorial"/></p> <p>COUNTRY <input type="text" value="Trinidad and Tobago"/></p> <p>CHANNEL WIDTH <input type="text" value="20 MHz"/></p> <p>CONTROL FREQUENCY LIST, MHz <input type="checkbox" value="OFF"/></p> <p>CENTER FREQUENCY, MHz <input type="text" value="5655 (DFS)"/></p> <p>CONTROL FREQUENCY, MHz <input type="text" value="5655 (DFS)"/></p>	<p>ANTENNA <input type="text" value="AM-5AC21-60 - 21 dBi"/></p> <p>CALCULATE EIRP LIMIT <input type="checkbox" value="OFF"/></p> <p>ANTENNA GAIN <input type="text" value="21 dBi"/></p> <p>CABLE LOSS <input type="text" value="2 dB"/></p> <p>OUTPUT POWER <input type="text" value="27 dBm"/></p> <p>AUTO ADJUST DISTANCE <input type="checkbox" value="ON"/></p> <p>DISTANCE [?] <input type="text" value="0.4 km"/></p> <p>MAX TX DATA RATE <input type="text" value="Auto"/></p> <p>DATA RATE MODULE <input type="text" value="Default"/></p>
---	--

**Wireless Security**

WPA2 SECURITY  PERSONAL    ENTERPRISE [?]

WPA2 PRESHARED KEY

WIRELESS NETWORK PROTECTION [?]

MAC ACL

**Figura 45. Configuración modo punto de acceso**

- **Configuración de red (*Network*).**

Para la configuración de red, todas las antenas del proyecto se configuraron en modo puente (*bridge*), con el fin de garantizar el transporte de datos hasta el enrutador instalado en cada Sede Educativa. Se seleccionó la configuración avanzada (*Advanced*) para etiquetar las *VLAN* de gestión y navegación, las cuales se encapsularon en sus respectivos puentes (*Bridge* gestión y *Bridge* navegación). Adicionalmente, se estableció una dirección IP, su máscara de red y su puerta de enlace, como se observa en la figura 46.

The screenshot shows the Mikrotik WinBox configuration interface for the Network section. The 'NETWORK' tab is selected. Under 'Network Role', 'NETWORK MODE' is set to 'Bridge'. Under 'Configuration Mode', 'CONFIGURATION MODE' is set to 'Advanced'. The 'Management Network Settings' section includes: 'MANAGEMENT INTERFACE' set to 'BRIDGE1 (WLAN0.51, LAN0.51)', 'MANAGEMENT IP ADDRESS' set to 'STATIC' (with 'DHCP' unselected), 'IP ADDRESS' '10.220.5.6', 'NETMASK' '255.255.255.0', 'GATEWAY IP' '10.220.5.1', and 'PRIMARY DNS IP' '8.8.8.8'. There are also toggle switches for 'AUTO IP ALIASING' and 'IPV6', both set to 'OFF'. A 'SAVE CHANGES' button is located at the bottom.

**Figura 46. Configuración de red modo *bridge***

- **Configuración de routers**

Los *routers* instalados en los nodos se configuraron en modo puente, se crearon dos *Bridge*, uno para la *VLAN* 50 de navegación y otro para la *VLAN* 51 de gestión, dentro de estos *Bridge* se agregaron lógicamente las interfaces (puertos) de la *Mikrotik RB2011* para poder conectar las antenas a cada interfaz y que estuvieran sobre la misma red. Además, se asignó una dirección IP de gestión sobre el *Bridge* para poder ingresar al *router*, finalmente, se estableció una ruta para el transporte de datos en la red. A

continuación, en la figura 47 se presenta la configuración de uno de los *routers* instalados en los nodos.

The screenshot shows the Mikrotik WinBox interface. The main window is titled 'Interface List' and displays a table of network interfaces. The table has columns for Name, Type, Actual MTU, L2 MTU, Tx, Rx, Tx Packet (p/s), Rx Packet (p/s), FP Tx, FP Rx, and FP Tx Pa. The interfaces listed include ether1-Rx (Ethernet), wlan214 (VLAN), and several VLANs (vlan50-Navegacion-2, 3, 4, 5 and vlan51-Gestion-2, 3, 4, 5). A 'Ping' dialog box is open in the foreground, showing a successful ping to 8.8.8.8. The ping results table shows 13 items, all with 9ms time, 50 bytes size, and 60 TTL. The status is 'Success' for all.

Seq #	Host	Time	Reply Size	TTL	Status
0	8.8.8.8	9ms	50	60	
1	8.8.8.8	9ms	50	60	
2	8.8.8.8	9ms	50	60	
3	8.8.8.8	9ms	50	60	
4	8.8.8.8	9ms	50	60	
5	8.8.8.8	9ms	50	60	
6	8.8.8.8	9ms	50	60	
7	8.8.8.8	9ms	50	60	
8	8.8.8.8	9ms	50	60	
9	8.8.8.8	9ms	50	60	
10	8.8.8.8	9ms	50	60	
11	8.8.8.8	9ms	50	60	
12	8.8.8.8	9ms	50	60	

**Figura 47. Configuración router nodo El Recreo**

La configuración se estableció en modo *router*, donde la interfaz *ether1* se definió como *WAN* y las interfaces 2, 3, 4 como *WLAN*, se agregó un *Bridge* y se definieron como *LAN*. Además, se agregó una dirección IP para la gestión y otra para la navegación, como se muestra en la figura 48.

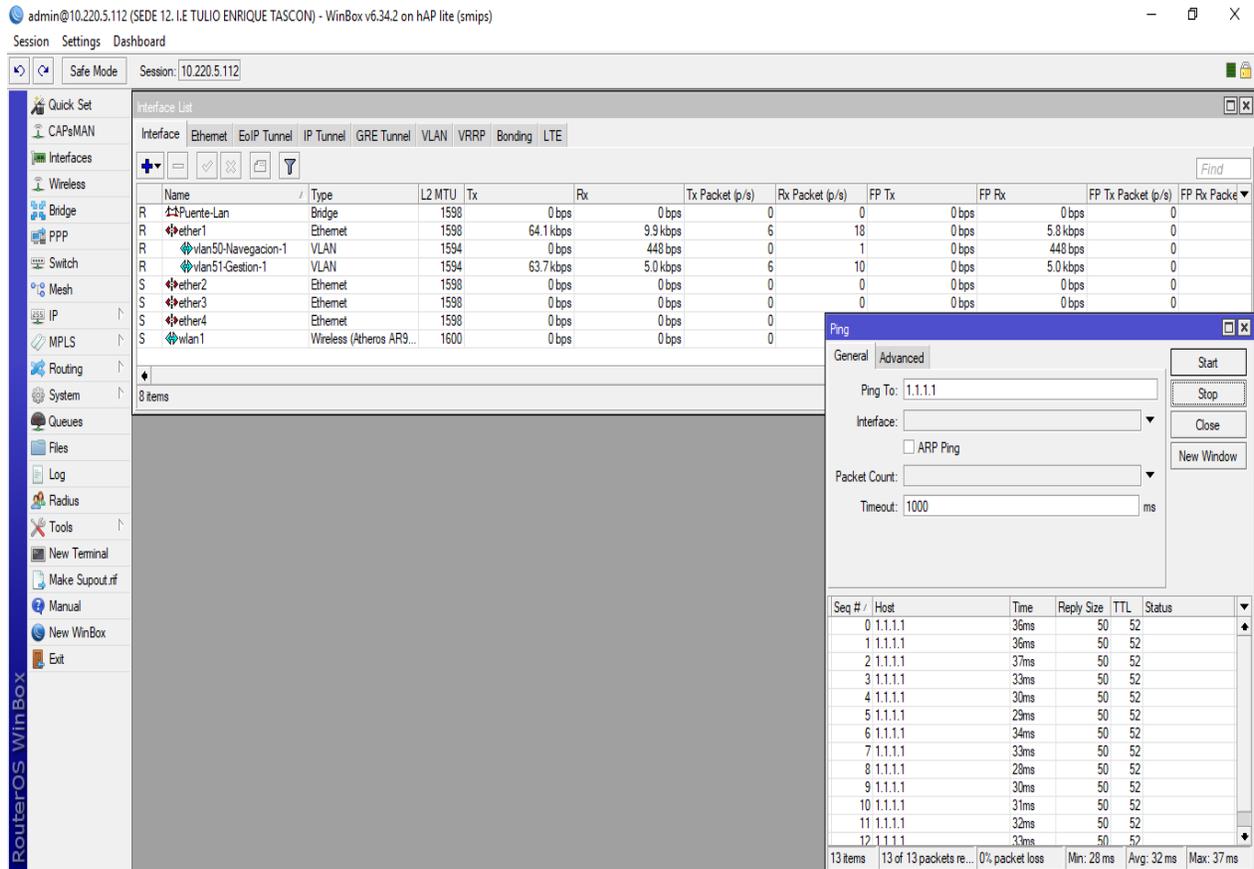


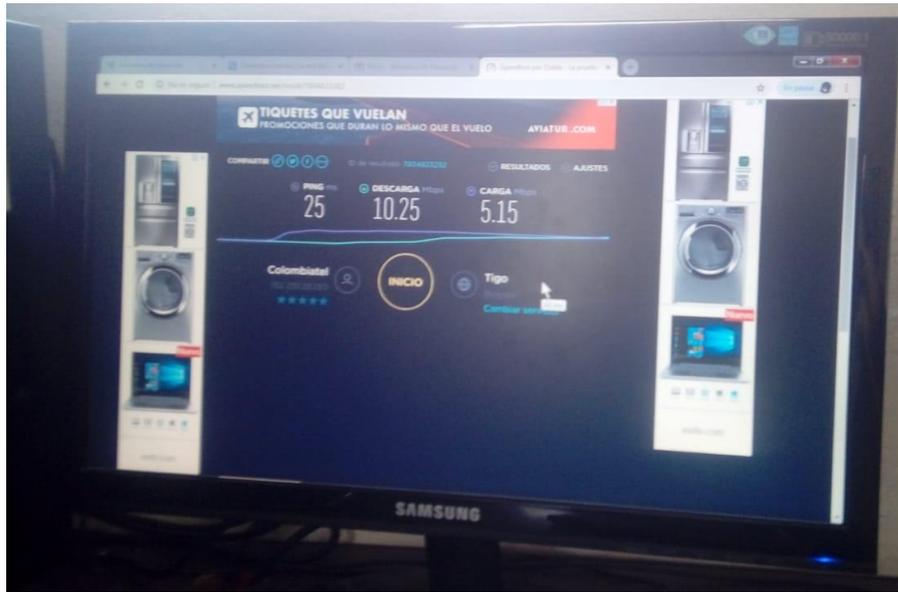
Figura 48. Configuración del router

### 4.3 Pruebas

Esta fase tuvo como propósito verificar la eficiencia del radioenlace instalado, a fin de cumplir con los requisitos mínimos exigidos por el programa “Conexión Total”, con base a variables como velocidad, latencia y usabilidad. Cabe recordar que el programa en mención establece los valores mínimos para cada uno de las categorías mencionadas:

- Velocidad de acceso 10Mbps para cada Sede Educativa
- Asimetría 2:1, es decir, el doble de velocidad en el canal de bajada respecto al de subida
- Reuso 1:1
- Latencia menor o igual a 50 ms

**4.3.1 La velocidad de descarga.** En lo que respecta a este indicador, se puede observar que los valores obtenidos en cada una de las Sedes Educativas están por encima del valor estipulado (10Mbps) en el lineamiento técnico del programa “Conexión Total”. Esto resulta favorable, ya que permitió descargar un mayor volumen de información por parte de los usuarios del servicio como se muestra en la figura 49.

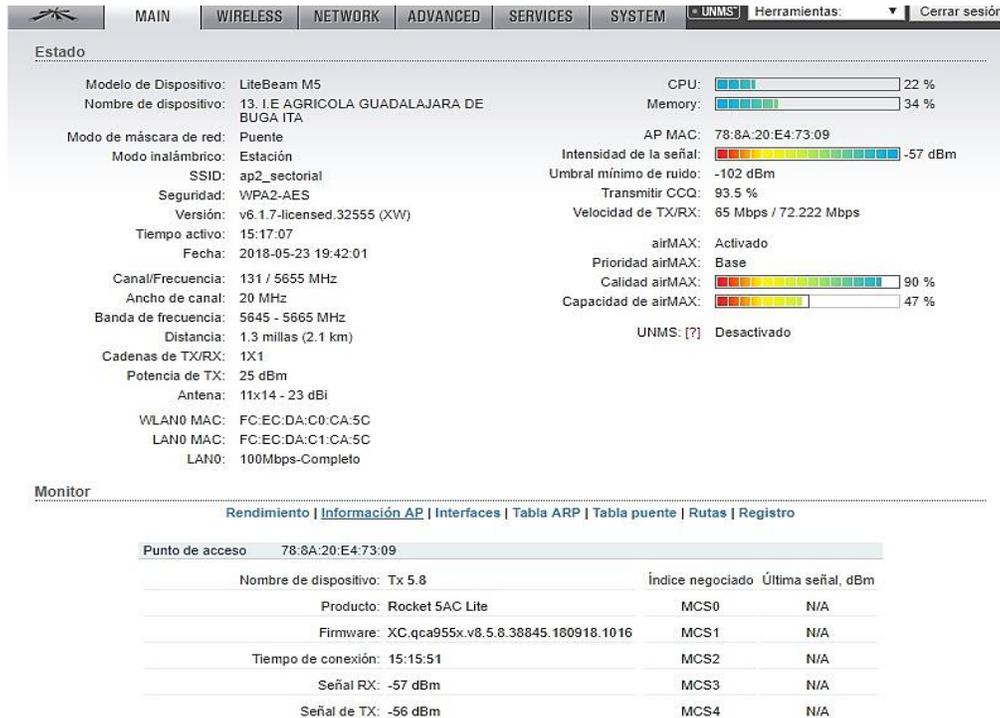


**Figura 49. Velocidad de descarga.**

**4.3.2 La velocidad de carga.** De acuerdo con la figura 50, se evidencia que en las Sedes Educativas ID 16, ID 20 no se cumplió con el mínimo valor exigido (5Mbps), por lo cual fue necesario mejorar la alineación de las antenas, así, se pudo obtener una mejor recepción de la señal, por ende, mejorar la velocidad de carga.



**4.3.4 Señal en recepción.** Respecto a este parámetro, se obtuvieron valores entre los -50 dBm y los -70 dBm, los cuales se encuentran dentro del nivel de sensibilidad (-80 dBm) estipulado en el *datasheet* de la antena *Ubiquiti Lite Beam M5*, la cual fue utilizada para la recepción de señal en las Sedes Educativas como se muestra en la figura 52.



**Figura 52. Señal en recepción**

**4.3.5 Usabilidad.** Una vez terminadas las pruebas técnicas se procede a realizar las pruebas de usabilidad, pidiendo a los representantes de las instituciones que interactuaran a través de *internet*, a fin de verificar el funcionamiento, ingresando en las páginas de Colombia Aprende, MEN y Secretaria de Educación Municipal. El resultado obtenido fue positivo ya que no hubo contratiempos al momento de ingresar a dichos sitios como se evidencia en las figuras 53,54 y 55.

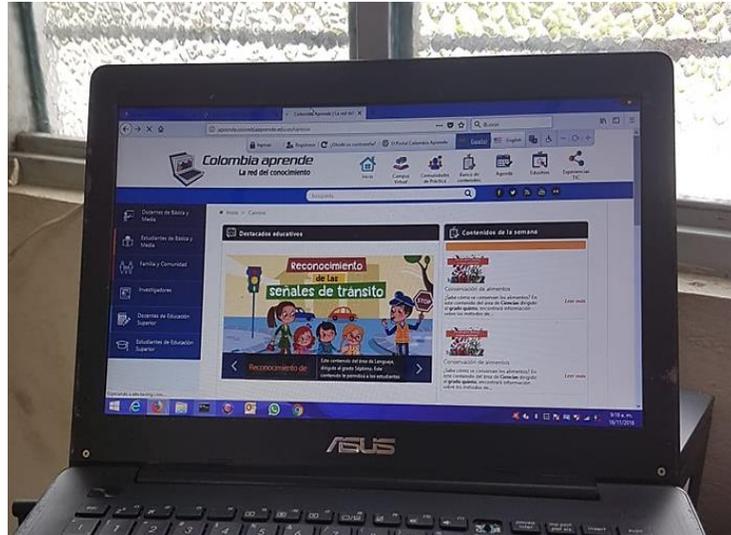


Figura 53. Pruebas de usabilidad de la página Colombia aprende

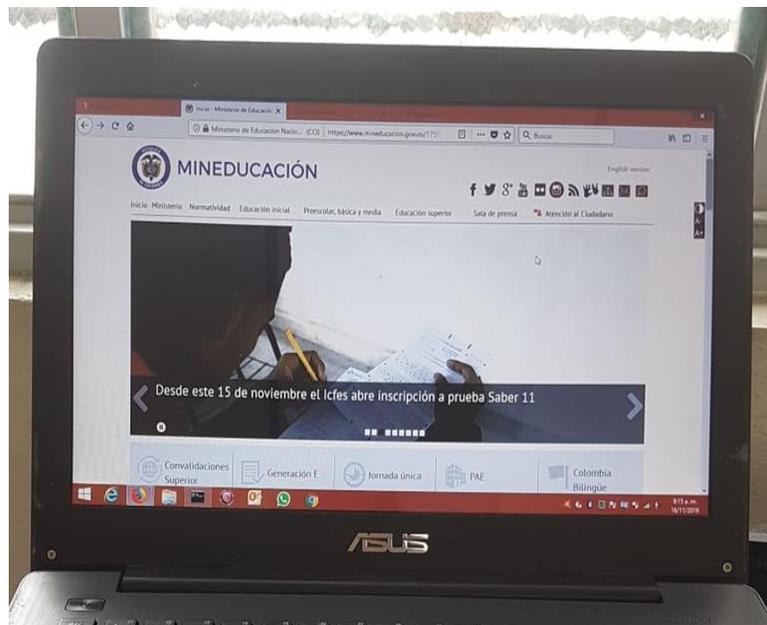
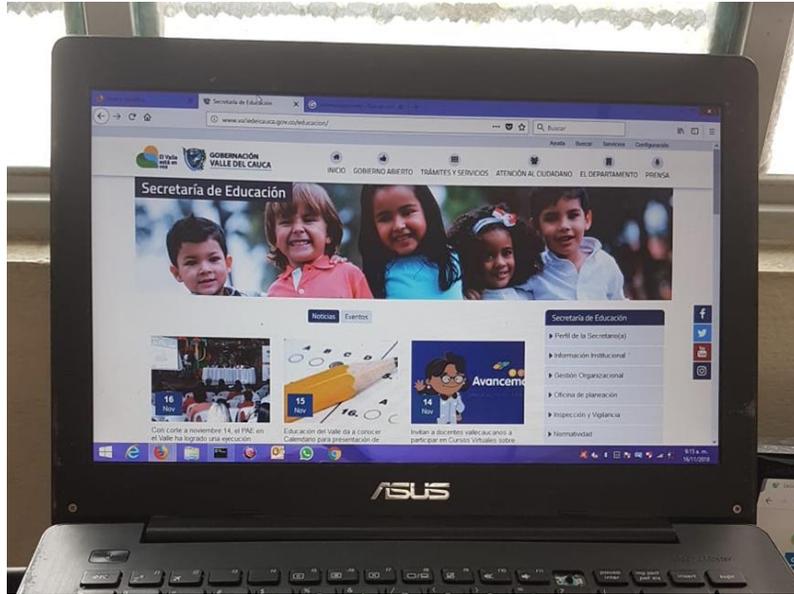


Figura 54. Pruebas de usabilidad ingreso a la página del MEN



**Figura 55. Pruebas de usabilidad ingreso a la página de la Secretaría de Educación**

De acuerdo con las pruebas realizadas al *router*, se logró establecer que el enlace instalado cumplió con los requerimientos básicos en materia de capacidad, velocidad de navegación y acceso a las páginas informativas como lo exige el lineamiento técnico del programa “Conexión Total”. A continuación, se presenta una prueba realizada a una Sede Educativa como se observa en la figura 56.

Interface	Ethernet	EoIP Tunnel	IP Tunnel	GRE Tunnel	VLAN	VRRP	Bonding	LTE
Name								
Type	Bridge							
L2 MTU	1588							
Tx	0 bps							
Rx	594.6 kbps							
Tx Packet (p/s)	12.0							
Rx Packet (p/s)	897							
FP Tx	1.014							
FP Rx	0 bps							
FP Tx Packet (p/s)	0							
FP Rx Packet (p/s)	0							
Name	ether1							
Type	Ethernet							
L2 MTU	1588							
Tx	109.3 kbps							
Rx	7.4 kbps							
Tx Packet (p/s)	11							
Rx Packet (p/s)	13							
FP Tx	0 bps							
FP Rx	0 bps							
FP Tx Packet (p/s)	0							
FP Rx Packet (p/s)	0							
Name	vlan51-Gestion-1							
Type	VLAN							
L2 MTU	1588							
Tx	0 bps							
Rx	0 bps							
Tx Packet (p/s)	0							
Rx Packet (p/s)	0							
FP Tx	0 bps							
FP Rx	0 bps							
FP Tx Packet (p/s)	0							
FP Rx Packet (p/s)	0							
Name	ether2							
Type	Ethernet							
L2 MTU	1588							
Tx	0 bps							
Rx	0 bps							
Tx Packet (p/s)	0							
Rx Packet (p/s)	0							
FP Tx	0 bps							
FP Rx	0 bps							
FP Tx Packet (p/s)	0							
FP Rx Packet (p/s)	0							
Name	ether3							
Type	Ethernet							
L2 MTU	1588							
Tx	0 bps							
Rx	0 bps							
Tx Packet (p/s)	0							
Rx Packet (p/s)	0							
FP Tx	0 bps							
FP Rx	0 bps							
FP Tx Packet (p/s)	0							
FP Rx Packet (p/s)	0							
Name	ether4							
Type	Ethernet							
L2 MTU	1588							
Tx	512 bps							
Rx	0 bps							
Tx Packet (p/s)	1							
Rx Packet (p/s)	0							
FP Tx	0 bps							
FP Rx	0 bps							
FP Tx Packet (p/s)	0							
FP Rx Packet (p/s)	0							
Name	wlan1							
Type	Wireless (Atheros AR9...							
L2 MTU	1600							
Tx	0 bps							
Rx	0 bps							
Tx Packet (p/s)	0							
Rx Packet (p/s)	0							
FP Tx	0 bps							
FP Rx	0 bps							
FP Tx Packet (p/s)	0							
FP Rx Packet (p/s)	0							

Seq #	Host	Time	Reply Size	TTL	Status
0	8.8.8.8	25ms	50	118	
1	8.8.8.8	25ms	50	118	
2	8.8.8.8	19ms	50	118	
3	8.8.8.8	29ms	50	118	

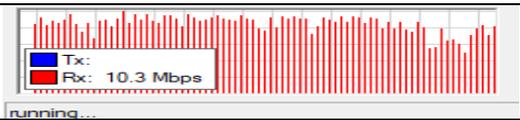
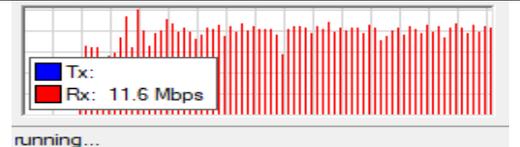
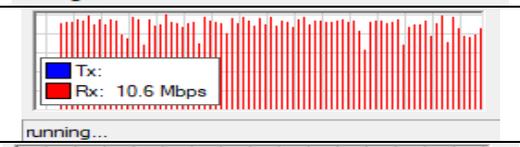
**Figura 56. Pruebas en el router de una Sede Educativa**

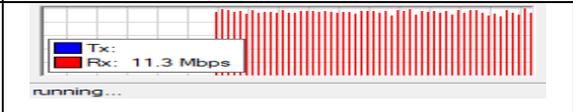
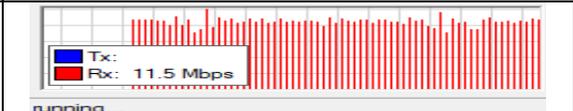
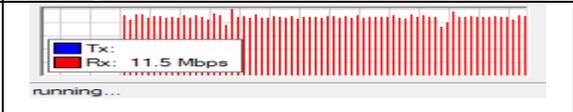
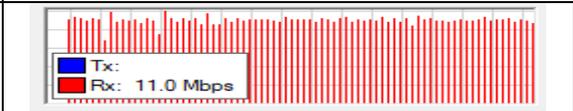
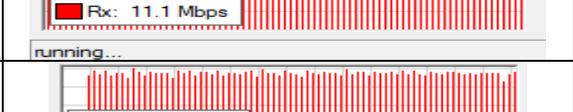
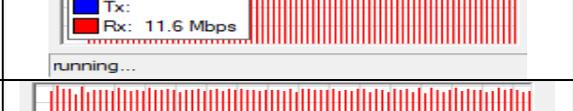
**4.3.6 Pruebas de saturación del canal.** La realización de estas pruebas, tuvo como objeto verificar la capacidad cuando todas las sedes educativas se encuentran conectadas a internet simultáneamente. En este sentido, se presenta la saturación en las 13 sedes educativas y posteriormente se expone la saturación general del canal.

De acuerdo con la siguiente tabla 16, se observa la saturación de cada sede educativa cuando todos los dispositivos de la institución educativa se encuentran conectados. Así mismo, se observa que la mayor saturación en la sede educativa la presentó la Institución Educativa Agrícola Guadalajara de Buga con un valor de. 12.6. seguida de la ID Narciso Cabal Salcedo 11.6. En este orden se encuentran la Carlos Arturo Cabal y José María Villegas con un valor de 11.5 siendo estas las más representativas.

La menor saturación a nivel de sedes educativas se presentó en las Instituciones educativas: Tulio Enrique Tascón con un valor de 10.6 y la ID Manuel Antonio San Clemente con 10.3. A pesar de la saturación existente, se puede observar que se garantiza el ancho de banda (BW) asignado para cada sede educativa que corresponde a 10 Mpbs (Ver tabla 16). Para mayor información sobre los resultados de las pruebas de saturación de las sedes educativas ver anexo 1.

**Tabla 16. Saturación de las sedes educativas**

ID	Código DANE	Institución	Saturacion
10	176111000515	Manuel Antonio San Clemente	
11	176111001015	San Vicente	
12	176111001031	Tulio Enrique Tascón	
13	176111000507	Agrícola Guadalajara de Buga.	

14	176111001104	Académico	
15	176111032328	Ccolegio municipal del deporte	
16	176111000531	José María Villegas	
17	176111000523	Carlos Arturo cabal	
18	176111001155	Maria Auxiliadora	
19	176111032263	Gran Colombia	
20	176111000604	Guadalajara	
21	176111000469	Narciso Cabal Salcedo	
22	276111001761	Julián Mendoza guerrero	

### Saturación del *router* principal

En la figura 57 se puede observar el tráfico total en la red, cuando hay navegación en todos los dispositivos de cada una de las sedes educativas, en las cuales se ocupa todo el ancho de banda. Adicionalmente, se evidencia que la sumatoria de las capacidades de todas las sedes educativas alcanza los 147 Mbps, dado que a cada sede se le asignó un margen de 2 Mbps adicionales, para mantener estable la operatividad del enlace como se muestra en la figura 57.

admin@10.250.5.1:32434 (CT BUGA) - WinBox v6.02.12 on RB2011UIAS (arm)

Session Settings Dashboard

Session: 10.250.5.1:32434

Interface <ethers>

General Ethernet Loop Protect Overall Stats Rx Stats Tx Stats Status Traffic

Tx/Rx Rate:	147.4 Mbps	/ 5.4 Mbps
Tx/Rx Packet Rate:	12 169 p/s	/ 9 229 p/s
FP Tx/Rx Rate:	146.4 Mbps	/ 5.1 Mbps
FP Tx/Rx Packet Rate:	12 125 p/s	/ 9 306 p/s
Tx/Rx Bytes:	8.1 GiB	/ 297.6 MiB
Tx/Rx Packets:	5 784 933	/ 4 266 550
Tx/Rx Drops:	0	/ 0
Tx/Rx Errors:	0	/ 0

Tx: 147.4 Mbps  
Rx: 5.4 Mbps

Tx Packet: 12 169 p/s  
Rx Packet: 9 229 p/s

RouterOS WinBox

Search: Escribe aquí para buscar

7:00 p.m. 18/09/2019

Figura 57. Pruebas de saturación del *router* principal

## **Capítulo V. Estrategias para cumplir las políticas de calidad de servicio que define la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S**

El presente apartado tiene como finalidad proponer a las instituciones educativas algunas estrategias para mantener una buena calidad del servicio de conexión en el radioenlace instalado, de tal manera que, se pueda garantizar el funcionamiento en los meses subsiguientes como lo exige el Manual Técnico del programa “Conexión Total”.

### **5.1 Estrategia para la calidad del servicio**

Se definen las estrategias para dar cumplimiento a la exigencia en los niveles del servicio, con base en el lineamiento técnico del programa “Conexión Total”, el cual exige un cumplimiento mensual de parámetros para garantizar la prestación del servicio, tales como: disponibilidad del servicio, latencia, velocidad de transferencia y efectividad en la instalación.

**5.1.1 Disponibilidad del Servicio.** De acuerdo con el manual técnico del programa en cuestión, la disponibilidad del servicio determina el porcentaje de tiempo en funcionamiento durante el mes en cada una de las Sedes Educativas, el cual no debe ser inferior al 99.6 % para poder garantizar la navegación por parte de los usuarios. Para cumplir con este requerimiento se plantean algunas estrategias como se muestra en la tabla 17.

**Tabla 17. Estrategias para garantizar la disponibilidad del servicio.**

INDICADOR	ACTIVIDADES	INSTRUMENTOS	TEMPORALIDAD	RESPONSABLE
Disponibilidad del Servicio:	<ul style="list-style-type: none"> <li>Monitoreo permanente de la red</li> </ul>	Herramienta de Software PRTG	Se realiza diariamente	Profesional en redes de telecomunicaciones de la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantenimiento preventivo de la infraestructura de red</li> </ul>	Ficha técnica de mantenimiento. Elementos de Limpieza	Mensual	Personal técnico de la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantenimiento correctivo ante fallas técnicas.</li> </ul>	Manual de soporte de primer nivel	No aplica	Docente encargado de la sala de sistemas
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantenimiento correctivo en caso de un fenómeno natural</li> </ul>	Plan de contingencia	No aplica	Personal técnico

**5.1.2 Latencia.** Este concepto es entendido como el tiempo que tarda en transmitirse un paquete de datos dentro de la red y se considera un factor clave en las conexiones a *Internet*. Al respecto el programa “Conexión Total” exige un valor menor o igual a 50 ms. Por ello, para lograr este requerimiento se plantea algunas estrategias como se muestra en la tabla 18.

**Tabla 18. Estrategia para el monitoreo de la latencia.**

INDICADOR	ACTIVIDADES	INSTRUMENTOS	TEMPORALIDAD	RESPONSABLE
<b>Latencia</b>	Monitoreo de la red	Herramienta de monitoreo de latencia	Diariamente	Técnico de la Empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S
	Mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos	Elementos de Limpieza	Mensualmente	Técnico de la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S
	Monitoreo permanente al cableado.	Herramientas de mantenimiento	Mensualmente	Técnico de la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S

**5.1.3 Velocidad de Transferencia.** Hace referencia a la velocidad con la que se mueven los datos de un lugar a otro en un momento dado, la cual se mide normalmente en unidades de bits por segundo (bps). De acuerdo con el lineamiento técnico debe estar en un porcentaje igual o mayor al 80 % del Download. Por ende, para mantener la calidad respecto a este parámetro es necesario llevar a cabo las siguientes estrategias como se observa en la tabla 19.

**Tabla 19. Estrategias para garantizar la velocidad de transferencia.**

PARÁMETRO	ACTIVIDADES	INSTRUMENTOS	TEMPORALIDAD	RESPONSABLE
<b>Velocidad de Transferencia</b>	Monitoreo diarios a la velocidad de descarga y carga de datos	herramienta de monitoreo de velocidad	Se realizara mensualmente	Técnico de la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S
	Mantenimiento técnico de equipos	Herramientas de mantenimiento	mensualmente	Técnico de la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S

**5.1.4 Efectividad en la Instalación.** Este indicador mide la instalación del servicio por única vez para cada uno de los canales provistos en las Sedes Educativas y se mide en días hábiles empleados en la implementación del servicio, el cual no debe superar los 45 días, como se observa en la tabla 20.

**Tabla 20. Efectividad en la instalación.**

PARÁMETRO	ACTIVIDADES	INSTRUMENTOS	TEMPORALIDAD	RESPONSABLE
<b>Efectividad en la Instalación:</b>	Agendar con antelación al personal técnico.	N/A	Acorde al cronograma de instalación definido.	<b>Coordinador técnico del proyecto</b>

Hasta aquí se evidencia el proceso de implementación de un radioenlace para la conexión a *internet* de 13 Sedes Educativas en el marco del programa “Conexión Total”, donde se ha podido obtener un beneficio mutuo, puesto que se generó un impacto positivo en el campo social y por otro se obtuvieron experiencias significativas que enriquecen el conocimiento en el campo de la ingeniería electrónica y telecomunicaciones. Así mismo se genera un aporte teórico conceptual para el desarrollo de futuras prácticas profesionales respecto al tema abordado.

## Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

La presente práctica profesional desarrollada en la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S, tuvo como objetivo implementar un sistema de radioenlaces para brindar conexión a *internet* a 13 Sedes Educativas, ubicadas en el casco urbano del municipio de Buga (Valle del Cauca) en el marco del Programa “Conexión Total”, propuesta por el MEN y el MinTIC. De este modo, aunque el diseño de la infraestructura inalámbrica para un sistema de radioenlace es un proceso complejo que requiere un amplio conocimiento técnico, apoyado de herramientas informáticas tales como *Link Planner* y *Google Earth*, permitió obtener datos más precisos en cuanto a la línea vista, las refracciones, la zona de Fresnel y los puntos de referencia para alcanzar una ubicación más exacta de los nodos e instalación de los equipos tecnológicos (antenas y *router*). Así, el estudio permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- El uso de las herramientas *software* empleadas en la presente práctica profesional permitió ahorrar tiempo, al mismo tiempo que los equipos permitieron dar solución a una necesidad básica como es la conexión de internet a las Sedes Educativas, cumpliendo con las Normas establecidas por la *ITU* (Unión internacional de telecomunicaciones) y para contribuir al mejoramiento de las actividades educativas.
- Las antenas Mimosas son apropiadas para transmitir y recibir señal a largas distancias, es decir, entre 15 km y 30 km, gracias a la alta potencia del radio. Los equipos Ubiquiti TM funcionan muy bien en distancias cortas, es decir, entre 2 km y 10 km, demostrando buen desempeño por su relación costo beneficio.
- La conexión inalámbrica a partir del **protocolo 802.11c**, es un medio práctico para la implementación de conexión inalámbricas a través de *WiFi*, ya que puede ser adaptada a los diferentes entornos ambientales, geográficos y electromagnéticos. Por ende, esta tecnología ofrece grandes posibilidades para llevar señal de

- *internet* a zonas urbanas y rurales de manera eficiente y a costos favorables para las instituciones públicas que tienen un presupuesto de inversión limitado.
- La implementación de estrategias para cumplir con las políticas de calidad con base al lineamiento técnico, resulta beneficioso en la implementación del radioenlace, dado que facilita la optimización de parámetros como disponibilidad del servicio, latencia, velocidad de transferencia; generando mayores posibilidades para los usuarios finales como se puede evidenciar en las pruebas realizadas. De igual manera, beneficia a la empresa prestadora dado que se evitan interrupciones del servicio que pueda ser objeto para generar descuentos en la facturación.
- La tecnología inalámbrica abre un mundo de posibilidades de conexión a *internet*, gracias a su flexibilidad y conectividad de los nodos, computadores y demás dispositivos electrónicos. De esta manera, estas tecnologías son un factor importante en la reducción de la brecha digital en la población estudiantil para avanzar en el mejoramiento de los procesos de enseñanza aprendizaje, aún más cuando el país viene ocupando los últimos puestos en calidad educativa como se evidenció en las pruebas Pisa del año 2012.

## 6.2 Recomendaciones

- Para la implementación del radioenlace es fundamental realizar una elección adecuada de los equipos a utilizar, especialmente, las antenas, ya que de ellas depende en gran medida la transmisión y recepción de la señal inalámbrica.
- A la empresa Dobleclick Software e Ingeniería S.A.S, se le recomienda establecer un plan de emergencia para garantizar la funcionalidad del radioenlace, en caso de que ocurra un fenómeno natural que pueda afectar su funcionamiento.
- Se recomienda establecer un mecanismo de seguridad a fin de evitar la piratería de señal en el sector, ya que puede afectar la calidad del servicio.
- A las instituciones educativas beneficiadas con el servicio, se recomienda establecer medida de protección para garantizar la conservación de los equipos y

evitar interrupciones en el servicio de conectividad a *internet* en las áreas administrativas y pedagógicas.

- A futuros pasantes se recomienda abordar temas relacionados con la transmisión de *internet* en fibra óptica, ya que es una de las tecnologías más prometedoras en el futuro, debido a su beneficio en materia de seguridad y calidad de la señal.

## Bibliografía

- [1] J. I. Salgado. “*Estudio de viabilidad para llevar internet 4G LTE a zonas rurales de Colombia caso de estudio: Municipio de Zipaquirá*” Trabajo de Grado, Universidad de San Buenaventura, Bogotá D.C, Colombia, junio 2014.
- [2] H. A. Peña Gil. La brecha digital en Colombia: Un análisis de las políticas gubernamentales para su disminución. Junio, 2017. (Consultado el 20 de enero de 2019) [Online]. Available: <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/REDES/article/view/12477>
- [3] J. J. Murillo Fuentes. Fundamentos de Radiación y Radiocomunicación 2ª Edición edit. Copyright. Sevilla España. 2012
- [4] L. M. Muñoz Guzmán Valdivia. Análisis de la Implementación de un Enlace Punto a Punto acotado por el Protocolo 802.11b. (Consultado el 30 de enero de 2019) [Online]. Available: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcim971a/doc/bmfcim971a.pdf>
- [5] Tecnología. Ondas electromagnéticas, s.f. (Consultado el 1 de febrero de 2019) [Online]. Available: <https://www.areatecnologia.com/ondas-electromagneticas.htm>
- [6] C. Oberli. Ondas de radio, antenas y salud: nociones fundamentales para el legislador. Tesis de investigación. 2015
- [7] Bienvenidos a Descubrir la química. Reflexión y refracción de una onda: Principio de Huygens. s.f. (Consultado el 1 de febrero de 2019) [Online]. Available: <https://descubrirlaquimica.wordpress.com/2013/09/03/reflexion-y-refraccion-de-una-onda-principio-de-huygens/>

- [8] Ciencias Básicas Aplicadas. Difracción. s.f. (Consultado el 10 febrero de 2019) [Online]. Available: <https://sites.google.com/a/tecsup.edu.pe/fisica-basica/0-5-fenomeno-de-las-ondas/d-difraccion>
- [9] Efectos del medio en la propagación. [Online]. Available: <https://www.qsl.net/ea1crk/medio/Cap4.htm>
- [10] J. Chulde, Chulde klver. *Estudio e instalación de enlaces microonda en banda libre entre Quito y Latakunga para trasmisión de datos de internet para la empresa ECUAONLINE S.A.* 2010. (Proyecto de grado). (Consultado el 10 de febrero de 2019) [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2290/1/CD-3030.pdf>
- [11] Berouz. A. Transmisión datos y redes de comunicación. Segunda edición Editorial Mac Graw hill.2002
- [12] D. E. Guaquéz Dorado. (2015). Diseño e implementación de una red inalámbrica para ofrecer el servicio de internet en unimos S.A.E.S.P. 2015. (Consultado el 4 de febrero de 2019) [Online]. Available: [biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90911.pd](http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90911.pd)
- [13] S. Buettrich. Cálculo de Radioenlace. Artículo científico de la Asociación Civil Nodo TAU. 2017. (Consultado el 14 de marzo de 2019) [Online]. Available: [http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless\\_es/files/06\\_es\\_calculo-de-radioenlace\\_guia\\_v02.pdf](http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v02.pdf)
- [14] Mundo teleco. Zona de Fresnal. s,f (Consultado el 14 de marzo de 2019) [Online]. Available: <http://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/2014/10/zona-de-fresnel.html>

- [15] J. M. López y D. A. Rey, "Proyecto radioenlace vereda La Argentina (La Tebaida – Quindío)," Trabajo de grado, Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano, Quindío, Colombia, 2017.
- [16] J. C. Gómez García., Nueva tecnología apara redes WIFI, 2006. (Consultado el 20 de marzo de 2019) [Online]. Available: <http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/11136/Nueva%20tecnolog%C3%ADa%20para%20redes%20inal%C3%A1mbricas%20Wifi.pdf?sequence=1>
- [17] F. S. Reigadas., A. Martínez Fernández., M<sup>a</sup> F. Dulcey Morán y Á. Rendón Gallón. Implementación de IEEE 802.11 en enlaces largos para zonas rurales aisladas. Programa EHAS (Enlace Hispano-Americano de Salud) en convenio con Unicauca. 2014. (Consultado el 21 de febrero de 2019) [Online]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_3daLgq4AAo](https://www.youtube.com/watch?v=_3daLgq4AAo)
- [18] Introducción a las redes WiFi. Materiales de entrenamiento para instructores de redes Inalámbrica, s.f. (Consultado el 2 de abril de 2019) [Online]. Available: [http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/05-Introduccion\\_a\\_las\\_redes\\_WiFi-es-v2.3-notes.pdf](http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/05-Introduccion_a_las_redes_WiFi-es-v2.3-notes.pdf)
- [19] D.P. Burbano. Sistema de transmisión de datos inalámbricos mediante pulsos luminosos. 2016
- [20] Hernández y Parra. Telefonía celular y protección de sus enlaces en comunicaciones. 2017. (Consultado el 2 de abril de 2019) [Online]. Available: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/5660/1/ice37.pdf>
- [21] J. J. Yunguera Torres. Diseño de una red wi-fi para E.S.T.2008

- [22] J. A. Meden Peralta. IEEE. 802.11ac.[Online]. Available: <http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/80211ac.pdf>
- [23] J. Ruiz Maluenda Bastián., A. Riveros Vásquez., Varas Escobar. Redes WPA/WPA2 SU vulnerabilidad. 2012. (Consultado el 2 de mayo de 2019) [Online]. Available: <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo322/1s12/project/reports/RuzRiverosVaras.pdf>
- [24] CH. Caple. WPA2 Personal contra Enterprise. Recuperado en: Techlandia, 2018. (Consultado el 22 de abril de 2019). [Online]. Available: [https://techlandia.com/wpa2-personal-contra-enterprise-info\\_206407/](https://techlandia.com/wpa2-personal-contra-enterprise-info_206407/)
- [25] Constitución Política de Colombia. Artículo 75 “es un bien enajenable e imprescriptible sujeto a control y gestión de estado”. 1991
- [26] Ley 1341. "por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las tecnologías de la información y las comunicaciones - tic-, se crea la agencia nacional de espectro y se dictan otras. 30 de julio de 2009. (Consultado el 2 de mayo de 2019 de enero de 2019) [Online]. Available: [https://mintic.gov.co/portal/604/articles-8580\\_PDF\\_Ley\\_1341.pdf](https://mintic.gov.co/portal/604/articles-8580_PDF_Ley_1341.pdf)
- [27] Ministerio de las Tic. Resolución 6089 de 2004
- [28] Ministerio de Educación Nacional. Cartilla de procedimiento programa ““Conexión Total””. 2016. (Consultado el 20 de mayo de 2019) [Online]. Available: [https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-355126cartilladeprocedimiento\\_programa\\_Conexion\\_Total.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-355126cartilladeprocedimiento_programa_Conexion_Total.pdf)
- [29] Lineamiento técnico del Programa ““Conexión Total””. Sedes educativas. 2018. (Consultado el 17 de mayo de 2019) [Online]. Available: <https://infotoc.co/wp->

content/uploads/2018/12/articles-  
321649\_Lineamiento\_tecnico\_sedes\_educativas.pdf

[30] Priscilla Oppenheimer. Top-Down Network Design Third Edition (2011) (Consultado el 17 de septiembre de 2019) [Online]. Available:[http://www.teraits.com/pitagoras/marcio/gpi/b\\_POppenheimer\\_TopDownNetworkDesign\\_3rd\\_ed.pdf](http://www.teraits.com/pitagoras/marcio/gpi/b_POppenheimer_TopDownNetworkDesign_3rd_ed.pdf)

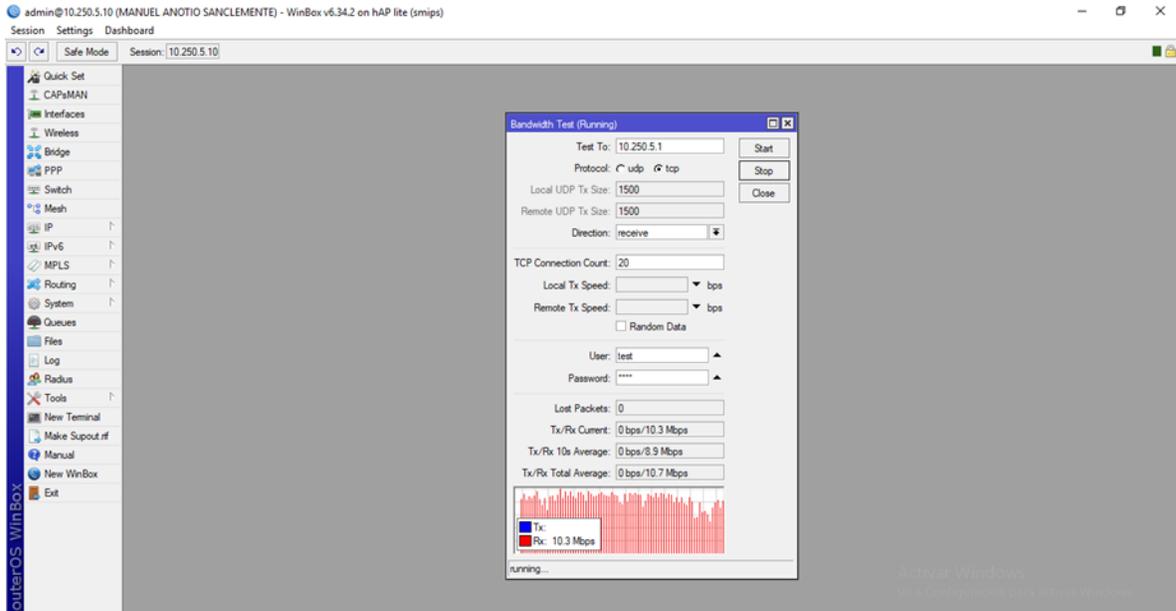
[31] Mimosa. Ficha técnica de los equipos Ubiquiti y Mimosa, s.f.

[32] TP-Link. Ficha técnica de Iso dispositivos Cisco, microtic y TP-Link., s.f. (Consultado el 2 de abril de 2019) [Online]. Available: <https://www.tp-link.com/co/>

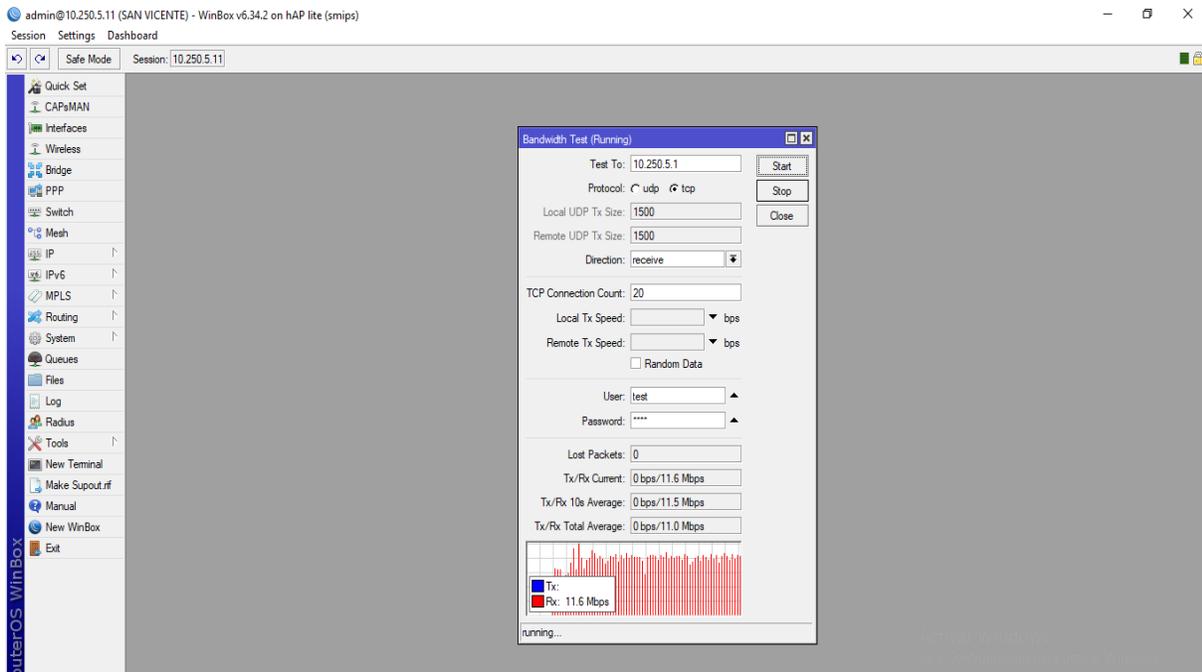
## Anexos

### Anexo 1. Pruebas de saturación en las sedes educativas

#### ID 10. I.E MANUEL ANTONIO SANCLEMENTE



#### ID 11. I.E. SAN VICENTE



## ID12. I.E. TULIO ENRIQUE TASCON

admin@10.250.5.12 (TULIO ENRIQUE TASCON) - WinBox v6.34.2 on hAP lite (smips)

Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: 10.250.5.12

RouterOS WinBox

Quick Set  
CAPsMAN  
Interfaces  
Wireless  
Bridge  
PPP  
Switch  
Mesh  
IP  
IPv6  
MPLS  
Routing  
System  
Queues  
Files  
Log  
Radius  
Tools  
New Terminal  
Make Supout.rtf  
Manual  
New WinBox  
Exit

Bandwidth Test (Running)

Test To: 10.250.5.1 Start  
Protocol:  udp  tcp Stop  
Local UDP Tx Size: 1500 Close  
Remote UDP Tx Size: 1500  
Direction: receive

TCP Connection Count: 20  
Local Tx Speed: bps  
Remote Tx Speed: bps  
 Random Data

User: test  
Password: \*\*\*\*

Lost Packets: 0  
Tx/Rx Current: 0 bps/10.6 Mbps  
Tx/Rx 10s Average: 0 bps/10.4 Mbps  
Tx/Rx Total Average: 0 bps/11.1 Mbps

running...

## ID 13. I.E. AGRICOLA GUADARAJARA DE BUGA ITA

admin@10.250.5.13 (AGRICOLA GUADARAJARA) - WinBox v6.34.2 on hAP lite (smips)

Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: 10.250.5.13

RouterOS WinBox

Quick Set  
CAPsMAN  
Interfaces  
Wireless  
Bridge  
PPP  
Switch  
Mesh  
IP  
IPv6  
MPLS  
Routing  
System  
Queues  
Files  
Log  
Radius  
Tools  
New Terminal  
Make Supout.rtf  
Manual  
New WinBox  
Exit

Bandwidth Test (Running)

Test To: 10.250.5.13 Start  
Protocol:  udp  tcp Stop  
Local UDP Tx Size: 1500 Close  
Remote UDP Tx Size: 1500  
Direction: receive

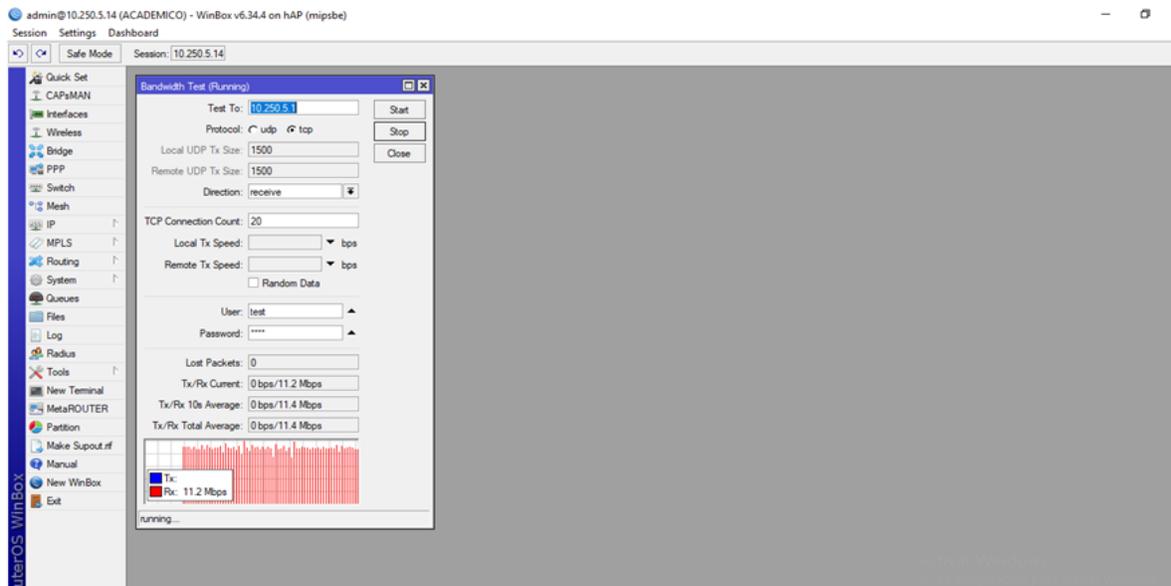
TCP Connection Count: 20  
Local Tx Speed: bps  
Remote Tx Speed: bps  
 Random Data

User: test  
Password: \*\*\*\*

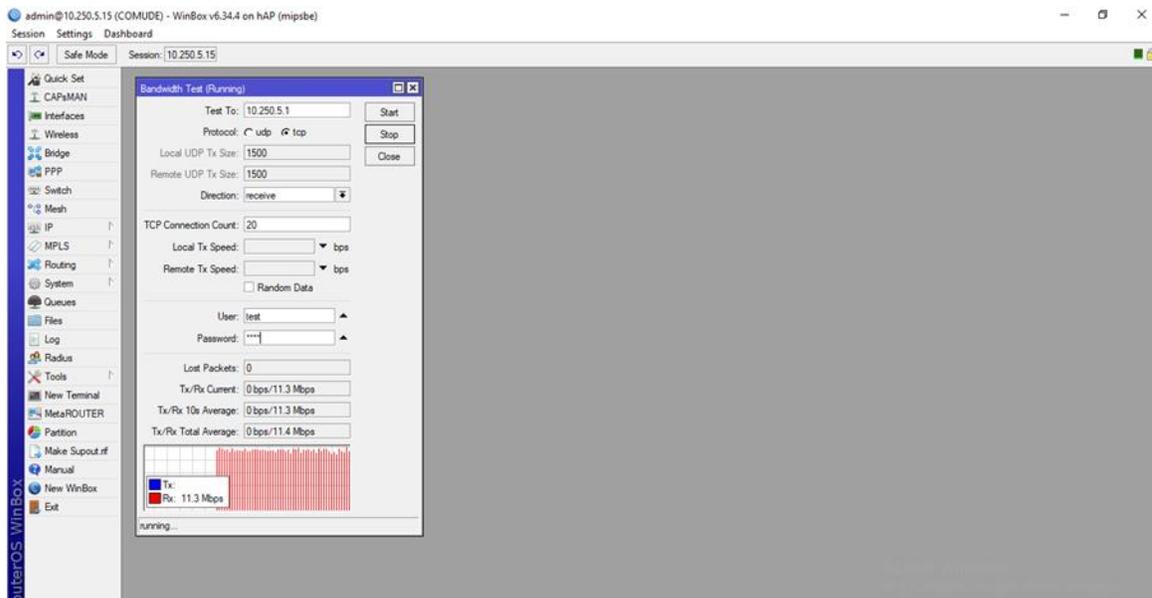
Lost Packets: 0  
Tx/Rx Current: 0 bps/12.6 Mbps  
Tx/Rx 10s Average: 0 bps/8.8 Mbps  
Tx/Rx Total Average: 0 bps/10.4 Mbps

running...

## ID 14. I.E. ACADÉMICO



## ID 15. COLEGIO MUNICIPAL DEL DEPORTE



## ID 16 I.E. JOSE MARIA VILLEGAS

The screenshot shows the Mikrotik WinBox interface for user 'admin' on IP '10.250.5.16'. A 'Bandwidth Test (Running)' window is open, displaying the following configuration and results:

- Test To: 10.250.5.1
- Protocol:  udp  tcp
- Local UDP Tx Size: 1500
- Remote UDP Tx Size: 1500
- Direction: receive
- TCP Connection Count: 20
- Local Tx Speed: 0 bps
- Remote Tx Speed: 0 bps
- Random Data:
- User: test
- Password: \*\*\*\*
- Lost Packets: 0
- Tx/Rx Current: 0 bps/11.9 Mbps
- Tx/Rx 10s Average: 0 bps/11.5 Mbps
- Tx/Rx Total Average: 0 bps/11.3 Mbps

A bar chart at the bottom of the window shows a Tx rate of 11.5 Mbps. The status at the bottom of the window is 'running...'.

## ID 17 CARLOS ARTURO CABAL

The screenshot shows the Mikrotik WinBox interface for user 'admin' on IP '10.250.5.17'. A 'Bandwidth Test (Running)' window is open, displaying the following configuration and results:

- Test To: 10.250.5.1
- Protocol:  udp  tcp
- Local UDP Tx Size: 1500
- Remote UDP Tx Size: 1500
- Direction: receive
- TCP Connection Count: 20
- Local Tx Speed: 0 bps
- Remote Tx Speed: 0 bps
- Random Data:
- User: test
- Password: \*\*\*\*
- Lost Packets: 0
- Tx/Rx Current: 0 bps/11.5 Mbps
- Tx/Rx 10s Average: 0 bps/11.4 Mbps
- Tx/Rx Total Average: 0 bps/11.4 Mbps

A bar chart at the bottom of the window shows a Rx rate of 11.5 Mbps. The status at the bottom of the window is 'running...'.

## ID18 MARIA AUXILIADORA

The screenshot shows the Mikrotik WinBox interface for user 'admin@10.250.5.18 (MARIA AUXILIADORA)'. The 'Bandwidth Test (Running)' window is active, displaying the following configuration and results:

- Test To: 10.250.5.1
- Protocol:  udp  tcp
- Local UDP Tx Size: 1500
- Remote UDP Tx Size: 1500
- Direction: receive
- TCP Connection Count: 20
- Local Tx Speed: [dropdown] bps
- Remote Tx Speed: [dropdown] bps
- Random Data
- User: test
- Password: [masked]
- Lost Packets: 0
- Tx/Rx Current: 0 bps/11.0 Mbps
- Tx/Rx 10s Average: 0 bps/11.4 Mbps
- Tx/Rx Total Average: 0 bps/11.4 Mbps

A graph at the bottom of the window shows Tx (blue) and Rx (red) data rates. The Rx rate is currently at 11.0 Mbps and has a 10s average of 11.4 Mbps. The status 'running...' is visible at the bottom of the window.

## ID 19 I.E. GRAN COLOMBIA

The screenshot shows the Mikrotik WinBox interface for user 'admin@10.250.5.19 (GRAN COLOMBIA)'. The 'Bandwidth Test (Running)' window is active, displaying the following configuration and results:

- Test To: 10.250.5.1
- Protocol:  udp  tcp
- Local UDP Tx Size: 1500
- Remote UDP Tx Size: 1500
- Direction: receive
- TCP Connection Count: 20
- Local Tx Speed: [dropdown] bps
- Remote Tx Speed: [dropdown] bps
- Random Data
- User: test
- Password: [masked]
- Lost Packets: 0
- Tx/Rx Current: 0 bps/11.3 Mbps
- Tx/Rx 10s Average: 0 bps/11.4 Mbps
- Tx/Rx Total Average: 0 bps/11.4 Mbps

A graph at the bottom of the window shows Tx (blue) and Rx (red) data rates. The Rx rate is currently at 11.3 Mbps and has a 10s average of 11.4 Mbps. The status 'running...' is visible at the bottom of the window.

## ID 20 GUADALAJARA

The screenshot shows the Mikrotik WinBox interface for user 'admin' on host '10.250.5.20' (GUADALAJARA). A 'Bandwidth Test (Running)' window is open, displaying the following configuration and results:

- Test To: 10.250.5.1
- Protocol:  udp  tcp
- Local UDP Tx Size: 1500
- Remote UDP Tx Size: 1500
- Direction: receive
- TCP Connection Count: 20
- Local Tx Speed: [ ] bps
- Remote Tx Speed: [ ] bps
- Random Data
- User: test
- Password: [ ]
- Lost Packets: 0
- Tx/Rx Current: 0 bps/11.1 Mbps
- Tx/Rx 10s Average: 0 bps/11.4 Mbps
- Tx/Rx Total Average: 0 bps/11.4 Mbps

The status bar at the bottom of the window shows 'Tx: [ ]' and 'Rx: 11.1 Mbps'. A graph below the statistics shows a red bar representing the current reception rate.

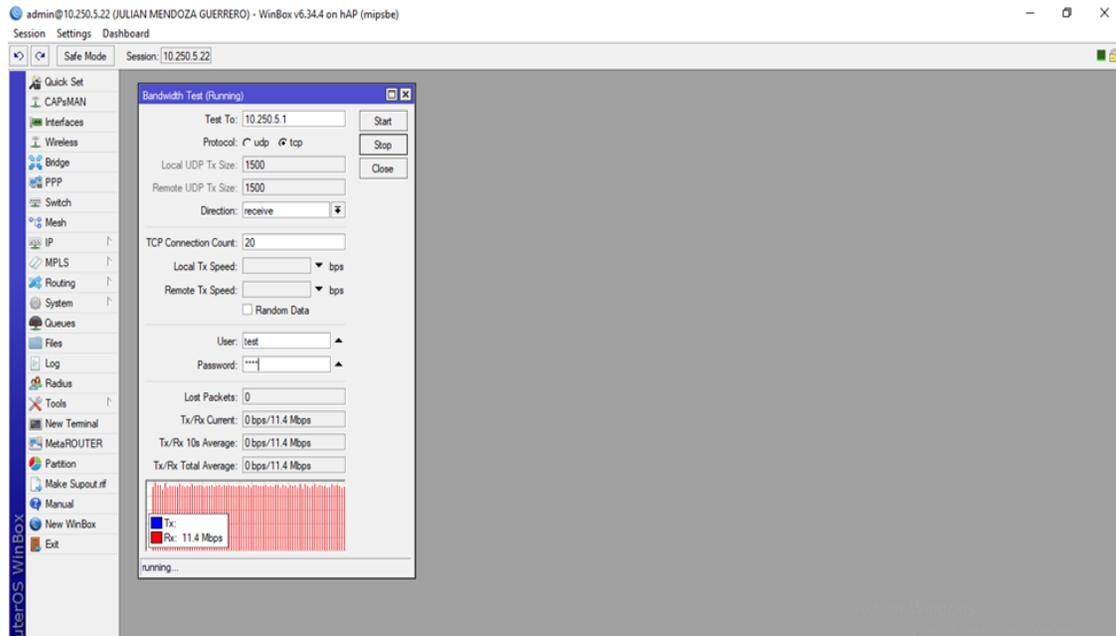
## ID 21. I.E. NARCISO CABAL SALCEDO

The screenshot shows the Mikrotik WinBox interface for user 'admin' on host '10.250.5.21' (I.E. NARCISO CABAL SALCEDO). A 'Bandwidth Test (Running)' window is open, displaying the following configuration and results:

- Test To: 10.250.5.1
- Protocol:  udp  tcp
- Local UDP Tx Size: 1500
- Remote UDP Tx Size: 1500
- Direction: receive
- TCP Connection Count: 20
- Local Tx Speed: [ ] bps
- Remote Tx Speed: [ ] bps
- Random Data
- User: test
- Password: [ ]
- Lost Packets: 0
- Tx/Rx Current: 0 bps/11.6 Mbps
- Tx/Rx 10s Average: 0 bps/11.3 Mbps
- Tx/Rx Total Average: 0 bps/11.4 Mbps

The status bar at the bottom of the window shows 'Tx: [ ]' and 'Rx: 11.6 Mbps'. A graph below the statistics shows a red bar representing the current reception rate.

## ID 22. I.E JULIAN MENDOZA GUERRERO



## Anexo 2 pruebas de saturación del *router* principal

