



Diseño y simulación de una arquitectura de red para mejorar la conexión a internet en una zona de baja densidad en Colombia, usando tecnología WiMAX

Hamilton Belayne Mosquera Amud

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2020

Diseño y simulación de una arquitectura de red para mejorar la conexión a internet en una zona de baja densidad en Colombia, usando tecnología WiMAX

Hamilton Belayne Mosquera Amud

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

Ingeniero Electrónico

Director (a):

PhD. Julián David Pareja Garzón

Línea de Investigación:

Ingeniería de Telecomunicaciones

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2020

Las personas piensan que los sueños no son reales simplemente porque no están hechos de materia, de partículas. Los sueños son reales. Pero están hechos de puntos de vista, de imágenes, de memorias y de esperanzas perdidas. – Neil Gaiman

Agradecimientos

A mi madre Diana Mosquera y mi tía Eduviges Amud, que me apoyaron desde el comienzo, sin ustedes esto no hubiese sido posible. Sus consejos, ejemplos y fe en mí, fueron la motivación necesaria para llegar hasta aquí.

A mi hermano, que siempre estuvo ayudándome en diversos eventos, aunque él pensara que eran insignificantes.

A Natalia Villamizar, “autotune”, que me ha ayudado en múltiples momentos de mi carrera y en la realización del trabajo de grado; viste en mí lo que nunca he podido encontrar.

A mis amigos, con los cuáles compartí momentos de la carrera que nunca olvidaré y que sé que siempre contaré con ellos.

A mi director de tesis Julián Pareja, que me apoyó y motivó durante la realización de este Trabajo Integral de Grado.

A todas esas personas que de alguna u otra forma me ayudaron estos años.

¡GRACIAS!

Resumen

La tecnología WiMAX propone la comunicación inalámbrica en un futuro próximo. Actualmente sus características están llamando la atención. Por ejemplo, transmite información a una velocidad de 75 Mbps y un radio de hasta 50 kilómetros. Esta distancia es muy fácil para cubrir edificios en cualquier ciudad del mundo. El alto ancho de banda recomendado para cada canal de transmisión WiMAX hace considerar la gran cantidad de productos que se pueden proporcionar basados en esta tecnología. De hecho, es la nueva cara de la comunicación inalámbrica y es necesaria para satisfacer la demanda global en este campo.

El presente trabajo tiene como objetivo hacer uso de tecnología WiMAX para generar una mejora en la red actualmente implementada en municipios de Colombia. Lo anterior, tras un diagnóstico de la red que hay en la zona, el diseño y simulación de una arquitectura de red siguiendo el modelo OSI.

Como resultado de este proyecto se tiene el diseño de una red simulada en Packet Racer con la cual se espera obtener al menos un 5% más de eficiencia en la red, una reducción de costos en el precio del servicio y ampliar la cobertura de red en la zona de estudio; dicha red se mostró estable y con buenos tiempos de respuesta y, aunque se encuentre saturada, trabaja mejor que la red presente en la zona.

Palabras clave: internet, Wi-Fi, WiMAX, redes inalámbricas, cobertura, banda ancha.

Abstract

WiMAX technology proposes wireless communication in the near future. Currently its characteristics are attracting attention. For example, it transmits information at a speed of 75 Mbps and a radius of up to 50 kilometers. This distance is very easy to cover buildings in any city in the world. The high bandwidth recommended for each WiMAX transmission channel makes one consider the large number of products that can be provided based on this technology. In fact, it is the new face of wireless communication and is necessary to meet the global demand in this field.

The present work aims to make use of WiMAX technology to generate an improvement in the network currently implemented in municipalities of Colombia. The above, trans a diagnosis of the network in the area, the design and simulation of a network architecture following the OSI model.

As a result of this project, we have the design of a simulated network in Packet Racer with which it is expected to obtain at least 5% more efficiency in the network, a reduction in costs in the price of the service and expand the network coverage in the study area; This network was stable and with good response and, although it is saturated, it works better than the network present in the area.

Keywords: internet, Wi-Fi, WiMAX, wireless networks, coverage, broadband.

Contenido

Contenido

1. Introducción	15
1.1 Planteamiento del problema	17
1.2 Justificación	18
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo general	19
1.3.2 Objetivos específicos	19
1.4 Estado del arte	19
2. Marco Teórico.....	24
2.1 Estándares IEEE	24
2.2 Estándar 802.11 - Wifi	25
2.2.1 Principales estándares 802.11	25
2.2.2 Funcionamiento básico de tecnología Wifi	26
2.3 Estándar 802.16 – WiMAX.....	27
2.3.1 Principales estándares 802.16	27
2.3.2 Definición WiMAX	28
2.3.3 Funcionamiento básico tecnología WiMAX	28
2.4 Características generales de WiMAX.....	31
2.4.1 Tasa de transferencia.....	31
2.4.2 Escalabilidad	31
2.4.3 Cobertura	32
2.4.4 Calidad de servicio	32
2.4.5 Seguridad.....	32
2.5 Arquitectura de red WiMAX	32
2.6 Tipos de acceso.....	34
2.6.1 Fijo	34
2.6.2 Nomádico.....	34
2.6.3 Portátil.....	35
2.6.4 Móvil	35
2.7 Topologías de red.....	35
2.7.1 Topología Punto a Punto (PtP).....	35

2.7.2 Topología Punto Multipunto (PtM).....	36
2.7.3 Topología en Malla	36
2.8 Aplicaciones que ofrece WiMAX.....	37
2.9 Comparación WiMAX con otras tecnologías similares.....	38
2.9.1 WiMAX frente a Wifi.....	38
2.9.2 WiMAX frente a CATV y ADSL	39
2.10 Diseño de una red WiMAX	39
2.10.1 Análisis demográfico.....	39
2.10.2 Elección frecuencia de transmisión.....	40
2.10.3 Propagación L.O.S vs N.L.O.S.....	41
3. Metodología.....	42
3.1 Recolección de información.....	42
3.2 Análisis de información.....	44
3.3 Diseño físico y lógico de la red	45
3.3.1 Diseño físico	45
3.3.2 Diseño lógico	45
4. Resultados	47
4.1. Resultado de la red deseada.....	61
4.1.1 Expansión de la red	62
4.2 Selección de equipos	66
5. Conclusiones y recomendaciones	68
5.1 Conclusiones.....	68
5.2 Recomendaciones.....	69
Bibliografía.....	69
ANEXO A.	77
ANEXO B.	78
ANEXO C.	79
ANEXO D.	80
ANEXO E.	81
ANEXO F.....	82
ANEXO G.	83
ANEXO H.	84
ANEXO I.....	85
ANEXO J.....	86

Lista de figuras

Figura 1. Estructura del Proyecto IEEE 802	25
Figura 2. Topología Punto a Punto.....	36
Figura 3. Topología Punto Multipunto.....	36
Figura 4. Topología en Malla.....	37
Figura 5. Mapa de San José del Guaviare	40
Figura 6. Mapa satelital de San José del Guaviare.....	45
Figura 7. Diagrama general.....	46
Figura 8. Promedio de megas por usuario.....	49
Figura 9. Usuarios conectados por fibra.....	49
Figura 10. Suscriptores por tecnología.....	52
Figura 11. Suscriptores por tecnología – Colombia TIC.....	53
Figura 12. Internet dedicado por operador	53
Figura 13. Zonas de trabajo.....	54
Figura 14. Host por zonas	55
Figura 15. Mapa – Packet Tracer	56
Figura 16. Conexión de equipos.....	57
Figura 17. Configuración DHCP.....	58
Figura 18. Configuración router.....	59
Figura 19. Asignación IP en Host - Forma 1.....	60
Figura 20. Asignación IP en Host - Forma 2.....	60
Figura 21. Red expandida.....	63

Lista de tablas

Tabla 1. Origen y evolución histórica del internet	20
Tabla 2. Estándares IEEE 802.11	25
Tabla 3. Estándares 802.16	27
Tabla 4. Puntos de referencia	33
Tabla 5. Clases de servicios que ofrece WiMAX	37
Tabla 6. WiMAX vs Wifi.....	38
Tabla 7. WiMAX vs CATV y ADSL.....	39
Tabla 8. Empresas prestadoras del servicio de internet en San José del Guaviare.....	43
Tabla 9. Información solicitada.....	43
Tabla 10. Empresas prestadoras de servicio de internet en San José del Guaviare.....	48
Tabla 11. Suscriptores por tecnología	50
Tabla 12. IP asignada por zona	54
Tabla 13. Red ideal.....	62
Tabla 14. Red con velocidad variable	64
Tabla 15. Red con velocidad fija.....	64
Tabla 16. Diferencias entre redes	65
Tabla 17. Comparación tiempos de respuesta entre redes.....	65
Tabla 18. Comparación tiempos de respuesta entre redes.....	65
Tabla 19. Comparación de redes por tecnología	66
Tabla 20. Equipos seleccionados	66

1. Introducción

En Colombia se han realizado constantes inversiones en los últimos años para llevar el internet fijo a todo el territorio nacional. A septiembre de 2019 se registraron 7 millones de accesos a internet fijo, 337.452 más que en el tercer trimestre de 2018 (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2020). Pese a los incentivos para otorgarle internet a hogares de escasos recursos del país, existe un retraso en la velocidad de descarga en varios departamentos del país. La velocidad de descarga promedio de internet fijo en departamentos como el Guaviare está entre 5,3 Mbps y 5,9 Mbps (González Bell, 2020). San José del Guaviare es uno de los municipios de Colombia, capital del departamento del Guaviare. En este municipio, según la Encuesta Nacional de Calidad de Vida - ECV 2017 (ANDA, 2019), el mayor problema es la conectividad, seguido por el desarrollo de capacidades y habilidades requeridas para utilizar las TIC (Tecnologías de la Información y la comunicación) (Caro Moreno, 2019).

En el estudio de la IST-África se realizó una evaluación en una zona rural de África e indico que las comunidades estaban dispuestas a conocer las tecnologías TIC y así hacerles entender que conectarse con estas ampliará la posibilidad de mejorar su calidad de vida (Gumbo, Jere, & Terzoli, 2012). Existen, entre otros, dos estándares de comunicación, el más conocido de ellos “Wi-Fi” y, el usado en este proyecto para plantear una arquitectura de red, WiMAX. El estándar de comunicación IEEE 802.11 o más conocido “Wi-Fi” es el método de comunicación inalámbrica más usado para conectar los equipos electrónicos a la red. En las zonas de alta densidad poblacional y que tiene desplegada una infraestructura de telecomunicaciones se puede ver que la tendencia a conectarse a internet está creciendo (Grupo de Nuevas Actividades Profesionales (NAP) del COIT, 2004) .

En el año 2018 el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) muestra unos datos donde se evidencia que en los departamentos de Atlántico, Santander, Cundinamarca, Antioquia y Valle del Cauca las velocidades de internet más contratadas son

superiores a 10 Mbps (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2020). Esto se debe, en un principio, a que en dichas ciudades hay desplegada toda una infraestructura de comunicación que sí permite contratar servicio de internet fijo de alta velocidad a precios reducidos, mediante la implementación de la tecnología WiMAX los municipios o pequeñas provincias podrían gozar de los privilegios que tienen los departamentos anteriormente mencionados.

El estándar de comunicación IEEE 802.16 o “WiMAX” es un método de comunicación inalámbrica que funciona mediante radiofrecuencias en las bandas 2.14–2.85, 3.29–4.08, y 5.02–6.09 GHz, tiene una cobertura de entre 40 km y 70 km de distancia brindando una velocidad de conexión de 124 Mbps para un número aproximado de 1000 usuarios (Liu, Ku, & Yang, 2010) (Siebörger & Terzoli, 2010). Los datos anteriormente citados serían más que suficientes para cubrir la necesidad de servicios TIC e internet que puede tener una sociedad o un grupo de habitantes de una población menor a 10.000 hogares, combinando la tecnología WiMAX con otras tecnologías de comunicación se podría incrementar su cobertura hasta alcanzar 30.000 hogares, brindando una velocidad aproximada de 4 Mbps a cada hogar (Siebörger & Terzoli, 2010).

Esta tecnología es muy poco usada en las zonas de alta densidad poblacional pues los edificios y construcciones de mucha altura dificultan su funcionamiento (Calvillo Teribia, 2013). En las áreas rurales no existe una buena infraestructura de comunicación, lo que genera costos elevados en la prestación, adquisición y conexión del servicio de internet, aún más, las empresas que quieren expandir su cobertura, se desinteresan, limitando el servicio a una zona muy reducida.

Todos los departamentos suelen tener una cobertura para escuchar emisora, la cual alcanza aproximadamente entre 5 y 10 Km de distancia por cada antena repetidora, pero no es lo mismo cuando se habla de ver contenido televisivo o tener la oportunidad de navegar en internet, muchas entidades gubernamentales o privadas tienen un gran obstáculo cuando quieren adaptarse a nuevas tecnologías para crecer; la gran dificultad es que el índice de penetración de internet es muy bajo, pues en tan solo 9 de los 32 departamentos de Colombia es mayor al 10% (Ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones, 2018). El problema principal radica en la ausencia de la infraestructura de comunicaciones, las limitaciones económicas, sociales y tecnológicas de la zona.

Según el MinTIC, el despliegue de la red metro de backhaul en zonas urbanas y zonas rurales conlleva a la necesidad de aprovechar los medios de acceso existentes y elegir el que sea más rentable garantizando la calidad de servicio, en Colombia las diferentes opciones para operar son: nodos con accesos de fibra, cable con DSL, PON, microondas, satélite, entre otras (Colombiatic, 2013).

La metodología que se usó consta de 5 etapas, en la primera etapa se hace una búsqueda de información dando como resultado que las entidades del estado tenían información desactualizada de la zona de trabajo seguido de eso se procede a buscar información más actualizada haciendo una breve encuesta a las empresas la cual da suficiente información para crear una tabla donde se pueden observar algunas características de la red implementada en la zona. La segunda etapa se plantea diagrama general de la red y una arquitectura de red que pueda suministrar una velocidad de 10 Mbps para cada host con una latencia en el rango de 15 ms a 60 ms. En la tercera etapa se inicia la simulación de la red en Packet Tracer, se construye todo desde el espacio para tener claras las ubicaciones de los elementos según el mapa y las separaciones de las zonas, del otro lado en el espacio lógico del simulador se trabajan la parte de las conexiones de los equipos, asignaciones de IP, configuraciones de ancho de banda y velocidades de los host. Después de terminar las configuraciones de todos los equipos se comprueba la estabilidad de la red para seguir directamente a la recopilación de datos donde se obtuvieron datos muy favorables, se crea una red adicional a la planteada que lleva la simulación a un ambiente más realista. En la etapa 4 se comparan los datos dando a entender que la red ideal, la red planteada y la red adicional fueron mucho más estable y rápidas que las redes que se encuentran en la zona de trabajo, a excepción de las redes con tecnología de fibra óptica. en la última etapa se da una lista de los equipos similares a los que se usaron en la simulación de la red.

Se concluye que la red puede trabajar en una zona de baja densidad poblacional en forma muy estable teniendo en cuenta ciertos parámetros como el ancho de banda y la velocidad contratada con respecto a la cantidad de usuarios y planes ofrecidos. La implementación de la red por señales no guiadas WiMAX es más económico que la implementación de redes cableadas y la red simulada demostró ser más estable que las redes de transmisión guiadas y no guiadas que se encuentran en la zona.

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente, la velocidad a la que se mueve el mundo nos hace sentir que es imprescindible acceder a una buena conexión de internet; el estudio, las noticias, las investigaciones, los trabajos, entre otros, están ligados a esta herramienta, pero, para algunas personas, acceder a este servicio resulta difícil y costoso.

El principal problema que tiene el municipio de San José del Guaviare con respecto a la conexión de internet, es la ausencia de una infraestructura de telecomunicaciones que permita proveer internet fijo en cada hogar que se encuentra en dicha zona, el problema anterior conlleva a que la población no pueda disfrutar de un servicio de internet de buena calidad. Otras variables que afectan a la

población y a las empresas que prestan el servicio son la cobertura, sobrecostos en el servicio y la limitada velocidad de navegación de internet.

1.2 Justificación

En cuanto a las telecomunicaciones, conocemos de su importancia en la vida de las personas actualmente, sin embargo, no todas las personas en el país cuentan con una conexión estable, generando pérdidas en el comercio, disminuyendo la calidad de vida de jóvenes y adultos, dificultando la salida y entrada de información a entidades corporativas, industrias, hogares entre otros.

En un municipio con poco desarrollo tecnológico como lo es San José del Guaviare, el principal problema que se encuentra con respecto a las telecomunicaciones es la falta de puntos de conexión a internet, lo que pone un límite promedio en velocidad de navegación de 5.6 Mbps. Así mismo, se ven afectados los estandarizados de comunicación que se utilizan normalmente, provocando que la red tenga un bajo índice de conexión con bajas especificaciones (Oficina Asesora de Planeación y Estudios Sectoriales, 2019). La unión de los problemas anteriormente mencionados provoca un alza en la prestación del servicio de internet.

Por otro lado, se podría considerar problema el uso de servidores DNS y Proxy, pues su manutención es costosa y en la zona del Guaviare, dichos servidores no trabajan en tiempo real por la cantidad de usuarios que la red debe soportar. En consecuencia, la red del municipio de San José del Guaviare mantiene constantemente colapsada. Por lo anterior se plantea un proyecto que pretende mejorar el servicio de internet en el municipio de San José del Guaviare, de este proceso pueden resultar unas notables mejoras en la calidad de vida de los habitantes en dicha población, un incremento en el comercio mediante el uso de plataformas digitales o aplicaciones que facilitan la comunicación entre proveedor y cliente.

Se propone el diseño de una arquitectura de red utilizando la tecnología WiMAX, se puede generar un radio de cobertura mayor al de una red Wi-Fi, con la ventaja de poder hacer conexiones punto a multipunto (PTMP) creando una red Metropolitan Area Network (MAN) la cual contendrá redes LAN o VLAN. De este modo, aumentan los puntos de conexión a internet, se utiliza un estandarizado de mayor calidad y, se crean servidores propios del municipio, reduciendo el uso de servidores privados. Como resultado se espera una mejora significativa, bajando los tiempos de latencia, aumentando la transferencia promedio de datos en la red de la zona y, una reducción de costo en el servicio de internet, proporcionando oportunidades nuevas a la población beneficiada

con esta arquitectura de red. Estas zonas pueden gozar de servicios como educación virtual, telemedicina, teleasistencia, generación de empleos y la capacidad de nuevos desarrollos tecnológicos. Esto abriría la puerta para que las poblaciones más retiradas de las áreas urbanas mejoren su conexión con el resto del mundo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseño y simulación de una arquitectura de red para mejorar la conexión a internet en una zona de baja densidad en Colombia, usando tecnología WiMAX

1.3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar las redes que se encuentran en las en la zona de estudio
- Diseñar una arquitectura de red usando tecnología WiMAX.
- Simular y comprobar el funcionamiento de la arquitectura de red diseñada en el software Cisco Packet Tracer.
- Comparar los datos medidos y los datos obtenidos.
- Seleccionar equipos

1.4 Estado del arte

La Ingeniería de telecomunicación es una rama de la ingeniería, que usa la electrónica para resolver problemas de diseño electrónico, interconexión de redes, y transmisión de señales (Tencio, s.f.). Los ingenieros de telecomunicaciones son expertos en tecnología de comunicaciones; son encargados de diseño, investigación y desarrollo de sistemas de comunicaciones por cable y satélite, teléfonos móviles, ondas de radios, internet y correo electrónico (educaweb, 2016). Entre estas herramientas, el internet es una de las redes más grandes de telecomunicaciones a nivel mundial y, su importancia radica en la transmisión de información de forma rápida y eficaz (El Colegio de Michoacán, 2008).

La palabra internet une dos términos: “inter”, que hace referencia a enlace o conexión y “net” de network que significa interconexión entre redes. En conclusión, internet es una red integrada por miles de redes y computadoras interconectadas en todo el mundo mediante cables y señales de telecomunicaciones, que utilizan una tecnología común para la transferencia de datos (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2014). En la siguiente tabla se puede observar un breve resumen del origen y evolución histórica del internet:

Tabla 1. Origen y evolución histórica del internet
 Información tomada de (Vallejos, 2002)

Fecha	Acontecimiento
Finales 60	Proyecto ARPA para construir un sistema de comunicación flexible y dinámico entre computadoras, que permitiera utilizar cualquier tipo de medio y tecnología de transmisión y que siguiera funcionando incluso ante la eventualidad de la destrucción de algunas de sus partes de la red.
1969	Del proyecto ARPA nace la red ARPANET, interconectando 4 grandes computadoras ubicados en distintas localizaciones
Años 70	ARPANET crece lentamente. Banco de datos de investigación y desarrollo
1973-1974	ARPANET usa el protocolo TCP/IP como necesidad de establecer un protocolo de comunicaciones estándar. Empieza a desarrollarse el UNIX por lo que TCP/IP se convirtió casi en sinónimo de UNIX.
1980	ARPANET cuenta con unas 100 computadoras
1981	Aparece el "Usenet news system" servicio de información y foro de debate de la Internet.
1982	Adopción oficial del TCP/IP como protocolo estándar
1983	Interconexión entre ARPANET, MILNET (red militar en USA) y CSNET (red científica). Momento histórico del nacimiento de la Internet.
1986	Nacimiento de la red NSFnet (National Science Foundation), con el objeto de facilitar a toda la comunidad científica americana y a cinco grandes centros de supercomputación la interconexión de datos. Dado su carácter abierto, la NSF desencadenó una explosión de conexiones, sobre todo por parte de las universidades
1990	ISOC (Internet Society) con el fin de promocionar la Internet como solución universal para la comunicación de datos
1991	Debut del gopher de Internet en la Universidad de Minesota. Aparece el servicio de información WWW (World Wide Web) en el CERN de suiza
1995	Privatización de los troncos principales de la red Internet en EE.UU. Aparecen un número importante de proveedores Internet en España.

Los principales servicios que ofrece internet se pueden agrupar en tres categorías (El Colegio de Michoacán, 2008):

- Comunicación

- Acceso de la información
- Búsqueda de la información.

En el siglo pasado la conexión a internet se realizaba mediante un cable de red ethernet con un ordenador de sobremesa caro y difícil de mover (torre más monitor de TRC, o Tubo de Rayos Catódicos), en la actualidad la conexión con toda una cantidad de dispositivos, la mayoría de ellos portables (es decir, de uso personal) y portátiles, hace indispensable una conexión a internet de banda ancha, como con una red inalámbrica correctamente diseñada y configurada para poder aprovechar todo el ancho de banda del proveedor de internet (Universidad de Alicante, 2017)

Para lograr dicha conexión de equipos, se requiere la creación de una infraestructura física que permita la comunicación, así como desarrollos informáticos para asegurar la conexión y la seguridad de la misma, es decir, los protocolos que regulan la prioridad de acceso de unos equipos sobre otros, autorización de uso de la red, lenguaje de comunicación entre ordenadores, etc. Los tipos de conexión a internet son (Blanco Campos, 2017):

- RTC
- RDSI
- ADSL
- Cable
- Vía satélite
- LMDS
- R4edes inalámbricas

Las redes inalámbricas o Wireless son una tecnología normalizada por el IEEE que permite montar redes locales sin emplear ningún tipo de cableado, usan ondas de radio o infrarrojos a frecuencias de libre utilización. Las redes inalámbricas están compuestas con un punto de acceso (AP) que crea un área de cobertura donde los usuarios se pueden conectar y, dispositivos clientes que deben contar con una tarjeta de red inalámbrica.

Actualmente, la expansión de la tecnología Wi-Fi, acrónimo de Wireless Fidelity (fiabilidad sin hilos), está cubriendo hogares y negocios. La causa radica en el hecho que la tecnología Wi-Fi posibilita el acceso móvil de lado ancha a Internet a un coste muy asequible. Posteriormente ha aparecido la tecnología WiMAX, acrónimo de Worldwide Interoperability for Microwave Access (interoperabilidad a nivel mundial por los accesos de microondas) que también ha supuesto un avance importante con respecto al panorama de las tecnologías sin hilos. WiMAX puede trabajar

según diferentes configuraciones, y ofrecer enlaces punto a punto de lado ancho como una alternativa a soluciones de cable o DSL (Fabregat Carnero, 2016).

En (Posada, 2006) se puede evidenciar el diseño de una red WiMAX para el suroriente del Tolima, con una red compuesta por 8 estaciones (Coyaima, Dolores, Guamo, Ortega, Prado, Natagaima, Purificación y Saldaña) que cubre un área aproximada de 2800 km² y una población 173.500 habitantes. Para el diseño de dicha red se asumió un radio de cobertura por celda de 12km y se definen criterios para la disposición geográfica de las celdas, entre los cuales se tienen:

- Dentro del perímetro urbano de la cabecera municipal, la operación y el mantenimiento en caso de una emergencia técnica es más fácil y eficiente.
- Las 8 cabeceras municipales están ubicadas de forma estratégica para cubrir la mayor parte del área objetivo.

De este estudio se concluye que la planeación de una red WiMAX requiere estudios geográficos, económicos, técnicos, sociales, legales e incluso políticos; así mismo, la frecuencia óptima para el diseño de la red es de 5.8 GHz, siendo una frecuencia de uso libre en Colombia y la segunda frecuencia más utilizada por los fabricantes de equipos. Por otro lado, en (Hernández Heredia, 2011) se desarrolla el diseño de una red basada en tecnología WiMAX para la zona rural comprendida entre la vereda Canceles y la vereda Mundo Nuevo del municipio de Pereira, con una población aproximada de 2.434 habitantes y conformada por dos estaciones base posicionadas en los principales cerros que rodean el área de cobertura.

Según las recomendaciones de la UIT, se considera banda ancha al servicio o sistema que requiere canales de transmisión capaces de soportar una velocidad de transmisión de datos igual o superior a los canales primarios, E1 para la norma europea y T1 para la norma americana. Vale aclarar que esta definición de la UIT fue anunciada bajo el contexto de la red digital de servicios integrados RDSI. Como en la actualidad no existe una definición en las normas internacionales para el concepto de banda ancha, la UIT -en el documento "Birth of Broadband"- considera que la banda ancha corresponde a una velocidad de transmisión igual o superior a 256 Kbps. En el marco nacional, la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC) determinó que las ofertas comerciales de banda ancha en Colombia no pueden ser menores a 1 Mbps, a partir del primero de agosto del 2010.

Se evidencia que en Colombia la implementación de una red con el estándar WiMAX móvil está restringida a la adquisición de una licencia para la operación en las bandas de 2.5 GHz y 3.5 GHz. La banda de 3.5 GHz fue entregada en concesión a las tres principales empresas del sector de las comunicaciones por un alto costo en el año de 2005, al igual que la banda de 2.5 GHz, que también

fue otorgada bajo la modalidad de subasta por una elevada suma, a la principal empresa de telecomunicaciones del país.

Para seleccionar la versión estándar de WiMAX a implementar en la red, se consideran algunos factores, como los factores que se deben operar en la banda de frecuencia libre, para evitar el costo de obtener una banda de frecuencia licenciada. Esta determinación obligó a utilizar una versión fija (802.16-2004) del estándar por ser el único estándar que opera en una banda de frecuencia libre y cumple con el marco regulatorio colombiano. En comparación con la implementación del estándar móvil 802.16e, el despliegue de redes WiMAX basadas en el estándar fijo 802.16d tiene un mayor costo económico. Parte de la razón es que el equipo utilizado en el estándar fijo requiere el uso de los siguientes estándares: excepto por personal capacitado Además de la instalación, también se requieren una antena externa y una unidad interna. Al mismo tiempo, el terminal de abonado móvil es un pequeño equipo con todas las funciones integradas y puede ser instalado por el usuario. El desarrollo de la tecnología WiMAX reducirá el costo que deben soportar los operadores al brindar servicios de banda ancha a través de las siguientes redes. Cobre o fibra óptica. Además, la interoperabilidad del procesamiento estándar aumentará la cantidad de equipos proporcionados por los fabricantes aprobados por WiMAX Forum.

Por último, (López Baena, Caballero García, & Slagle Restrepo, 2018) contiene el desarrollo del análisis y diseño de una red de enlace inalámbrica para brindar acceso a internet a la I.E.D. José Benito Vives de Andreis de la Zona Bananera del Departamento del Magdalena. El municipio de la Zona Bananera se encuentra a una distancia de 87km de la capital de santa marta, desde el extremo sur del municipio y a 40 km desde la cabecera municipal, prado Sevilla.

Al evaluar la zona se evidencia interferencias y transmisiones de señales por la misma frecuencia, obstáculos y problemas de señales por los cerros, inadecuado despliegue de antenas, la cobertura de los dispositivos y la polarización de la señal que piden grandes anchos de banda o enlaces punto a punto. Para realizar un análisis topográfico adecuado se usa el software Air Link de Ubiquiti y, con el diseño realizado se logra evidenciar que es la mejor alternativa para poder obtener una mayor cobertura para el acceso a internet, logrando con esto mayor eficiencia en las actividades de toda la comunidad educativa en general.

2. Marco Teórico

2.1 Estándares IEEE

Un estándar es un “sistema de reglas prescrito, condiciones o requerimientos que atañen a las definiciones de los términos; clasificación de los componentes; especificación de materiales, prestaciones u operaciones; delimitación de procedimientos; o medidas de la cantidad y calidad en la descripción de materiales, productos, sistemas, servicios o prácticas” (Escudero Pascual, Unidad 02: Estándares en Tecnologías Inlámbricas, 2007).

Además, un estándar define la tipología, las reglas de acceso y transmisiones al interno de una red, garantizando la amplia difusión de una tecnología específica y, pueden ser abiertos o cerrados (Escudero Pascual, Unidad 02: Estándares en Tecnologías Inlámbricas, 2007).

- Los estándares abiertos están disponibles públicamente y, aunque cualquiera puede implementarlos, pueden mejorar la compatibilidad entre sistemas, aunque los estándares abiertos no los eximen de tarifas ni licencias.
- El estándar cerrado no está disponible públicamente, por lo que puede usarse bajo condiciones restrictivas acordadas con la organización propietaria de los derechos de autor de la especificación.

IEE 802 es el grupo de estándares referentes a redes de área local (LAN) y metropolitanas (MAN) (Escudero Pascual, Unidad 02: Estándares en Tecnologías Inlámbricas, 2007) y posee la siguiente estructura, definiendo tres estratos:

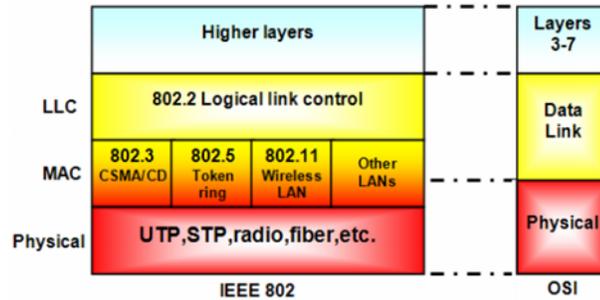


Figura 1. Estructura del Proyecto IEEE 802

Fuente: (Navarro Gaviria, 2011)

- LLC (Logical Link Control): proporciona una interfaz independiente que se ocupa con la capa de enlace de datos y la capa física. Versatilidad en las funciones de los registros de la capa de red que está sobre ella y, comunicación efectiva con las tecnologías que están por debajo.
- MAC (Medium Access Control): protocolos que se deben seguir (por el host) para acceder a medios físicos, fijando en qué momento cada computador transmite datos.
- Physical (Físico): interfaz de las estaciones con el medio de propagación.

Entre las tecnologías encontradas en el protocolo 802.11, se definirán las 802.11 y 802.16.

2.2 Estándar 802.11 - Wifi

El nacimiento del estándar IEEE 802.11 se remonta al año de 1997 el cual especifica dos velocidades de transmisión teóricas de 1 y 2 megabits por segundo (Mbit/s) transmitidas mediante señales infrarrojas (IR) (Alvarez Merchán, 2013)

2.2.1 Principales estándares 802.11

En la siguiente tabla se describen las especificaciones más usadas hasta la actualidad:

Tabla 2. Estándares IEEE 802.11

Información tomada de (Benavente Carmona, 2017)

<p>IEE 802.11a</p>	<p>54 Mbps en la banda de 5 GHz, denominada UNII (Infraestructura de información nacional sin licencia), tiene modulación OFDM (Multiplexación por división de frecuencia ortogonal) y el radio de separación es de 50 m debido a la mayor tasa de absorción.</p>
------------------------	---

IEE 802.11b	Se llama Wifi. Utiliza modulación DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) y puede alcanzar velocidades de 11 Mbps cuando opera en la banda de frecuencia ISM de 2.4 GHz (industrial, científica y médica) y no requiere licencia. La potencia máxima es de 100 MW y se pueden admitir hasta 32 usuarios a través de AP (punto de acceso). Bajo costo, velocidad aceptable y compatibilidad certificada por Wifi Alliance.	
IEE 802.11g	Utiliza la misma frecuencia operativa que 802.11b puede alcanzar velocidades de hasta 54 Mbps, admitiendo modulación DSSS y OFDM. Desde 2005, la mayoría de los dispositivos vendidos en el mercado de redes inalámbricas han seguido la versión 802.11g, que garantiza la compatibilidad con 802.11b.	
ESS Red Mallada IEE 802.11s	Desarrollada por IEEE Task Group (TG), se utiliza para redes de red. Cada nodo está conectado a uno o más nodos, lo que resulta en diferentes formas de transmitir información de un nodo a otro. En una WLAN, el sistema de distribución inalámbrica 802.11s (WDS) se utiliza para configurar automáticamente el enrutamiento entre puntos de acceso. Para lograr esto, la especificación del servidor básico (BSS) se ha cambiado a servidor extendido (ESS).	
IEEE 802.11n	Cambia el formato del marco MIMO (entrada múltiple-salida múltiple). La velocidad de transmisión entre dispositivos Wi-Fi ha aumentado a 600 Mbps.	MIMO. Para mejorar la relación señal / ruido (SNR), se utiliza una tecnología llamada fachada de transmisión, que puede coordinar las señales enviadas por el transmisor. Es muy conveniente cuando se transmite a un solo receptor, pero dado que la fase de la señal transmitida no se puede optimizar, no se utiliza para transmisión de difusión o multidifusión. Realce radial. Incluye mejoras en el uso del entorno de radio para mejorar el rendimiento de la WLAN, como aumentar el ancho del canal, aumentar la velocidad de modulación y reducir el número de terminales.

2.2.2 Funcionamiento básico de tecnología Wifi

Wifi es un tipo de tecnología de red. Originalmente se creó como red de área local de una empresa. Debido a su arquitectura simple y fácilmente ampliable, se ha convertido en una extensa red principalmente en el centro de la ciudad.

Los elementos que forman una red Wifi son:

- Punto de acceso (AP): a veces denominado estación base (BS), permite que los dispositivos inalámbricos se conecten a una red cableada a través de Wifi o estándares de conexión.. (Salazar Soler, 2016)
- Antena: se refiere al envío de una señal a través del aire en modo de onda electromagnética, que contiene un mensaje al instrumento de destino y recoge la respuesta de otro dispositivo.

Existen básicamente 3 tipos de antenas (Barbosa Reyes & Orjuela Ayala, 2010):

- Omnidireccional: transmisión en todas las direcciones dentro de un rango de 360 grados. En comparación con otros tipos de antenas, el alcance es menor.
 - Direccionales: transmitido en una determinada dirección, el haz es más fuerte y el alcance es más largo. Se utiliza para enlaces punto a punto.
 - Sectoriales: transmisión en una dirección. Instaladas en corredores y pasillos.
- Dispositivo externo Wifi: La tarjeta Wifi es una tarjeta de red local que tiene un certificado Wifi y permite la conexión a terminales de usuario en una red 802.11.
 - Antena de usuario: proporciona cobertura necesaria para que el usuario tenga acceso a la red Wifi de la cual está conectado.
 - Conector pigtail: cable que conecta y adapta la tarjeta Wifi y la antena de usuario.

2.3 Estándar 802.16 – WiMAX

Estándar publicado en abril de 2001 que se refiere a enlaces fijos radio con línea de visión directa entre transmisor y receptor, emplea frecuencias dentro de la banda de 10 a 66 GHz para proveer velocidades de transmisión hasta de 13Mbps y sin movilidad.

2.3.1 Principales estándares 802.16

Las diferentes versiones del estándar que se han publicado se encuentran a continuación:

Tabla 3. Estándares 802.16

Información tomada de (Carmona Sánchez, 2015)

IEE 802.16a	Tiene una distancia de trabajo de 40 a 70 kilómetros y opera en la banda de frecuencia de 2 a 11 GHz. Es eficiente para punto a multipunto y para redes de red, no se requiere línea de visión y se permiten velocidades de transmisión teóricas de hasta 75 Mbps. Utiliza las bandas de 3,5 GHz y 10,5 GHz, así como la banda de 2,4 GHz (requieren una licencia en los Estados Unidos y suelen utilizar 5725-5 825 GHz.
----------------	---

IEE 802.16b	Usa bandas de frecuencia de 5GHZ y 6GHZ, brindan calidad de servicio, de modo que se puede usar para transmitir voz y datos
IEE 802.16c	El rango de frecuencia ocupado por IEE 802.16c es de 10 a 66 GHz. Realice el desarrollo, las pruebas y las pruebas de eficiencia de los posibles archivos de configuración del sistema para definir qué funciones no son necesarias y cuáles son opcionales. Tiene tres tipos de modulación: una portadora, una portadora 256 y una portadora OFDM 2048.
IEE 802.16d	Reemplaza el estándar IEEE 802.16a. Soporte para elementos obligatorios y opcionales. En teoría, puede transmitir datos de hasta 70 Mbps en condiciones ideales.
IEE 802.16e	ofrece movilidad y roaming. Conocido como teléfono móvil WiMAX. La velocidad de transmisión de la comunicación inalámbrica en la banda de frecuencia de 2 GHz a 6 GHz es de 15 Mbps. Ha aumentado la movilidad y se espera que se comunique a una velocidad de 120 km / h.

2.3.2 Definición WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access / Interoperabilidad Mundial de Acceso por Microondas) es un sistema capaz de transmitir voz, datos y vídeo de forma inalámbrica en un radio de 48 kilómetros. Se considera una alternativa inalámbrica al acceso de banda ancha por cable y ADSL y es un método para conectar nodos Wifi en una red de área metropolitana. (Belmonte Espejo, 2011) .

Esta tecnología integra los estándares de la serie IEEE 802.16 y los estándares HyperMAN ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones). El primer estándar (802.16) está en la banda de 10-66 GHz y requiere una torre LOS (línea de visión). La nueva versión del estándar utiliza la banda estrecha y las bandas de espectro más bajo de 2-11 GHz, lo que facilita el ajuste. Además, como ventaja adicional, no requiere una torre LOS, sino que solo necesita desplegar una estación base compuesta por antenas transmisoras / receptoras. La estación base tiene una capacidad de servicio de aproximadamente 200 estaciones de abonado (SS) y puede proporcionar cobertura para todo el edificio y el servicio (Ceballos Ojeda, 2006)

2.3.3 Funcionamiento básico tecnología WiMAX

WiMAX es un típico sistema BWA (Broadband Wireless Access) punto a multipunto compuesto de dos elementos clave (R&M International Consulting Group Ltd, 2004) :

- Estación Base (BS) WiMAX. Elemento normalmente identificado por un operador de comunicaciones, y en este elemento hay una o más antenas de retransmisión. El tipo de

antena en este extremo puede ser: omnidireccional (para muchas indicaciones), sector (que cubre un sector específico del área de cobertura) o antena plana (para conexiones punto a punto). Una sola torre WiMAX puede servir a un área grande. (Benavente Carmona, 2017)

- Equipo de abonado (receptor WiMAX). En este momento se instalará un CPE (equipo cliente o equipo cliente local), que constituye la última conexión en este tipo de redes y realiza la transmisión de datos entre el operador y el cliente final. (Benavente Carmona, 2017)
- Algunos dispositivos se pueden usar como repetidores de señal para pasar señales de un dispositivo a otro hasta que lleguen a la estación base WiMAX, desde la cual diferentes dispositivos relacionados pueden acceder a Internet.

2.3.3.1 Características técnicas

WiMAX ofrece una amplia cantidad de características flexibles en cuanto a opciones de despliegue y servicios a ofrecer, entre ellos, se encuentran (Carmona Sánchez, 2015):

- a. Capa física basada en OFDM (Orthogonal Frequency – Division Multiplexing). Esta modulación divide la señal de banda ancha en varias señales de banda de frecuencia reducida. La modulación OFDM es un caso especial de modulación multicanal, en el que se transmiten múltiples datos en paralelo utilizando diferentes subportadoras con bandas de frecuencia superpuestas ortogonales.
- b. Grandes picos de tasas de datos. Cuando se trabaja con un espectro de ancho de banda de 20 MHz, la capa física (PHY) puede alcanzar velocidades de 74 Mbps. Cuando el espectro de ancho de banda de 10 MHz con un esquema de tres a uno se utiliza en sentido descendente y ascendente, respectivamente, la velocidad del enlace descendente es de 25 Mbps y la velocidad del enlace de descarga es de 6,7 Mbps. Estas velocidades máximas de datos se pueden lograr cuando se utiliza la codificación 64QAM con una tasa de corrección de errores de 5/6. En buenas condiciones de señal, se pueden lograr velocidades más altas, así como el uso de múltiples antenas y multiplexación espacial.
- c. Escalabilidad en el ancho de banda y la tasa de datos soportada. WiMAX tiene una arquitectura de capa física escalable que puede expandir la velocidad de datos a través de la disponibilidad de ancho de banda en el canal. Esta escalabilidad se admite en el modo OFDMA, donde el tamaño de la transformación rápida de Fourier (FFT) debe basarse en el ancho de banda disponible en el canal. Esta escalabilidad debe realizarse de forma dinámica para evitar que los usuarios deambulen entre diferentes redes que pueden tener diferentes anchos de banda.

- d. Modulación y codificación adaptativa (AMC – Adaptive Modulation and Coding). Admite múltiples esquemas modulares y mecanismos de corrección de errores (FEC), y permite cambiar esquemas de usuario y esquemas de giro de acuerdo con las condiciones del canal (SNR). AMC es un mecanismo eficaz para maximizar el tráfico en canales que varían en el tiempo.
- e. Retransmisiones en la capa de enlace. Para comunicaciones que requieren alta confiabilidad, WiMAX admite Solicitud de retransmisión automática (ARQ), que se utiliza para verificar errores en la transmisión de datos para garantizar la integridad de los datos en la capa de enlace.
- f. Multiplexaciones en tiempo (TDD) y en frecuencia (FDD). En los estándares IEEE 802.16d y 802.16e se soporta tanto Time Division Duplex (TDD) como Frequency Division Duplex (FDD), y permite un modo Half Duplex FDD (HD-FDD), lo que permite una implementación de bajo coste del sistema.
- g. Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA). 802.16e (teléfonos móviles WiMAX) usa OFDMA, que es similar a OFDM (divide la señal en múltiples subportadoras), pero agrupa las subportadoras en subcanales. Una sola estación cliente suscrita puede usar todos los subcanales en el período de transmisión, o varios clientes pueden usar una parte del número total de subcanales para transmitir simultáneamente.
- h. Técnicas avanzadas de antenas. WiMAX permite el uso de tecnologías basadas en múltiples antenas, como formación de haces, codificación espacio-temporal y multicanal. Soporte de calidad de servicio (QoS): la capa MAC de WiMAX está conectada y está diseñada para admitir una variedad de aplicaciones, incluidos servicios de voz y multimedia. El sistema admite velocidad de bits constante y velocidad de bits variable, admite tráfico en tiempo real y tráfico en tiempo no real. WiMAX está diseñado para admitir múltiples usuarios con múltiples conexiones de terminales, y cada conexión tiene sus propios requisitos de calidad de servicio.
- i. Seguridad robusta. WiMAX admite un cifrado sólido mediante el esquema de cifrado de bloques del Estándar de cifrado avanzado (AES) y tiene un protocolo de administración de claves y privacidad sólido. Además, el sistema proporciona una arquitectura de autenticación muy flexible basada en el Protocolo de autenticación extensible (EAP), que permite una variedad de credenciales de usuario, incluidos esquemas de usuario / contraseña, certificados digitales y tarjetas inteligentes.
- j. Movilidad. La versión móvil de WiMAX tiene un mecanismo que puede mantener una transmisión segura y ahorrar energía para extender la vida útil de la batería de los dispositivos portátiles. También se han agregado mejoras en la capa física, como una evaluación de canales más general, subcanales de enlace ascendente y control de potencia.

- k. Arquitectura basada en IP El WiMAX Forum ha definido una arquitectura de red basada en plataformas IP.

2.4 Características generales de WiMAX

Según (Jarrín Valencia, 2012), WiMAX es una tecnología de red de área metropolitana basada en el estándar IEEE 802.16 MAN, que puede proporcionar conexiones de banda ancha de larga distancia y alta Troughput con una capacidad de conexión de varios metros (PAN) o varios kilómetros (MAN, WAN). Las principales características de la tecnología WiMAX son entre otras (Ponce Gullos & Castillo Rodelo, 2008):

- Tasa de transferencia
- Escalabilidad
- Cobertura
- Calidad de servicio
- Seguridad

2.4.1 Tasa de transferencia

IEEE 802.16 tiene un potente esquema de modulación que puede proporcionar un alto rendimiento en un rango alto y tiene una alta eficiencia espectral, al mismo tiempo que puede soportar reflejos de señal. La modulación dinámica adaptativa permite que la estación base negocie la velocidad de transmisión dentro del rango. Por ejemplo, si la estación base no puede establecer una conexión fuerte con usuarios remotos utilizando el esquema de modulación de orden más alto 64 QAM (Modulación de amplitud en cuadratura), el orden de modulación se reducirá a 16 QAM o QPSK, lo que reducirá la velocidad de transmisión y aumentará el alcance efectivo. (Ponce Gullos & Castillo Rodelo, 2008)

2.4.2 Escalabilidad

802.16 admite canales de ancho de banda flexible. Por ejemplo, si se asigna un espectro de 20 MHz a un operador, el operador puede dividirlo en 2 sectores de 10 MHz o 4 sectores de 5 MHz. Al centrarse en departamentos pequeños, los operadores pueden aumentar el número de usuarios manteniendo una buena cobertura y velocidad de transmisión. Para ampliar aún más el área de cobertura, los operadores pueden establecer su propio aislamiento entre las antenas de las estaciones base y usar el mismo espectro nuevamente en dos o más sectores.. (Ponce Gullos & Castillo Rodelo, 2008)

2.4.3 Cobertura

Además de admitir soluciones modulares potentes y dinámicas, el estándar IEEE 802.16 también admite tecnologías que aumentan la cobertura, incluida la tecnología de malla y las antenas inteligentes. Con la mejora de la tecnología de radio y la reducción de costos, en casos extremos, la capacidad de aumentar la cobertura y la velocidad de transmisión mediante el uso de múltiples antenas para aumentar la diversidad de transmisión y / o recepción aumentará enormemente la cobertura. (Canto, Rivamar, & Soto, 2006).

2.4.4 Calidad de servicio

La función de voz es muy importante, especialmente en los mercados internacionales no cubiertos por el servicio. El estándar IEEE 802.16a incluye una característica de calidad de servicio que permite que los servicios que incluyen voz y video requieran redes de baja latencia. Esta característica permite a los operadores brindar a las empresas niveles de servicio de alto nivel garantizados, niveles de servicio T1 y gran cantidad de servicios. Proporciona simultáneamente servicios de cable doméstico, todos los servicios están ubicados en la misma área de servicio perteneciente a la estación base. (Cadme Samaniego, 2006).

2.4.5 Seguridad

Admite el cifrado de datos mediante el estándar de cifrado AES. Además, cuenta con una arquitectura flexible y confiable basada en el protocolo EAP, que permite el uso de varias credenciales de usuario, incluidos nombres de usuario y contraseñas, certificados digitales y tarjetas inteligentes. (Jarrín Valencia, 2012)

2.5 Arquitectura de red WiMAX

El modelo de referencia de una red WiMAX está compuesto primeramente por elementos conectados entre sí mediante interfaces estandarizadas, estos son:

- a. MS (Mobile Station). En el extremo de la red empleado por el usuario para acceder a la red
- b. ASN (Access Service Network). Comprende una(s) estación(es) base y una(s) pasarela(s) ASN para formar la red de acceso radio.
- c. CSN (Connectivity Service Network). Conectividad IP con funciones IP del núcleo de la red.

El modelo de arquitectura de red desarrollado por el grupo de trabajo del WiMAX Forum define entidades funcionales e interfaces entre dichas entidades (Carmona Sánchez, 2015):

- a. Estación Base (BS). Definido por sector y frecuencia asignada. En el caso de la asignación de múltiples frecuencias de sectores, el sector comprende tantas BS como frecuencias asignadas. Para fines de equilibrio de carga o redundancia, deberá conectarse a varios ASN-GW.
- b. Pasarela de Acceso al Servicio (ASN-GW). La puerta de enlace ASN es una entidad lógica que sirve como punto de convergencia del tráfico de la capa de enlace en el ASN e incluye: funciones de control de consola y enrutamiento de aeronaves o funciones de puente.
- c. Servicio de Conexión a la red (CSN). Funciones y equipos que permiten la conectividad IP a los suscriptores WiMAX. Por ello, el CSN incluye las siguientes funciones:
 - Autorización de conexión de usuario en la capa de acceso 3.
 - Administración de la Qos.
 - Soporte de movilidad basado en Mobile IP.
 - Tunelado (basado en protocolos IP) con otros equipos o redes.
 - Facturación de los suscriptores WiMAX.
 - Servicios WiMAX (acceso a Internet, servicios de localización, conexión de servicios Peer-To-Peer, aprovisionamiento, autorización y/o conexión a gestores de bases de datos o IMS).

Tabla 4. Puntos de referencia
 Información tomada de (Carmona Sánchez, 2015)

PUNTO DE REFERENCIA	CARACTERÍSTICAS	OBLIGATORIO / OPCIONAL
R1	El punto de referencia de la interfaz radioeléctrica entre MS y ASN. Incluye todas las funciones físicas y MAC de los archivos de configuración de WiMAX. Traiga el tráfico de usuarios y mensajes de control de usuarios.	Obligatorio
R2	Es la interfaz lógica entre MS y CSN. Contiene los protocolos y otros procesos involucrados en la autenticación, los servicios de autorización y la gestión de la configuración de IP.	Obligatorio
R3	Es la interfaz lógica entre ASN y CAN. Transmite mensajes de control de aeronaves e información de aeronaves de datos a través del túnel entre ASN y CSN.	Obligatorio
R4	Conecte dos puntos de referencia ASN (ASN perfil B) o dos ASN-GW (ASN perfil A o C). Transporta mensajes	Obligatorio

	de control y planes de datos, especialmente al transmitir usuarios de WiMAX entre ASN / ASN-GW. Tiene interoperabilidad entre ASN de diferentes fabricantes.	
R5	Punto de referencia que interconecta dos CSNs. Consiste en el juego de métodos del plano de control y de datos para la comunicación entre el CSN del NSP visitante y el NSP.	Obligatorio
R6	Es específico para determinados perfiles ASN. Entre aquellos archivos que subdividen ASN en BS y ASN-GW, corresponden a los archivos de configuración A y C. Por lo tanto, este punto de referencia no aplica al perfil B. R6 se encarga de unir BS y ASN-GW. Lleva mensajes de control y datos de aviación.	Obligatorio
R7	R7 es una interfaz lógica opcional entre funciones de decisión y aplicación en el ASN-GW.	Opcional
R8	R8 es una interfaz lógica entre estaciones base y transporta flujo de intercambio del plano de control que sirve para permitir un rápido y eficiente traspaso entre estaciones base	Opcional

2.6 Tipos de acceso

2.6.1 Fijo

Este acceso asume que el usuario puede conectarse y desconectarse en una sola ubicación geográfica, durante el tiempo que accede a la red en el sector de la BS que corresponda (Bacuilima, 2016).

- Servicio limitado a sectores fijos
- Autenticación y autorización del equipo de usuario
- Alternativa a DSL, backhaul para celular y Wifi

2.6.2 Nomádico

El usuario puede conectarse en una ubicación geográfica, durante el tiempo que accede a la red en el sector, si se mueve, se establece una nueva sesión, desconectándose de su unidad fija y reconectándose desde la nueva educación.

- Servicio limitado a sectores estacionarios sin handover de BS
- Autenticación del usuario

- Servicio tipo DSL desde diferentes tipos de conexión, aplicaciones de VoIP.

2.6.3 Portátil

El usuario puede conectarse y desconectarse dentro de un área de cobertura, manteniendo una sesión operacional a medida que se mueve a velocidades pedestres, posee handover limitado a medida que se mueve a una celda diferente.

- Servicio a sectores estacionarios o cono movilidad limitada
- Autenticación del usuario
- Degradación de QoS durante handover no continuos
- Aplicaciones de VoIP.

2.6.4 Móvil

Existen dos tipos de movilidad en las redes WiMAX, una simple y una completa.

- a. La movilidad simple permite a los usuarios conectarse dentro del área de cobertura y en aplicaciones sin requisitos de tiempo real, cuando se mueven entre BS a una velocidad inferior a 60 km / h, pueden mantener una breve sesión operativa interrumpida.
- b. La movilidad total permite a los usuarios conectarse dentro del área de cobertura, mantener sesiones operativas con interrupciones casi imperceptibles y moverse entre BS a velocidades de hasta 120Km / h, brindando así continuidad a todas las aplicaciones.

2.7 Topologías de red

La topología de red es la forma física y lógica como está estructurada la red y la forma como están conectadas las estaciones (Cano Garzón, 2011). Existen tres tipologías basadas en nodos para el diseño de redes inalámbricas que son: punto a punto, punto multipunto y en malla.

2.7.1 Topología Punto a Punto (PtP)

Este es el modelo más básico de una red inalámbrica y permite conectar dos ubicaciones diferentes a través de una conexión inalámbrica. Esta topología requiere dos antenas de alta ganancia que se comuniquen directamente entre sí. Estos enlaces se utilizan principalmente para enlaces de alto rendimiento o enlaces de interconexión de alta capacidad. La topología PtP en el entorno WiMAX se utiliza para el enlace BS (Prasad & Velez, 2010)

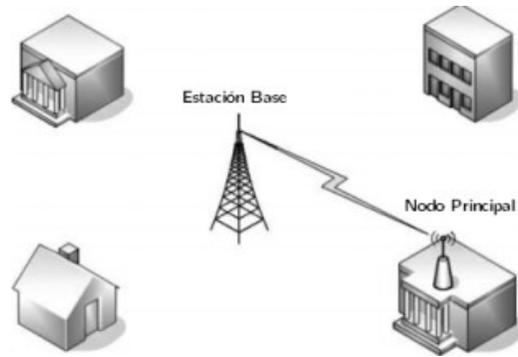


Figura 2. Topología Punto a Punto
Fuente: (Cano Garzón, 2011)

2.7.2 Topología Punto Multipunto (PtM)

Esta topología consta de un nodo maestro con una antena omnidireccional o varias antenas direccionales, que irradian señales a las estaciones de suscripción en el área de cobertura. Este modelo es más simple que PtP porque si se agregan otros suscriptores, solo es necesario instalar el dispositivo cliente (Ahson & Ilyas, 2018).

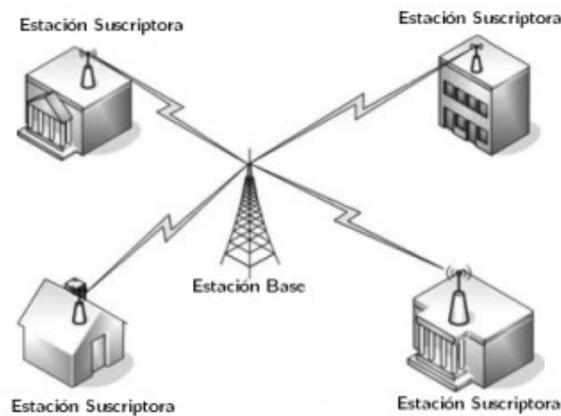


Figura 3. Topología Punto Multipunto
Fuente: (Cano Garzón, 2011)

2.7.3 Topología en Malla

Es la topología más reciente capaz de expandir de manera eficiente y flexible los servicios inalámbricos de banda ancha. En una conexión de red, cada nodo tiene conexiones redundantes con otros nodos de la red. Este modelo permite que cada estación de usuario actúe como un nodo, permitiendo que la información se transmita a otros nodos cercanos a la red. La red establecida en esta topología "aprenderá" automáticamente la ruta a los otros nodos. Si un nodo abandona la red, otros nodos utilizarán otras rutas para equilibrar el tráfico a su alrededor. Este es un aspecto

importante porque cada nodo tiene funciones operativas, lo que hace que la red sea más robusta y confiable (Cano Garzón, 2011).

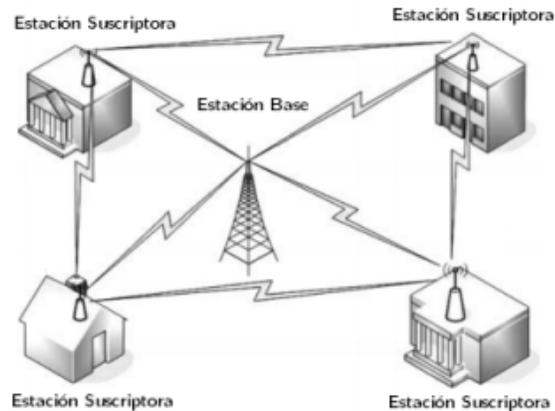


Figura 4. Topología en Malla
Fuente: (Cano Garzón, 2011)

2.8 Aplicaciones que ofrece WiMAX

Los operadores que administran redes de acceso WiMAX pueden proporcionar servicios de datos, visión y voz en áreas donde no existe una infraestructura cableada tradicional o donde solo un número limitado de usuarios puede acceder.

Si bien es cierto que esta red inalámbrica no puede reemplazar las redes cableadas, si pretende combinar estas tecnologías en busca de soluciones de bajo costo y una efectiva prestación de servicios. Dentro de los diversos escenarios donde se puede aplicar la tecnología WiMAX están (Bacuilima, 2016):

- Enlaces de última milla para radio bases de telefonía móvil
- Acceso de banda ancha en áreas urbanas y rurales sin infraestructura de cobre
- Wireless VoIP
- VoD
- Aplicaciones de seguridad y monitoreo
- Comunicación multimedia
- Redes de sensores, telemática y telemetría
- Monitoreo remoto de signos vitales de pacientes

En la siguiente tabla se muestra se muestra como se ha desarrollado para dirigirse a una amplia gama de aplicaciones.

Tabla 5. Clases de servicios que ofrece WiMAX
Información tomada de (Bacuilima, 2016)

CLASS DESCRIPTION	REAL TIME	APPLICATION TYPE	BANDWIDTH
Interactive gaming	Yes	Interactive gaming	50 – 85 kbps
VoIP, Video Conference	Yes	VoIP	4 – 64 kbps
		Video Phone	32 – 384 kbps
Streaming Media	Yes	Music / Speech	5 – 128 kbps
		Video Clips	20 – 384 kbps
		Movies Streaming	> 2 Mbps
Information Technology	No	Instant Messaging Web Browsing	< 250 byte messages > 500 kbps
		Email (with attachments)	> 500 kbps
Media Content Dowland (Store and Forward)	No	Bulk Data, Movie Dowland	> 1Mbps
		Peer-to-Peer	> 500 kbps

2.9 Comparación WiMAX con otras tecnologías similares

2.9.1 WiMAX frente a Wifi

Estas dos tecnologías son similares porque ambas son inalámbricas, la diferencia entre ellas es que una está diseñada para red de área local (LAN) y la otra está diseñada para red de área metropolitana (MAN) (Calvillo Teribia, 2013).

Tabla 6. WiMAX vs Wifi

Ventajas WiMAX	Desventajas WiMAX
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor alcance y rendimiento que Wifi • Protocolo MAC más eficiente y ordenado • Calidad de servicio y la seguridad están previstas desde el principio y hay una capacidad mínima garantizada para cada estación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor costo en equipos que en Wifi

La comparación de estas dos tecnologías radica en el costo elevado de una y, el corto alcance de la otra, por lo que combinar estas dos redes inalámbricas podría ser eficiente. Se puede utilizar WiMAX para redes LSP y Wifi para redes domésticas.

2.9.2 WiMAX frente a CATV y ADSL

La principal diferencia entre las redes CATV y ADSL con tecnología WiMAX es el uso de cables, lo que dificulta la conexión en áreas de amplia cobertura (vista directa o corta distancia) en áreas rurales o suburbanas y urbanas.

Tabla 7. WiMAX vs CATV y ADSL

Ventajas WiMAX	Desventajas WiMAX
<ul style="list-style-type: none"> • Despliegue más rápido • Bajo costo de las infraestructuras • Mejor cobertura en zonas rurales o suburbanas donde hay media o baja densidad poblacional 	<ul style="list-style-type: none"> • No se puede garantizar servicios a todos los usuarios • Señal depende de varios factores, entre otros: dispersión, humedad, bloqueos.

2.10 Diseño de una red WiMAX

Luego de explicar las características de la tecnología WiMAX en el capítulo anterior, este apartado continúa con el diseño actual de la red, que ha cubierto la ciudad de San José del Guaviare. El sitio web seleccionado existe geográficamente, pero el servicio que desea brindar no es real. Solo está diseñado para el propósito de este proyecto, teniendo en cuenta la situación real y la ubicación.

2.10.1 Análisis demográfico

El área de implementación de la red está en el municipio de San José del Guaviare, capital del Guaviare. El área municipal es de 13.912 km² y limita al Norte con La Macarena, Vista Hermosa, Puerto Rico, Puerto Concordia y Mapiripán (Meta) y Cumaribo (Vichada), al Este con corregimientos departamentales de Mapiripán y Morichal (Morichal Nuevo) (Guainía), al Sur con El Retorno y Calamar (Guaviare) y al Oeste con La Macarena (Meta). Cuenta con el corregimiento de El Capricho y las inspecciones de policía de Boquerón, Cachicamo, Charras, El Limón, Guacamayas, La Carpa, Mocuare, Nuevo Tolima, Puerto Nuevo, Puerto Ospina, Resbalón y Tomachipán. Para el primero de enero de 2016 registra 10.871 predios urbanos y 3.493 rurales (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2016).

En el mapa se muestra la ubicación del municipio de San José del Guaviare.



Figura 5. Mapa de San José del Guaviare
Fuente: (Alcaldía de San José del Guaviare, 2020)

La última población conocida del municipio es de 66.700 en el año 2017, Este fue 0.136% del total población Colombia. Si la tasa de crecimiento de la población sería igual que en el periodo 2015-2017 (+1.63%/Año), San José del Guaviare la población en 2020 sería: 69 997 (Population.city, s.f.).

2.10.2 Elección frecuencia de transmisión

Para el proyecto, hay que elegir la frecuencia a la que se va a transmitir, vista las opciones:

- Banda con licencia (2,5 GHz – 3,5GHz)

Proporcionan una alta confiabilidad cuando se trata de problemas de interferencia. Las bandas de frecuencia con licencia son ideales para áreas metropolitanas donde el espectro electromagnético se usa ampliamente. Para utilizar una de estas bandas, el operador debe obtener una licencia de operación y el proceso depende del país en el que desea operar. Se pueden obtener a través de ofertas públicas o subastas, para obtenerlos hay que pagar un precio elevado (Hernández Heredia, 2011).

- Banda libre (a partir de 3,5 GHZ)

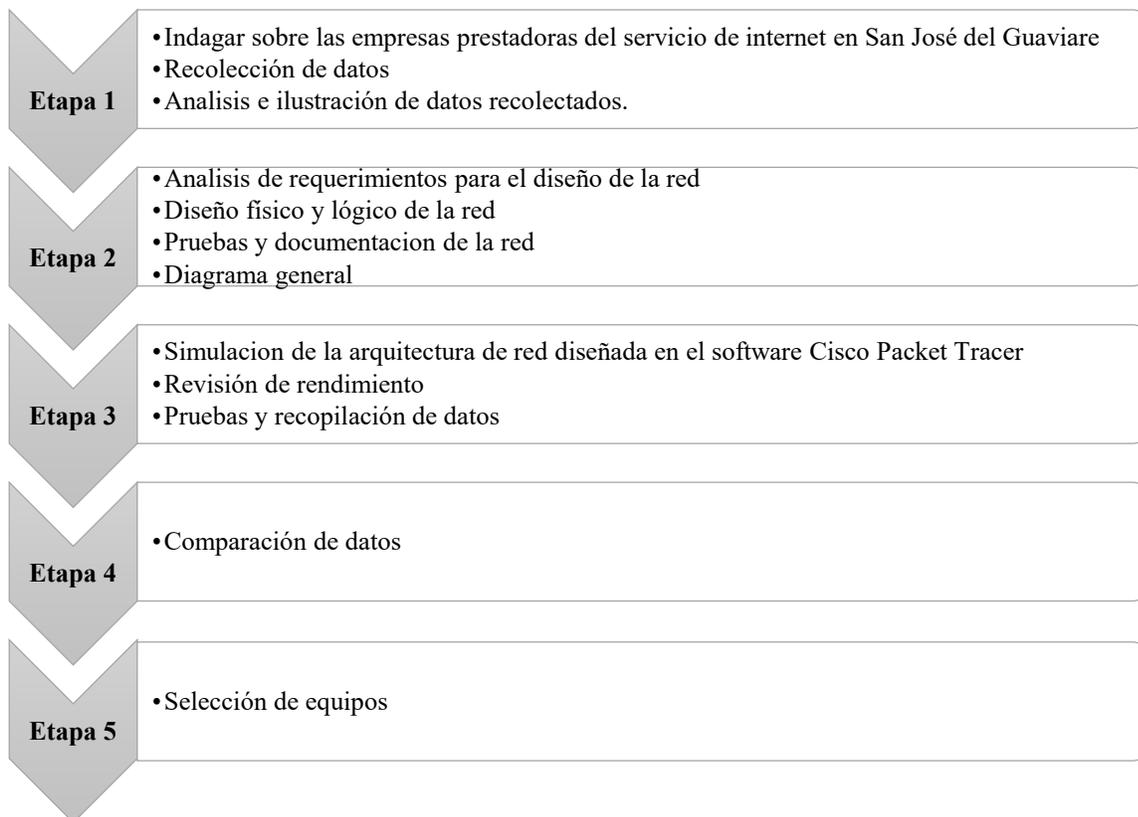
Por otro lado, la principal ventaja de transmitir en bandas gratuitas o sin licencia es el menor costo, ya que son bandas gratuitas, por lo que no hay necesidad de pagar. Además, estas frecuencias tienen mayor escalabilidad e interoperabilidad. La principal desventaja es que la solución de ancho de banda libre está limitada en términos de potencia de salida o transmisión, y como no hay una frecuencia dedicada, tiene una gran cantidad de señales de interrupción.

2.10.3 Propagación L.O.S vs N.L.O.S

Los canales de radio en los sistemas de comunicación inalámbrica a menudo se describen como "línea de visión" (LOS) o "sin línea de visión" (NLOS). En el enlace LOS, la señal se transmite desde el transmisor al receptor a través de una ruta directa sin restricciones. En el enlace NLOS, la señal llega al receptor a través de reflexión, difracción y propagación. La señal que llega al receptor incluye el camino directo, múltiples caminos de reflexión, energía dispersa y elementos del camino de propagación por difracción. Estas señales tienen diferente retardo, atenuación, polarización y estabilidad que la ruta directa. (Sánchez Sierra, 2007).

3. Metodología

En el siguiente diagrama se describe la metodología que se desarrolla a lo largo de cinco (5) etapas, cada una dependiente de la anterior:



3.1 Recolección de información

Como parte inicial del Desarrollo de este Proyecto, se realiza una entrevista de forma personal con ingenieros, asesores de venta y técnicos de empresas prestadoras del servicio de internet en el municipio de San José del Guaviare.

Las empresas prestadoras de servicio entrevistadas para el fin de esta etapa del Proyecto se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Empresas prestadoras del servicio de internet en San José del Guaviare

Nombre de la empresa
ETM S.A.S
SISCO TELECOMUNICACIONES
PUNTO RED TELECOMUNICACIONES
DIRECTV
TVI DIGITAL S.A.S

Las preguntas realizadas a las personas que atendieron la visita realizada se basan en la información que se requiere para el diagnóstico de la red que se va a realizar y, otros factores que se deben tener en cuenta si se desea realizar una red que sea beneficiosa para los usuarios en relación costo-beneficio.

Tabla 9. Información solicitada

Datos
Velocidad contratada en Mb/s
Cantidad de usuarios inscritos
Forma de conectarse a internet de la empresa
Usuarios conectados por fibra
Usuarios conectados por RE
Usuarios conectados por servicio móvil
Usuarios conectados por coaxial
Análisis de performance en la red
Costo de suscripción
Precio por 1 Mb/s
Precio promedio por Mb/s, más adquirido
Puntos de conexión total
Cantidad de técnicos
Cantidad de ingenieros
Promedio de Mb/s dedicadas por usuario

3.2 Análisis de información

Existen algunas herramientas que se encargan de analizar el rendimiento de la red, dichas herramientas ayudan a las empresas prestadoras del servicio de internet analizando el comportamiento de la red ante la suscripción de más usuarios, horas de colapso “cuello de botella”, tiempos de respuesta altos, reportes en la pérdida de paquetes, entre otros. Esta información, se puede aprovechar para mejorar el servicio en las empresas, así, si una de las 5 encuestadas lo usa, hay 2 empresas que deberían adquirir estas herramientas para que sus usuarios tengan un mejor servicio.

Aprovechando los estudios de las empresas, se puede calcular un precio promedio, el cual la población esté dispuesta a pagar por un servicio que cumpla lo que las empresas prestadoras del servicio ofertan, de tal forma que:

- Evitar que se realicen pagos por una cantidad de megas y llegue una cantidad diferente, pues se da muy seguido en lugares donde la cantidad de usuarios supera la cantidad de megas mínimas que vende la empresa, provocando que las megas dedicadas que adquirió el usuario se convierten en megas compartidas con todos los usuarios de la empresa
- Lugares donde llegan todas las conexiones de la empresa y tienen un máximo ancho de banda, que depende de la velocidad máxima contratada por la empresa y del número de equipos dentro del RACK. Cuando el equipo se queda sin ancho de banda suficiente para los usuarios ocurren dos casos, por un lado, no los deja que los usuarios naveguen en la red y, por otro lado, les comparte la cantidad de megas entre la cantidad de usuarios de ese punto, ancho de banda compartido y no dedicado. A ciertas horas sube o baja la velocidad.

Según los resultados obtenidos en la tabla 17 y la información vista en la figura 8, se plantea una arquitectura de red para el municipio de San José del Guaviare, dicha red debe cumplir características como: velocidad mínima de 10 Mb/s para cada usuario, una latencia estable entre 15 ms y 60 ms, la utilización de herramientas de análisis en la red. Hay que tener presente las limitaciones de ancho de banda en cada zona con el fin de no generar un cuello de botella en la entrada y salida de información.

También se debe tener en consideración que, por cada 100 usuarios suscritos a la red, la empresa prestadora de servicio, debe tener como mínimo un técnico, ingeniero o especialista. Por último, para prestar un adecuado servicio y, ser diferente a otras empresas existentes, se debe respetar la cantidad de velocidad ofrecida con respecto a la velocidad adquirida.

3.3 Diseño físico y lógico de la red

3.3.1 Diseño físico

Se inicia una adecuación física de la zona de trabajo mediante un mapa, para fines de este proyecto, se utiliza un mapa satelital del municipio de San José del Guaviare observado en la figura 6.



Figura 6. Mapa satelital de San José del Guaviare
Fuente: (Google Earth, s.f.)

Las redes con tecnología WiMAX están pensadas para conectar aproximadamente 1000 usuarios por antenas, en este caso no se van a conectar los usuarios directamente a la antena, por el contrario, se tiene planteado que los hogares se conecten a subestaciones de la zona que estarán conectadas a la antena principal, esto con el fin de que se pueda custodiar y controlar la cantidad de ancho de banda que se va a dedicar a cada zona.

3.3.2 Diseño lógico

Una vez se separan las zonas de trabajo, se le asigna a cada zona una dirección IP; como son 19 zonas se puede usar una dirección IP clase B para cada zona. Se debe tener en cuenta que el primer octeto de las IP clase B está en el rango de 128 a 191 dando una cantidad aproximada de 15.939 Host. En la simulación se va a asumir que en cada manzana del casco urbano hay un usuario con el

servicio, esto daría un total de 398 usuarios, dando a los usuarios un máximo de 24 IP por cada servicio adquirido, ocupando máximo de 9552 IP.

De igual modo, mediante la herramienta Packet Tracer se va a simular una red con tecnología WiMAX, con una topología en estrella y sub estaciones por cada zona, como se observa en el diagrama general. Todas las zonas se van a conectar a una antena y en dichas zonas se va tener los usuarios que se conectan a subestaciones las cuales reparten ancho de banda de forma más eficiente.

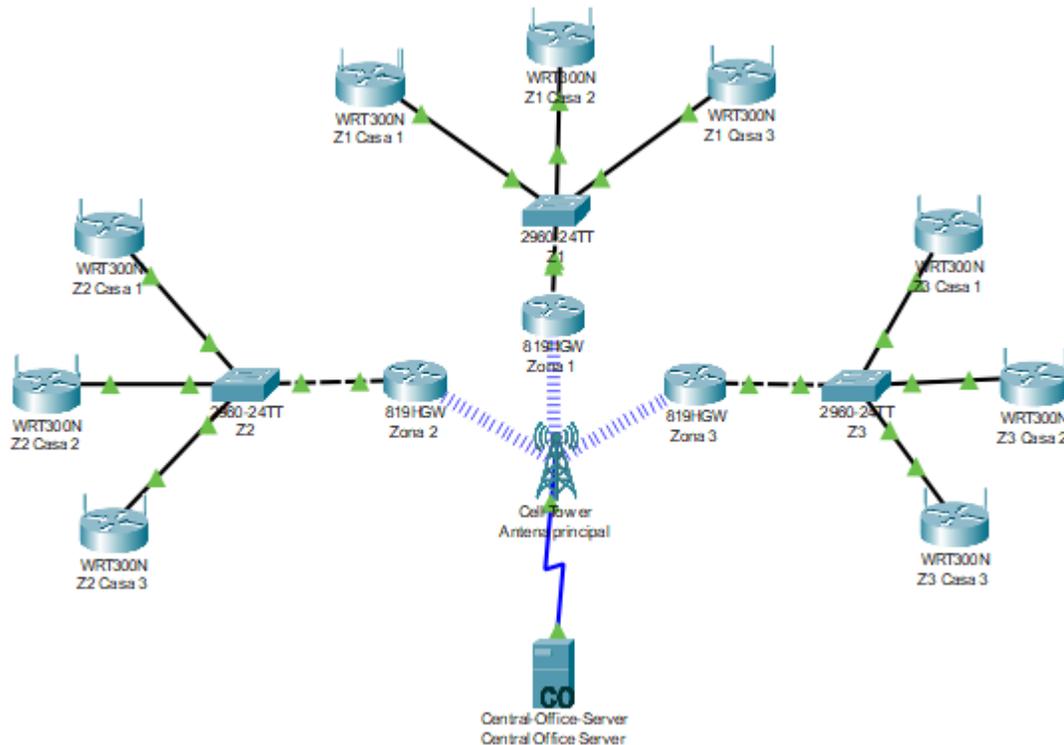


Figura 7. Diagrama general

Para obtener los resultados de la red se van a medir los tiempos de respuesta de las redes simuladas, en este caso se va a plantear una red ideal la cual contará con un host por zona el cual tendrá un ancho de banda y una velocidad de 100 Mbps. Partiendo de la red ideal, la red se expandirá de tal forma que cada manzana de la zona tendrá un host para simular un tráfico en la red en este caso cada host tiene una velocidad de 10 Mbps sin importar la zona y las zonas tienen un ancho de banda que varía según la cantidad de host que tenga dicha zona. Por último, se plantea una red saturada en la cual cada zona tiene el mismo ancho de Banda y la misma velocidad que se utilizó en la red ideal, pero tiene la misma cantidad de host que tiene la red planteada esto para tener una red un poco más cercana a la de los datos recolectados.

4. Resultados

Tras la indagación a las empresas que prestan el servicio de internet en el municipio de San José del Guaviare, se obtienen los datos registrados en la tabla 10, entre ellos, los puntos de conexión es la cantidad de puntos que tiene cada empresa para derivar el servicio según la zona en la que va a trabajar, una gran cantidad de punto junto a una buena topología de red puede garantizar un internet más estable, mediante algunas herramientas de análisis de performance en la red estos puntos de conexión pueden dar información que revelan el comportamiento de la red: horas donde ocurren caída de red, soluciones al tráfico de la red sin mucha inversión, mejorar la red, red fluida. Si la empresa es nueva no necesita muchos puntos de conexión, esto se van poniendo a medida que la empresa se vaya expandiendo.

Tabla 10. Empresas prestadoras de servicio de internet en San José del Guaviare

Nombre de la empresa	Velocidad contratada (Mb/s)	Usuarios inscritos	Forma de conexión a internet de la empresa	Usuarios conectados por fibra	Usuarios conectados por radio enlace (RE)	Usuarios conectados por servicio móvil	Usuarios conectados por coaxial	Análisis de performance en la red	Costo de suscripción	Precio por Mb/s	Precio promedio por Mb/s, más adquirido	Puntos de conexión total	Cantidad de técnicos	Cantidad de ingenieros	Promedio Mb/s dedicadas por usuario
ETM S.A.S	1024	800	Fibra óptica	400	400	0	0	No	\$ 150,000	\$ 7,083	\$ 7,500	3	4	1	1.28
SISCO TELEC.	1024	300	Fibra óptica	24	276	0	0	Si	\$ 140,000	\$ 10,500	\$ 12,000	15	6	0	3.41
PUNTO RED TELEC.	1024	400	Fibra óptica	400	0	0	0	No	\$ 140,000	\$ 6,678	\$ 10,000	1	4	1	2.56
DIRECTV	5120	9000	Fibra óptica	0	270	8730	0	No	\$ 60,000	\$ 11,397	\$ 18,475	8	8	0	0.57
TVI DIGITAL S.A.S	2048	4800	Fibra óptica	0	0	0	4800	No	\$ 30,000	\$ 15,300	\$ 15,000	300	12	2	0.43

En dicha tabla, se ven 5 de las empresas prestadoras del servicio de internet porque las otras empresas tienen porcentaje bajo de usuarios y otros, no quisieron responder la encuesta y, también se puede evidenciar la cantidad de usuarios suscritos en las empresas y, ello sirve como guía para saber aproximadamente cuantas personas están dispuestas a adquirir un servicio de conexión a internet en la zona, además sirve como referencia de la figura 8.

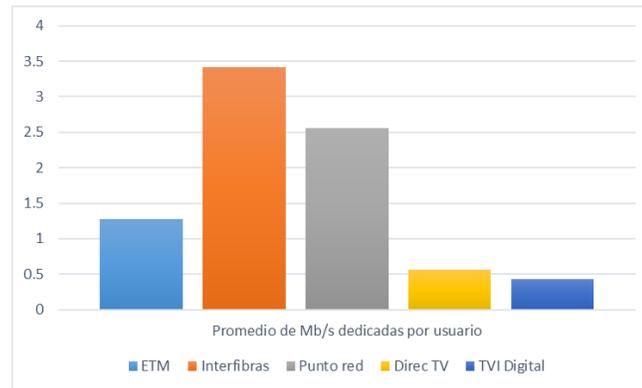


Figura 8. Promedio de megas por usuario

Anteriormente, se evidencia el resultado de la división entre la velocidad contratada por la empresa y el número de usuario suscritos a dicha empresa, en este caso se va a observar la cantidad de megas que obtendría cada usuario en las horas pico, es decir, en caso de que simultáneamente se conecten todos los usuarios que pertenecen a la red de una empresa.

Por otro lado, la figura 9 indica la cantidad de personas que tiene un internet estable a comparación de los que adquieren otros medios de conexión, basta con decir que según la encuesta que se realizó, los funcionarios de las empresas que atendieron la entrevista realizada aseguraron que los usuarios que se conectaron por fibra óptica tuvieron que pagar un costo extra de instalación, para adquirir el servicio.



Figura 9. Usuarios conectados por fibra

Según los resultados obtenidos en la tabla 10, una red que funcione de forma estable en el municipio debe contar con un velocidad mínima de 10 Mb/s para cada usuario, una latencia estable entre 15 ms y 30 ms, la utilización de herramientas de análisis en la red, una cantidad aproximada de 1 técnico por cada 100 usuarios suscritos a la red que tenga mínimo un ingeniero o especialista, por ultimo algo que no cumplen casi las empresas y es respetar la cantidad de velocidad ofrecida con respecto a la velocidad adquirida.

Se busca simular una red eficiente, económica y que cumpla con las especificaciones anteriormente planteadas usando tecnología WiMAX. La arquitectura de red que se va a simular usando tecnología WiMAX y, aunque no tendrá mejores especificaciones que una red que este diseñada para funcionar por fibra óptica, la red tendrá una gran cobertura, facilidad de expansión en área, costos de instalación reducidos, evitaría el costo de suscripción y daría un mayor control del ancho de banda adquirido entre otros factores que se pueden encontrar en la simulación.

Por otra parte, también se realiza una comparación entre las diferentes tecnologías de comunicación que usan las empresas de la zona para que los usuarios suscritos a dichas empresas puedan conectarse a internet, dando como resultado la siguiente tabla.

Tabla 11. Suscriptores por tecnología

Tecnologías de comunicación	Conexiones por fibra óptica	Conexiones por Radio enlace	Conexiones por internet móvil	Conexiones por cable coaxial	
ETM S.A.S	400	400	0	0	
SISCO TELEC.	24	276	0	0	
PUNTO RED TELEC.	400	0	0	0	
DIRECTV	0	270	8742	0	
TVI DIGITAL S.A.S	0	0	0	4800	
Total usuarios	824	946	8742	4800	15312
Total usuarios %	5%	6%	57%	31%	

Los usuarios conectados por fibra óptica tienen tiempo de respuesta más rápido que otros usuarios, oscilando, según las pruebas, entre 8 ms y 12 ms, siendo señalada por brindar una conexión más estable y la mejor tecnología para conexión a internet (Abreu, y otros, 2009) .

Los usuarios conectados por radio enlace, tienen una conexión más efectiva y económica si están a largas distancia, su tiempo de respuesta 138 ms a 300 ms, es más lento en comparación de las redes cableadas. En el municipio de San José del Guaviare, las empresas que utilizan radio enlaces no tienen en cuenta muchos factores al momento de montar la red, impidiendo que se cumpla con la velocidad mínima que le ofrecen al usuario, algo más importante es la cantidad de usuarios suscritos a la empresa frente a la cantidad de megas que contrata la empresa. Esta empresa no tiene fuentes de respaldo de energía en caso de un corte de energía.

Usuarios conectados por redes móviles con la empresa DIRECTV, la empresa cuenta con el 57% de la totalidad de los usuarios que pueden adquirir un servicio de internet en el municipio de San José del Guaviare, de los 9012 usuarios que tiene esta empresa solo el, 3% de estos usuarios se conecta a internet por Radioenlaces, este modo de conexión cuenta con 7 antenas para conectarse de punto a multipunto. El otro 97% se conecta por red móvil, existen 14 antenas en el casco urbano del municipio, a las cuales están conectados 8.742 dispositivos, generando tiempos de respuesta en intervalos de 225 ms y 1s según la zona en que se encuentre, sin tener en cuenta los otros 26.000 posibles dispositivos móviles de la población del casco urbano. DIRECTV debería informar a todos sus usuarios que no puede garantizar una conexión estable y, que la velocidad máxima a la que se puede navegar si todos los usuarios de dicha empresa están conectados es de 0,56813138 Mb/s.

Los usuarios conectados por cable coaxial con la empresa TVI Digital, siendo la segunda empresa con más usuarios suscritos al servicio de conexión a internet, cuenta con el 31% de la totalidad de los usuarios que pueden adquirir un servicio de internet en el municipio de San José del Guaviare, esta empresa cuenta con una cantidad de aproximadamente 4.800 usuarios suscritos al ser conexiones por cable coaxial tiene una gran cantidad de punto de conexión de internet para los usuarios, los tiempos de respuesta del internet de esta empresa oscilan entre 19 ms a 201 ms. Los técnicos que tienen no son suficientes para la cantidad de usuarios que tiene, a eso se le suma las múltiples fallas que trae la empresa desde hace ya hace unos años, la velocidad promedio en las horas pico alcanza un máximo de 0,426666667 Mb/s.

Lo anteriormente desglosado, se evidencia en la gráfica que corresponde a la tabla 10.

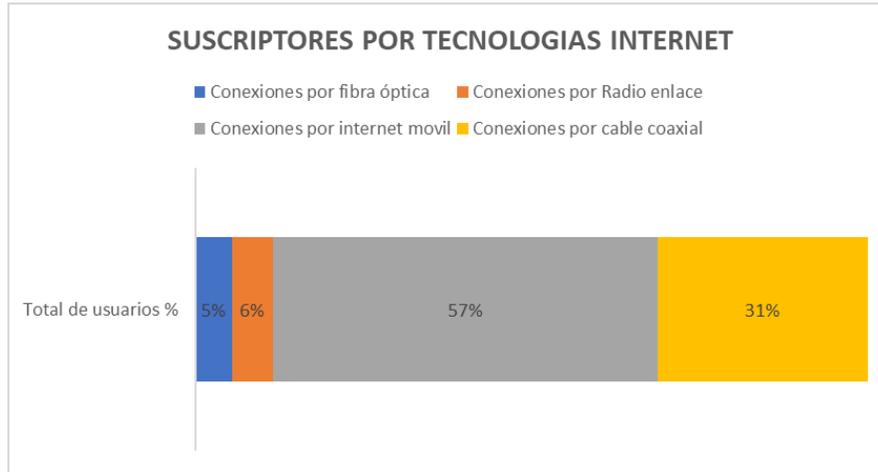


Figura 10. Suscriptores por tecnología

Según cifras del DANE hasta el año 2016, 10 compañías prestaban el servicio de conexión a internet en el municipio de San José del Guaviare, contando con 3.675 usuarios (Colombia TIC, 2016). Según el DANE para el año 2018 esta cifra ya era mayor ya que el 44.5% de los hogares del Guaviare se encuentran conectados a internet por algún tipo de conexión ya sea móvil, fija u otro medio (DANE, 2019).

Teniendo en cuenta los datos adquiridos de las 5 empresas encuestadas, de los 45.051 hogares del municipio de San José del Guaviare (DANE, 2018), 15.312 están conectados a internet es decir que el 33.99% de los hogares del municipio tienen conexión a internet, estas cifras son sin contar las otras 2 empresas de internet que están en la zona, tampoco se tuvo en cuenta los usuarios que tienen adquirido servicio de internet con las empresas Claro y Movistar.

Lo anteriormente visto en la figura 10, entra en comparación con las figuras 11 y 12.

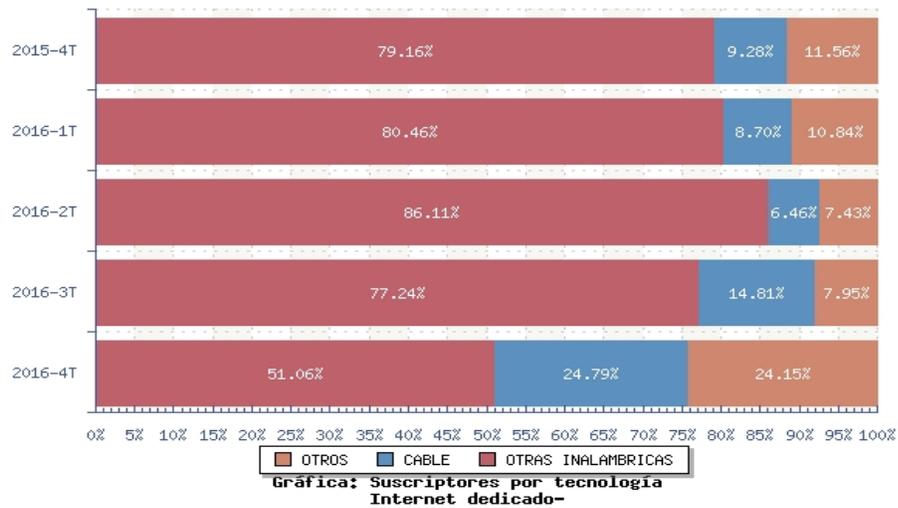


Figura 11. Suscriptores por tecnología – Colombia TIC
Fuente: (Colombia TIC, 2016)

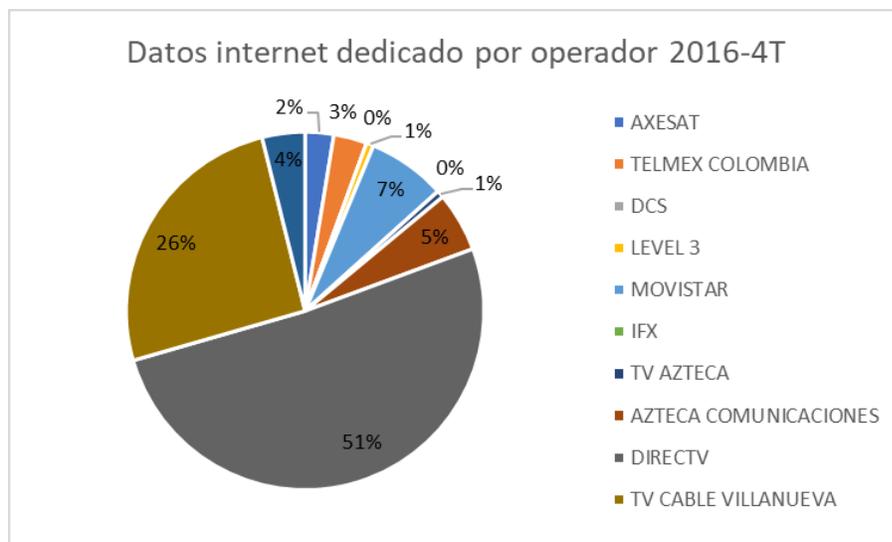


Figura 12. Internet dedicado por operador
Fuente: (Colombia TIC, 2016)

El DANE estima la población del Guaviare en 45.051 viviendas. Para las proyecciones que estima el DANE en la cantidad de habitantes que vivirán en San José del Guaviare, se plantea un modelo de conexiones por zonas, esto lo que hace es que a medida que las personas se vayan estableciendo en zonas anteriormente desaviadas se van integrando equipos para expandir la cobertura, también hay que tener en cuenta que se debe contratar más velocidad de conexión entre las empresas proveedoras de servicios y las empresas que venden el ancho de banda a dichas empresas que prestan el servicio.

Para establecer la zona de trabajo en el municipio, se utiliza el mapa de la figura 6. Se marcan pequeñas zonas bajo la asesoría de un encuestador y trabajador del DANE; se dispusieron finalmente 19 zonas con criterios tales como: crecimiento de la zona, seguridad, ingresos, desarrollo comercial entre otros. Una vez obtenidas las zonas de trabajo se tiene la estructura del diseño físico de la red, en esta parte se decide la ubicación de los equipos y la topología de red que se va a usar, lo anterior es, información principal para ubicar es la antena que va a dar cobertura a la zona. Se toma la decisión de poner la antena en un punto central en el casco urbano y, de igual manera, que está cerca al comercio de la zona, esto con el fin de buscar una buena cobertura y de estar en una zona donde pueda brindar servicios a entidades públicas, privadas, industrias y hogares. Se toma esta decisión porque en cercanías de la zona 9 hay sectores que necesitan un servicio con mayor velocidad de internet en comparación con las zonas más alejadas del centro.

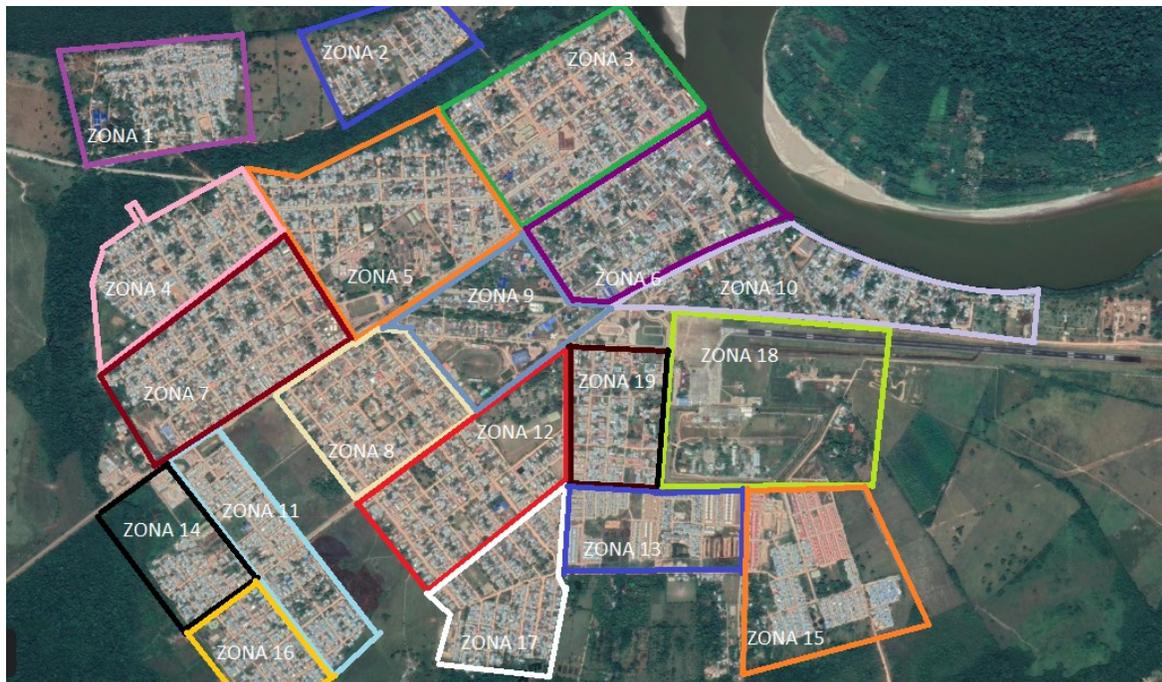


Figura 13. Zonas de trabajo

Como se señaló anteriormente, cuando se asignan las 19 zonas de trabajo, denominadas con números del 1 al 19, a cada una se le da una IP clase B.

Tabla 12. IP asignada por zona

Zonas	IP de la Zona
1	139.13.198.2
2	139.13.198.3

3	139.13.198.4
4	139.13.198.5
5	139.13.198.6
6	139.13.198.7
7	139.13.198.8
8	139.13.198.9
9	139.13.198.10
10	139.13.198.11
11	139.13.198.12
12	139.13.198.13
13	139.13.198.14
14	139.13.198.15
15	139.13.198.16
16	139.13.198.17
17	139.13.198.18
18	139.13.198.19
19	139.13.198.20

Cada zona tiene una cantidad de manzanas específica, se puso 1 Host por manzana y, en la siguiente grafica se observa la cantidad de Host que va a tener cada zona, hay que tener en cuenta que no en todas las zonas se consume el mismo ancho de banda y aún más importante, que algunas zonas tengan más Host que otras, no significa que dichas zonas consuman un mayor ancho de banda. El ancho de banda que se le brinda a cada zona lo determinan, entre otros factores: que tan comercial es la zona e ingresos de la misma.

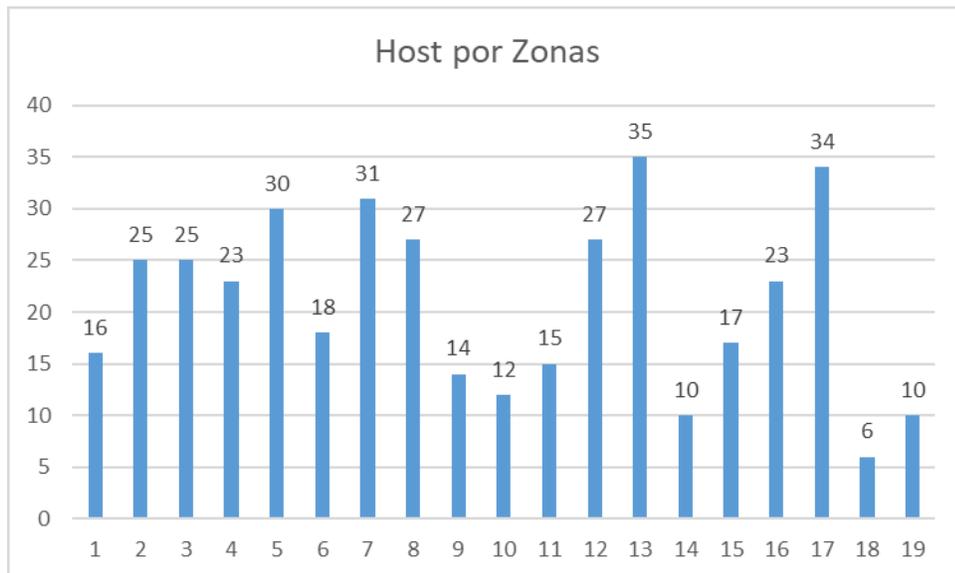


Figura 14. Host por zonas

Mediante el uso del programa Packet Tracer se inicia el desarrollo de la arquitectura de red, se monta una arquitectura básica, la cual mide los tiempos de respuesta ideales por zonas. Así, lo primero que se hace es el montaje del mapa en el programa y una vez estando en el entorno de simulación se enfoca en la parte física, donde se va a cargar como imágenes el mapa y las distintas zonas.

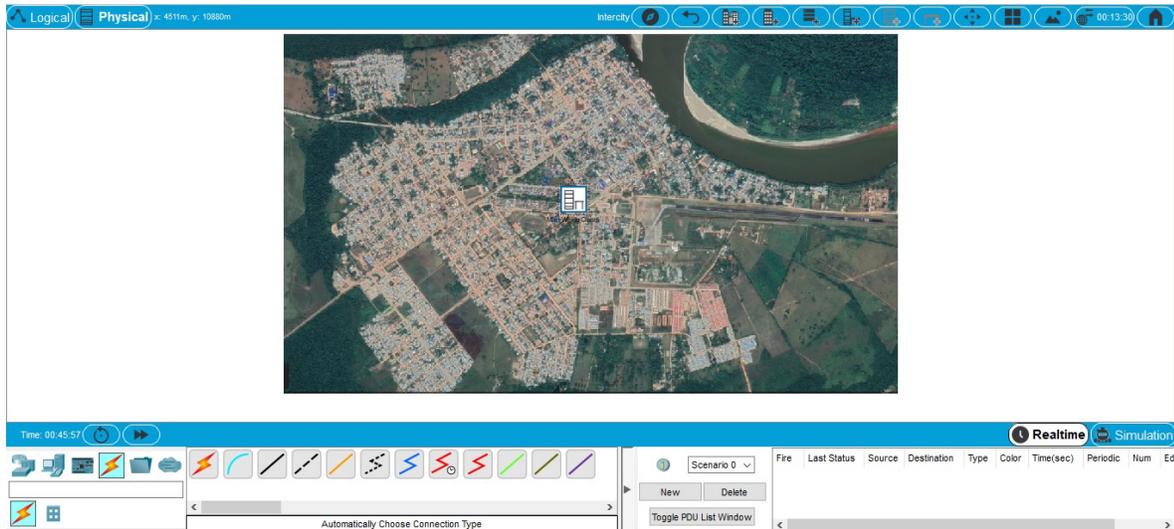


Figura 15. Mapa – Packet Tracer

En el centro de la imagen, donde está el cuadro blanco, es donde se va a ubicar la única antena que se va a usar en este caso; hay que tener en cuenta que la distribución de espacio, para que la simulación sea lo más cercano a la realidad en términos de distancias, se hace en esta parte en la parte física. Una vez se termina de configurar toda la zona física se pasa a la organización de los equipos en la parte lógica, se inicia con las conexiones entre equipos y también, es la parte donde se realizan las pruebas de rendimiento en la red.

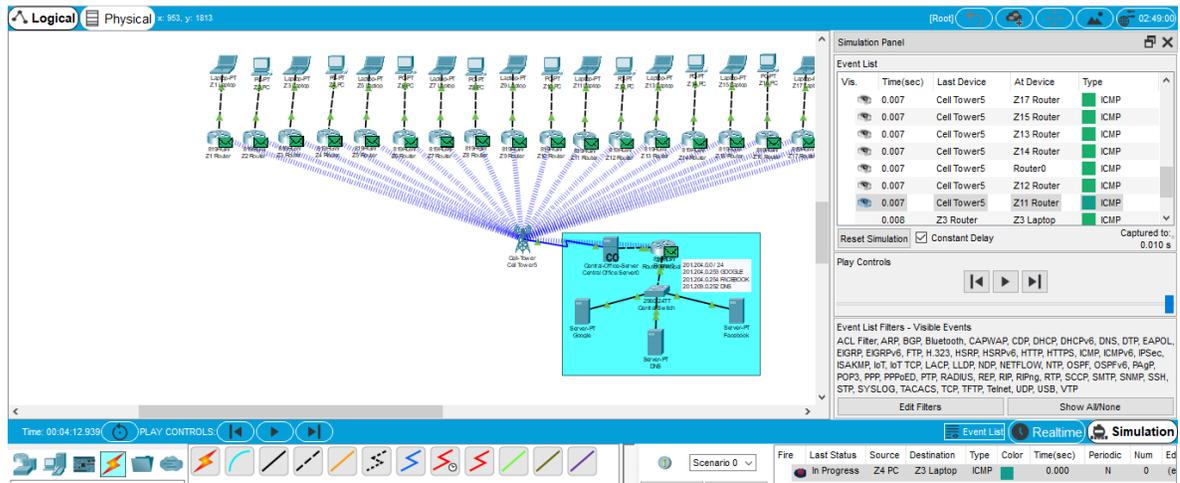


Figura 16. Conexión de equipos

En la anterior figura se observa el modelo ideal de la arquitectura de red que se desea, siguiendo los pasos del diagrama general planteado, sería la distribución por zonas de cómo quedaría la red asignando 1 Host por cada zona; se debe tener en cuenta la clase de IP para todas las zonas, en este caso, una Clase B, que es 139.13.198.0 con una máscara de subred 255.255.255.0 y su respectiva Gateway 139.13.198.1; se configura el DHCP del servidor de tal forma que a cada dispositivo que se conectara a la antena, se le asignara automáticamente una dirección IP en el rango y clase que se desee.

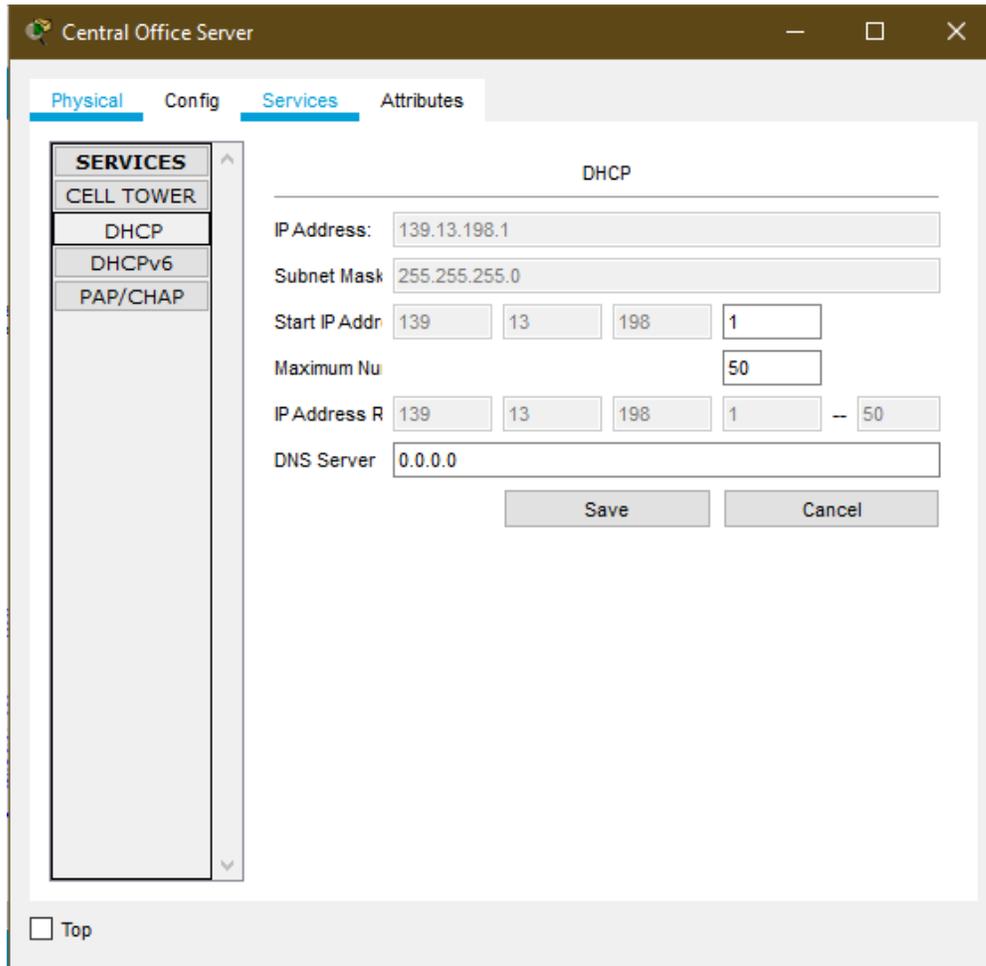


Figura 17. Configuración DHCP

Después de estructurada la antena, se procede a configurar los router que hacen las veces de subestaciones de cada zona, gracias a esto, los routers reciben ondas no guiadas para que la red simule la tecnología WiMAX. Su configuración es sencilla, ingresar a la pestaña celular0 y encender el puerto, esto hará que se conecte a la antena, después, en la pestaña CLI se ingresa el siguiente comando IP ADDRESS NEGOTIATED, que hace la antena le asigne una dirección IP con la cual se activa el envío y recepción de datos entre el equipo y el servidor central.

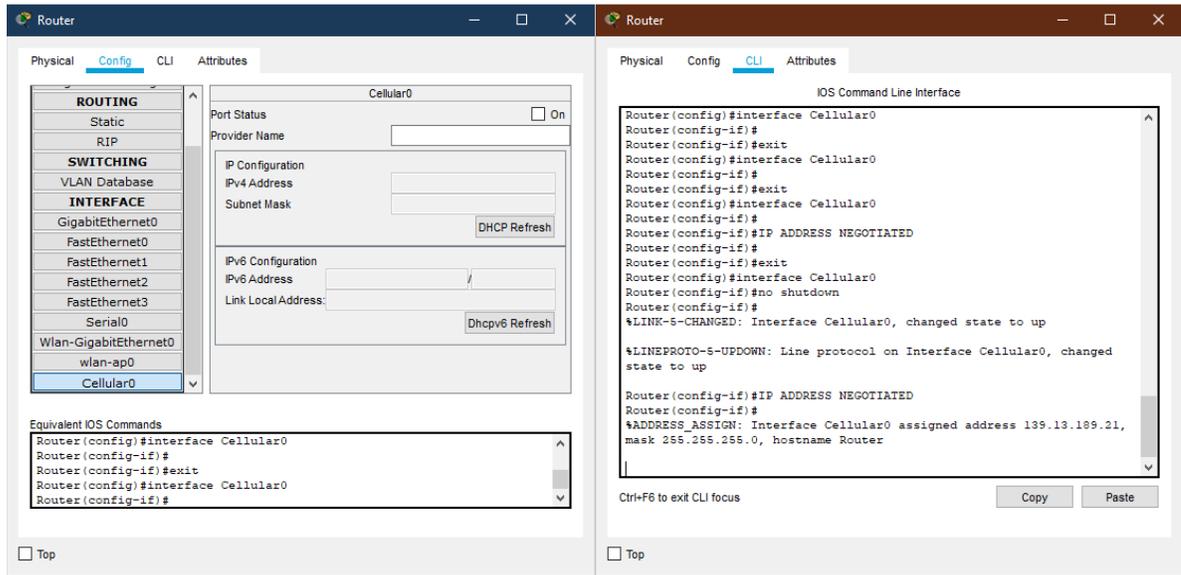


Figura 18. Configuración router

Al terminar la configuración de las zonas se procede a la configuración de IP de los Host, su dirección IP será clase C, definida de la siguiente forma:

- El primer octeto se genera por medio del random de Google, el cual arrojó el número 207.
- El tercer octeto lo da el número de la zona
- El cuarto octeto lo asigna el número de la manzana

De lo anterior, quedan las siguientes direcciones IP 207.0.1.0 – 207.0.19.0. El número de IP por asignar lo determina la cantidad de zonas multiplicadas por su respectivo número de manzanas, dando como resultado un total de 398 IP clase C. La cantidad de IP repartidas de forma precisa, solo harían que se utilizaran las del rango IP 207.0.1.0 - 207.0.2.111, pero, al ser zonas en crecimiento, se va a dejar un rango de 254 IP libres, para hacer una prueba con una arquitectura en la que se pueda usar la totalidad de las IP clase C en cada zona, para ver cómo se comportan el rendimiento de la red.

Para la asignación de las IP clase C en los Host se puede realizar de 2 formas, la primera es asignando IP estática a cada equipo y la segunda es configurando el DHCP del router para que valla configurando automáticamente las IP de los Host.

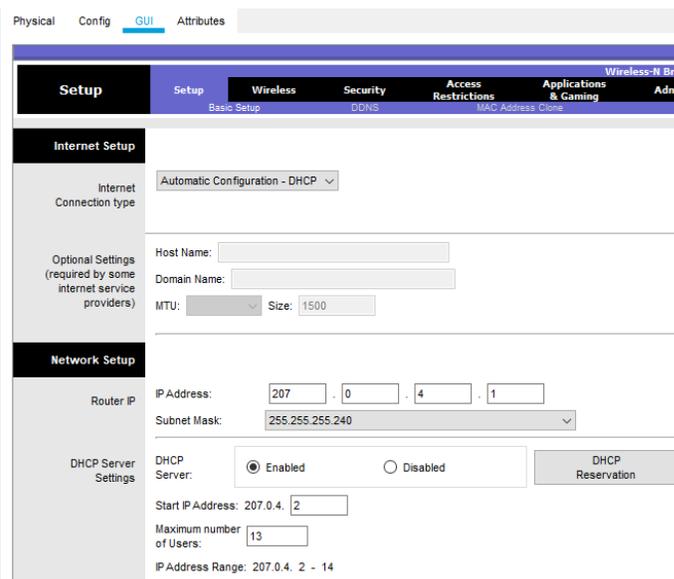


Figura 19. Asignación IP en Host - Forma 1

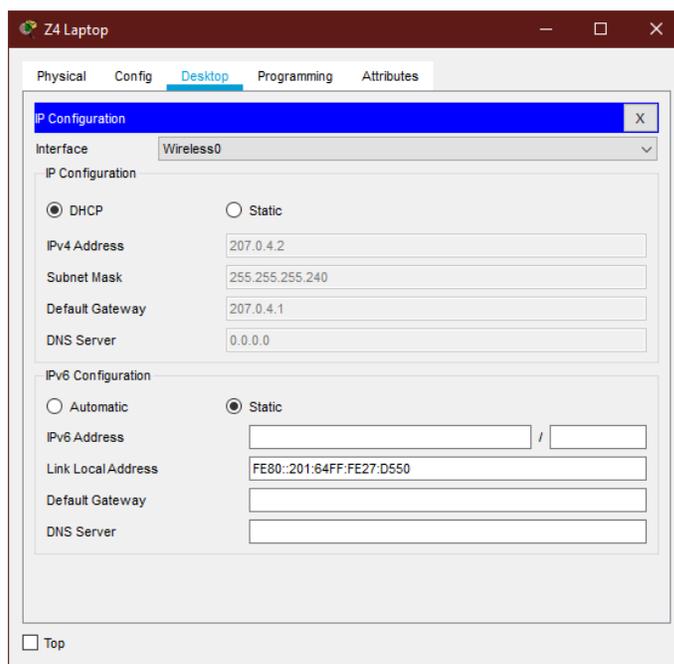


Figura 20. Asignación IP en Host - Forma 2

Al momento de crear la red, siguiendo las especificaciones anteriormente dadas después de analizados los datos, se encontraron múltiples errores, fallos, complicaciones y retrasos dados desde el entorno de desarrollo, Packet Tracer. Al implementar la red, se hace montaje de toda la estructura lógica de la red y al unir la ubicación física, es muy complejo y se cuenta con el conocimiento necesario para hacer la unión de la parte lógica a la física. Tras una investigación se encontró que es

más fácil montar la parte física donde van las ubicaciones de los equipos y luego implementar la parte lógica como el subnetting, la conexión entre los nodos y los Host.

Por otro lado, se enfrentaron errores tales como la conexión de cada Host a la red de cada manzana. Tras indagar, se deben configurar aproximadamente 400 SSID de los routers, 400 antenas de los Host y, sumado a ello, 400 manzanas. El fallo se presenta en el SSID de los routers, pues al momento de poner un router, este tiene un SSID asignado por defecto "Default", así que, cada vez que la red se reiniciaba, los dispositivos se conectaban al router que quisiera, cambiando la distribución de Host conectado por manzana; de igual manera, lo anterior forzó poner nombre de cada Host, configurar las SSID de cada router y conectar cada dispositivo por individual a cada router. Para conectar cada dispositivo al router asignado, se ingresa al dispositivo, se apaga, se retira el módulo o tarjeta de red Ethernet, se cambia por un receptor inalámbrico en la frecuencia de 2.4GHz y, finalmente, vuelven a encenderse los equipos, para luego entrar en el escritorio y seleccionar la red a la que la deseaba conectar.

Este procedimiento fue tan solo para conectar todos los dispositivos de forma fija a una red para que el fallo de conexiones no afectara cada vez que se ejecutaba el programa de simulación Packet Tracer. Otro error, es que cada vez que se ingresaba al área de trabajo de una zona, se debía configurar sus dimensiones, haciendo que el trabajo se hiciera más extenso de lo pensando, aumentando el tiempo de diseño aproximadamente 3 semanas. Por último, se presentó un fallo masivo en varios equipos, cada vez que se encendía la transmisión no guiada de los routers 819IOX o 819HGW, no se podía volver a apagar, porque si se hacía, estas no volvían a conectarse a una antena; las antenas tienen un rango de funcionamiento que se debe calibrar en el espacio físico de la simulación para que los receptores estén en el rango de la antena y así, poder apagarlos, encenderlos y conectarlas a la red. Los router mencionados anteriormente junto a las antenas de transmisión no guiada, son componentes importantes para hacer el uso de la tecnología WiMAX.

4.1. Resultado de la red deseada

Una vez diseñada toda la simulación de la red ideal, se procede a hacer la prueba de rendimiento de la red enviando un mensaje desde un Host hasta otro Host y haciéndole una custodia al mensaje enviado por medio de la simulación. Es importante filtrar la cantidad de protocolos que se quieren observar, pues entre más eventos se pongan, más demora la simulación, en este caso se usaran los protocolos EIGRP, ICMP e IGMP.

Tabla 13. Red ideal

Datos promedio de la red ideal				
Pruebas	Estabilidad	T min (ms)	T promedio (ms)	T Max (ms)
1	100	9,26	16,05	23,37
2	100	9,11	16,21	23,68
3	100	10,00	18,05	27,63
Promedio	100,00%	9,46	16,77	24,89

La tabla 13 muestra los datos de la arquitectura de red planteada en una forma ideal (Anexo F), esto se refiere a que cada zona tenía solo un Host con un ancho de banda 100 Mbps y una velocidad de internet de 100Mbps para cada host. Los resultados obtenidos son prometedores para la red ideal, pues se tiene un tiempo de respuesta máximo en promedio de 35,56 ms cumpliendo con las especificaciones técnicas planteadas en el capítulo 3, también se comprueba la estabilidad en el envío de paquete y ping dando una estabilidad del 99,65%, lo que significa que la pérdida de paquetes en la red es muy baja y que se puede expandir de forma segura. El siguiente paso consta de expandir la red de tal forma que ahora cada zona tendrá 1 host por cada manzana.

4.1.1 Expansión de la red

Se expandió la red de tal forma que se puso un host por cada manzana, quedando con aproximadamente 500 dispositivos en la simulación. El diseño de la red desde el espacio lógico se observa en la figura 21, hay que tener en cuenta que el diseño de la red en el espacio lógico no tiene en cuenta las distancias, pues son configuradas en el espacio físico.

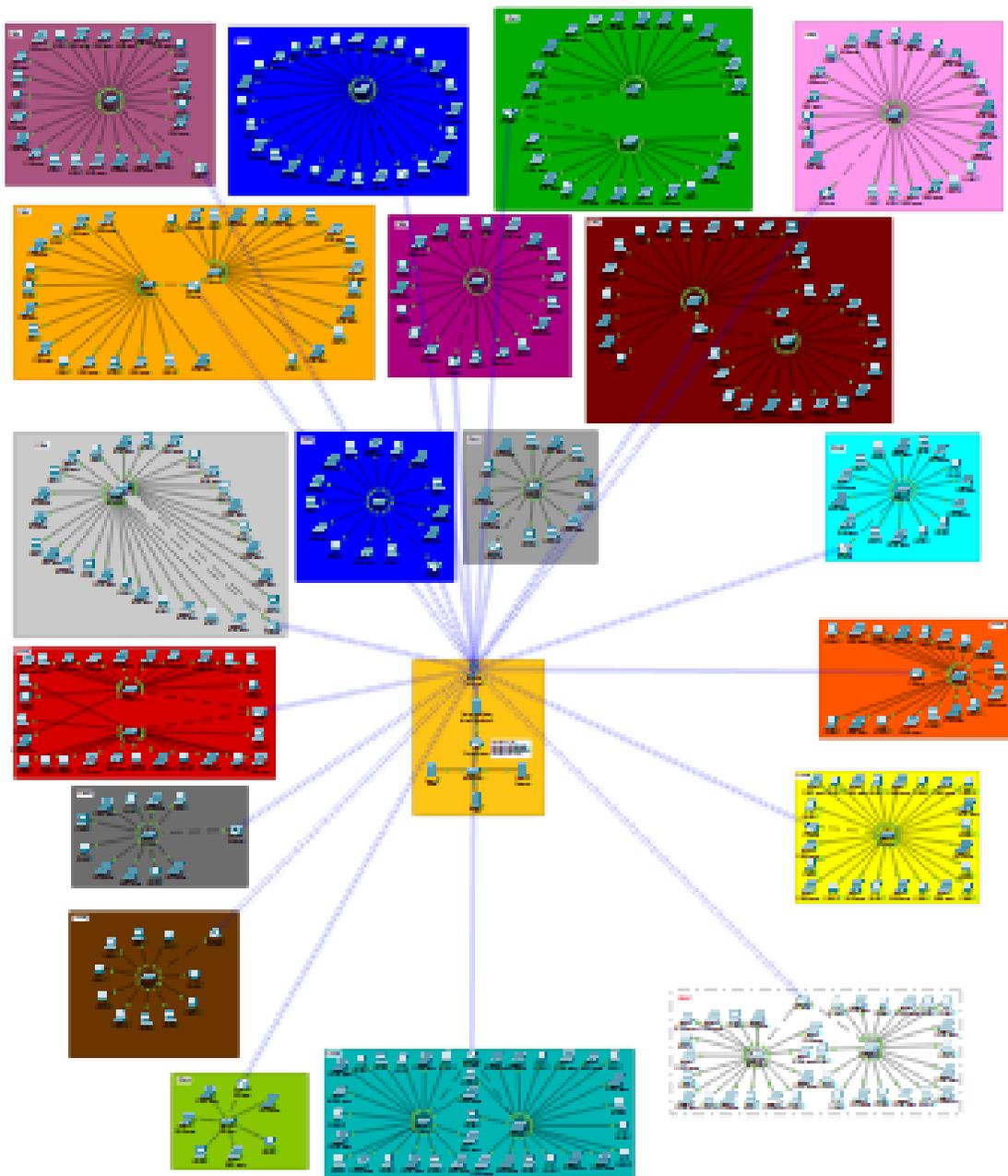


Figura 21. Red expandida

Comparando los datos obtenido de la red ideal, la red planteada y la red saturada se puede notar un aumento en los tiempos de respuesta de las otras redes con respecto a la red ideal. Partiendo de la red ideal se generan 2 topologías de red, las cuales contaban con el mismo ancho de banda y la misma velocidad por zonas que se usó en la red ideal.

Comparando los datos obtenidos de la red ideal, la red planteada y la red saturada se puede notar un gran aumento en los tiempos de respuesta de las otras redes con respecto a la red ideal. Partiendo de

la red ideal se generan 2 topologías de red las cuales contaban con el mismo ancho de banda y la misma velocidad por zonas que se usó en la red ideal.

Tabla 14. Red con velocidad variable

Datos promedio de la red saturada				
Pruebas	Estabilidad	T min (ms)	T promedio (ms)	T Max (ms)
1	100	10,89	24,68	46,05
2	100	15,74	32,95	60,63
3	100	12,16	28,37	59,79
Promedio	100%	12,93	28,67	55,49

Tabla 15. Red con velocidad fija

Datos promedio de la red planteada				
Pruebas	Estabilidad	T min (ms)	T promedio (ms)	T Max (ms)
1	100	12,11	21,32	38,05
2	100	13,21	19,84	28,16
3	100	12,21	19,21	31,79
Promedio	100%	12,51	20,12	32,67

Se creó la topología de red que se planteó a partir de las especificaciones que se generaron en la metodología, teniendo en cuenta una velocidad dedicada de 10Mbps para cada usuario y un ancho de banda que varía según la cantidad de usuarios de la zona. La red arrojó unos tiempos de respuesta favorables y no tan alejados de la red ideal, los tiempos de repuesto promedio están en 21 ms dando a entender que el ancho de banda y la velocidad de la red soportaría más usuarios sin necesidad de modificar la red (Anexo G).

Viendo que la red soportaba más usuarios, se prueba una arquitectura de red donde las zonas tienen el mismo ancho de banda y la misma velocidad de la red ideal, es decir que ahora se redujo la velocidad que le llega a cada usuario y se procede a testear los tiempos de respuesta de la red por zonas. Una vez testeada la red nos arroja la tabla 15 donde se evidencia como la nueva arquitectura de red generó que la red se volviera más lenta, afectando directamente las zonas con mayor número de usuarios dando a entender que en dichas zonas es más fácil que se cree un cuello de botella en la salida y entrada de datos (Anexo F).

Tabla 16. Diferencias entre redes

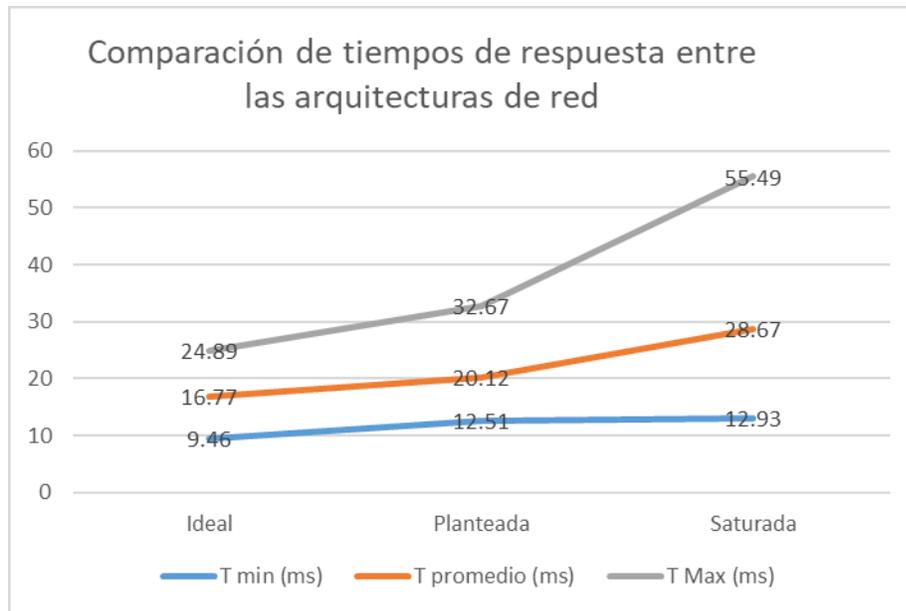
Características de las redes	Ideal	Planteada	Saturada
Ancho de banda total	1900 Mbps	3980 Mbps	1900 Mbps
Velocidad máxima	100 Mbps	10 Mbps	16,67 Mbps
Velocidad promedio	100 Mbps	10 Mbps	5,59 Mbps
Velocidad mínima	100 Mbps	10 Mbps	2,86 Mbps
Tiempo de respuesta	16,77 ms	20,12 ms	28,66 ms
Cantidad de host	19	398	398

Tabla 17. Comparación tiempos de respuesta entre redes

Redes	T min (ms)	T promedio (ms)	T Max (ms)
Ideal	9,46	16,77	24,89
Planteada	12,51	20,12	32,67
Saturada	12,93	28,67	55,49

La tabla 16, genera la siguiente figura.

Tabla 18. Comparación tiempos de respuesta entre redes



Finalmente, como se puede observar en la tabla 19, la arquitectura de red que se plantea es eficiente en los tiempos de respuesta en las conexiones por medio de tecnología Móvil, Radio enlace y cable coaxial. No se supera a la conexión por fibra óptica, pues dicha tecnología es más rápida que la tecnología de WiMAX; respecto a las velocidades, estas son definidas por la cantidad de Mbps que adquiere la empresa prestadora de servicio, no se compara el ancho de banda porque ese dato es privado para las empresas y, difícil de predecir la distribución del ancho de banda de cada empresa en el municipio (Anexos B, C y D).

Tabla 19. Comparación de redes por tecnología

Tecnología de conexión de red	Promedio de Mb/s dedicadas por usuario	Tiempo de respuesta mínimo (ms)	Tiempo de respuesta promedio (ms)	Tiempo de respuesta máximo (ms)
Cable coaxial	1,28	19	19	72
Fibra óptica	3,41	9	10	12
Radio enlace	2,56	30	138	400
Móvil	0,57	30	255	400
Red Planteada	10,00	13	20	33
Red Saturada	4,94	13	29	55

En conclusión, se planteó una arquitectura de red estable con tiempos de respuesta aceptables, tanto, que se puede superar el número de usuarios sin hacer ningún cambio en la arquitectura de red y, no se verá una caída abrupta en la velocidad de la red ni en sus tiempos de respuestas.

4.2 Selección de equipos

Se presenta un presupuesto aproximado de los equipos que se pueden usar para implementar la arquitectura de red planteada, este presupuesto no incluye costo de instalación ni precio de servicio a internet con un proveedor.

Tabla 20. Equipos seleccionados

Equipos	Cantidad	Precio unitario	Total
Antenna - RAD-ISM-2400-ANT-PAN- 8-0	19	\$ 919.679	\$ 17.473.901
Antenna - RAD-ISM-2400-ANT-OMNI-9-0	2	\$ 2.333.936	\$ 4.667.872
Cableado y conectores	4	\$ 3.000.000	\$ 12.000.000

Switch D-LINK DES 1024d-52	5	\$ 659.900	\$ 3.299.500
Switch D-LINK DES 1024d-28	14	\$ 229.900	\$ 3.218.600
Tripp Lite SRW26US 26U Wall Rack	1	\$ 1.954.241	\$ 1.954.241
Tp-link Tl-wr840n	395	\$ 66.000	\$ 26.070.000
Dell PowerEdge T620	1	\$ 3.550.000	\$ 3.550.000
Torre Delta Rendida Altura 30 Mts	1	\$ 18.800.000	\$ 18.800.000
Total			\$ 91.034.114

Una vez se realicen las pruebas necesarias en la arquitectura de red planteada, se iniciará la búsqueda de los equipos que tengan un funcionamiento muy similar a los que se usaron en la simulación. La selección de equipos se hace con el fin de dar un costo aproximado de lo que podría valer la implementación de la red simulada.

Antes de hacer la implementación se debe tener en cuenta que los precios pueden variar según la distancia y la cantidad de usuarios que se desean conectar a la red, en este caso la red va a tener una cobertura de 3 Km, estos cubren las 19 zonas que del mapa que necesitan el internet.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Después del análisis de los datos que se encuentran en la tabla de la tabla 10 y, de una breve investigación sobre la cantidad de habitantes que hay en la zona se seleccionaron algunas características importantes que debe tener incluida la arquitectura de red que se va a plantear. Dicha red se diseñó basada en los datos obtenidos.
- Se simuló la red ideal y se comprobó su funcionamiento obteniendo buenos resultados, tanto que se derivaron pruebas de funcionamiento con una red extendida con velocidades fijas de 10 Mbps por cada usuario y la red demostró ser estable. Al notar que la red respondía de buena forma, se decide saturar la red poniendo más usuarios en algunas zonas, generando una subida en los tiempos de respuesta y, una reducción de la velocidad en dichas zonas saturadas, aun con estos cambios, la red demostró ser lo suficientemente robusta, con capacidad de tener más usuarios de los que se plantearon sin necesidad de hacer cambios en la arquitectura de red.
- La red ideal que se planteó, fue pensada a partir de unas mejoras que se pueden implementar para la red que hay actualmente en el departamento de San José del Guaviare, arrojando buenos resultados. Sin embargo, se buscó simular una red más cercana a un servicio con velocidad de 10 Mbps estables para cada usuario, obteniendo también buenos resultados; viendo las buenas estadísticas de la red, simula una red más cercana a la realidad donde se pusieron más usuarios en algunas zonas, generando cuello de botella en la entrada y salida de información, pero aun así no afectó considerablemente el rendimiento de la red.
- Comparando la arquitectura de red simulada que usa tecnología WiMAX con respecto a las redes de otras tecnologías implementadas en el municipio de San José del Guaviare, a excepción de la fibra óptica, los tiempos de respuesta de las otras tecnologías fueron superadas. La cuestión del ancho de banda no se pudo comparar, pues no se tenía ese dato y las velocidades promedio de la

red se compararon, aunque esto depende de la velocidad contratada por las empresas prestadoras de servicio y los anchos de banda de las mismas se pudo hacer una comparación con respecto a recolectados.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda para personas que deseen hacer este tipo de proyectos, en el software relacionado u otro, capacitarse sobre el manejo del mismo: sobre nateos dinámicos de las zonas, asignaciones de direcciones IP, funcionamiento de los equipos a usar, así mismo, hay que tener en cuenta un diagrama general de la red que se va a implementar y realizar diferentes pruebas de los protocolos IMCP.
- Si el objetivo, es simular una red con las distancias de una zona, recomiendo usar el espacio físico. Hay que tener en cuenta que, si se usa el espacio físico, se pueden acomodar todos los dispositivos en el espacio físico para luego hacer la conexiones en el espacio lógico, esto facilitaría mucho el trabajo.
- Si va a simular una red en Packet Tracer en la cual va a utilizar un mapa dividido en zonas y más de 200 equipos, se recomienda tener un mínimo un equipo con procesador Intel I5 con 16Gbs de memoria RAM. Por otro lado, no usar demasiados dispositivos generadores de redes wifi, estos tienden a hacer que la simulación consuma recursos del equipo y en algunos casos, la memoria temporal que usa el programa se satura generando inconvenientes.
- En caso de implementar el proyecto hacerse en una zona con pocos edificios

Bibliografía

Abreu, M., Castagna, A., Cristiani , P., Zunino, P., Roldós, E., & Sandler, G. (1 de Octubre de 2009). Características generales de una red de fibra óptica al hogar (FTTH). *Memoria de trabajos de difusión científica y técnica*(7). Recuperado el 25 de Julio de 2020, de <http://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/270/329>

- Ahson, S., & Ilyas, M. (2018). *WiMAX: Applications*. New York: CRC Press.
- Alacaldía de San José del Guaviare. (3 de Mayo de 2020). *Mapas*. Recuperado el 28 de Junio de 2020, de Mapas: <http://www.sanjosedelguaviare-guaviare.gov.co/mapas/mapas-geograficos>
- Alvarez Merchán, M. V. (Diciembre de 2013). *Análisis de la interferencia provocada por cámaras inalámbricas de video a 2,4 GHZ en la coexistencia con redes WLAN*. Obtenido de Análisis de la interferencia provocada por cámaras inalámbricas de video a 2,4 GHZ en la coexistencia con redes WLAN: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4054/1/20T00454.pdf>
- ANDA. (16 de Julio de 2019). *COLOMBIA - Encuesta Nacional de Calidad de Vida - ECV 2017*. Recuperado el 14 de MARzo de 2020, de COLOMBIA - Encuesta Nacional de Calidad de Vida - ECV 2017: <http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/544/datacollection>
- Bacuilima, S. (20 de Noviembre de 2016). *Estudio y Diseño de una Red WiMAX para la Ciudad de Cuenca*. Obtenido de Estudio y Diseño de una Red WiMAX para la Ciudad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2555/1/tm4320.pdf>
- Barbosa Reyes, J. J., & Orjuela Ayala, D. F. (23 de Junio de 2010). *DISEÑO DE LA RED INALAMBRICA WIFI PARA LA EMPRESA PROCIBERNETICA*. Recuperado el 28 de Julio de 2020 , de DISEÑO DE LA RED INALAMBRICA WIFI PARA LA EMPRESA PROCIBERNETICA: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/8798/monografia.pdf?sequence=1&isAlowed=y>
- Belmonte Espejo, P. (22 de Julio de 2011). *La tecnología wimax*. Obtenido de La tecnología wimax: http://www.ciudadanosporelcambio.com/mantenimiento/ficheros/La_tecnologia_wimax.pdf
- Benavente Carmona, J. (4 de Abril de 2017). *Implementación red inalámbrica WiMAX- WiFi*. Obtenido de Implementación red inalámbrica WiMAX- WiFi: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/43113/6/jbenaventecTFC0615memoria.pdf>
- Blanco Campos, G. (3 de Agosto de 2017). *Tipos de conexión a internet*. Recuperado el 24 de Julio de 2020, de Tipos de conexión a internet: <https://silو.tips/download/tipos-de-conexion-a-internet>
- Cadme Samaniego, M. P. (Septiembre de 2006). *Propuesta de regulación para la implementación y aplicación de redes con tecnología inalámbrica WiMAX en el Ecuador*. Recuperado el 4 de Mayo de 2020, de Propuesta de regulación para la implementación y aplicación de redes con tecnología inalámbrica WiMAX en el Ecuador: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/387/1/CD-0359.pdf>
- Calvillo Teribia, A. (2013). *Estudio y diseño de una red WiMAX para dar cobertura de banda ancha en un entorno rural*. Obtenido de Estudio y diseño de una red WiMAX para dar cobertura de banda ancha en un entorno rural: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/34530/Memoria.pdf?sequence=1>
- Cano Garzón, H. B. (Mayo de 2011). *Diseño de una red WiMAX para la zona rural comprendida entre la vereda Canceles y la vereda Mundo Nuevo del municipio de Pereira*. Obtenido de Diseño de una

- red WiMAX para la zona rural comprendida entre la vereda Canceles y la vereda Mundo Nuevo del municipio de Pereira: <https://core.ac.uk/download/pdf/71398105.pdf>
- Canto, H., Rivamar, A., & Soto, J. P. (Junio de 2006). *IEE 802.16 WMAN / WiMAX*. Recuperado el 18 de Junio de 2020, de IEE 802.16 WMAN / WiMAX: <https://es.slideshare.net/rivamara/ieee-80216-wman-wimax-presentation>
- Carmona Sánchez, A. (12 de Abril de 2015). *WiMAX*. Obtenido de WiMAX: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11677/fichero/Volumen+1%252F3.-WiMAX.pdf>
- Caro Moreno, R. A. (Julio de 2019). *El uso efectivo que hacen dos comunidades educativas de San José del Guaviare respecto a los servicios TIC que provee la Secretaría de Educación Departamental (SED), como unidad de analisis sobre la apropiación de la estrategia de Gobierno Digital*. Recuperado el 19 de Febrero de 2020, de El uso efectivo que hacen dos comunidades educativas de San José del Guaviare respecto a los servicios TIC que provee la Secretaría de Educación Departamental (SED), como unidad de analisis sobre la apropiación de la estrategia de Gobierno Digital: https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/001/2110/1/JIA-spa-2019-El_uso_efectivo_que_hacen_dos_comunidades_educativas_de_San_Jose_del_Guaviare
- Ceballos Ojeda, S. M. (2006). *WiMAX - descripción, características, escenarios de uso y estructura organizacional para su posible implementación en Pasto (Nariño)*. Obtenido de WiMAX - descripción, características, escenarios de uso y estructura organizacional para su posible implementación en Pasto (Nariño): https://biblioteca.uniandes.edu.co/visor_de_tesis/web/?SessionID=L1Rlc2lzXzIwMDZfcHJpbWVyX3NlbWVzdHJILzAwMDA2NTIwLnBkZg%3D%3D
- Colombia TIC. (2016). *Internet: Municipio de San José del guaviare*. Recuperado el 30 de Mayo de 2020, de Internet: Municipio de San José del guaviare: <https://colombiatic.mintic.gov.co/estadisticastic/stats.php?&pres=content&jer=3&cod=95001&id=1#TTC>
- Colombiatic. (15 de Julio de 2013). *Diseño de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias y Establecimiento de un Marco Normativo para el Fortalecimiento del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias en Colombia*. Obtenido de Diseño de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias y Establecimiento de un Marco Normativo para el Fortalecimiento del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias en Colombia: <https://colombiatic.mintic.gov.co/679/w3-article-73955.html>
- DANE. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda - CNPV 2018*. Recuperado el 30 de Mayo de 2020, de Población censal ajustada por cobertura y porcentajes de omisión municipal por área: <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/CNPV-2018-Poblacion-Ajustada-por-Cobertura.xls>
- DANE. (12 de Agosto de 2019). *Indicadores básicos de tenencia y uso de Tecnologías de la Información y Comunicación - TIC en hogares y personas de 5 y mas años de edad*. Recuperado el 30 de MAYO

- de 2020, de Indicadores básicos de tenencia y uso de Tecnologías de la Información y Comunicación - TIC en hogares y personas de 5 y mas años de edad: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/tic/bol_tic_hogares_2018.pdf
- educaweb. (9 de Agosto de 2016). *Ingeniero de telecomunicaciones*. Recuperado el 10 de Marzo de 2020, de Ingeniero de telecomunicaciones: <https://www.educaweb.com/profesion/ingeniero-telecomunicaciones-421/>
- El Colegio de Michoacán. (26 de Agosto de 2008). *Internet*. Recuperado el 23 de Marzo de 2020, de Internet: <https://www.colmich.edu.mx/computo/files/internet.pdf>
- Escudero Pascual, A. (13 de Agosto de 2007). *Unidad 02: Estándares en Tecnologías Inlámbricas*. Obtenido de Unidad 02: Estándares en Tecnologías Inlámbricas: http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/02_es_estandares-inalambricos_guia_v02.pdf
- Escudero Pascual, A. (Octubre de 2007). *Unidad 12: Seguridad en Redes Inalámbricas*. Obtenido de Unidad 12: Seguridad en Redes Inalámbricas: http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/12_es_seguridad-inalambrica_guia_v02.pdf
- Fabregat Carnero, M. (15 de Junio de 2016). *Alternativas de arquitecturas de red para brindar servicio de voz sobre Wi-Fi en los Hoteles*. Recuperado el 28 de Abril de 2020, de Alternativas de arquitecturas de red para brindar servicio de voz sobre Wi-Fi en los Hoteles: <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7252/Miguel%20Fabregat%20Carnero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González Bell, J. (25 de Enero de 2020). *Conozca los departamentos con mejor y peor velocidad de descarga en internet de Colombia*. Recuperado el 4 de Abril de 2020, de Conozca los departamentos con mejor y peor velocidad de descarga en internet de Colombia: <https://www.larepublica.co/internet-economy/conozca-los-departamentos-con-mejor-y-peor-velocidad-de-descarga-en-internet-de-colombia-2956187#:~:text=Tecnolog%C3%ADa-,Conozca%20los%20departamentos%20con%20mejor%20y%20peor,descarga%20en%20internet%20de%20Co>
- Google Earth. (s.f.). *Mapa satelital de San José del Guaviare*. Recuperado el 15 de Agosto de 2020, de Mapa satelital de San José del Guaviare: <https://earth.google.com/web/@2.57002846,-72.64117768,184.64772047a,5242.56048295d,35y,-90.61852033h,0.38682451t,360r>
- Grupo de Nuevas Actividades Profesionales (NAP) del COIT. (2004). *La situación de las Tecnologías WLAN basadas en el estándar IEEE 802.11 y sus variantes ("Wi-Fi")*. (J. I. Alonso Montes, Ed.) Recuperado el 24 de Marzo de 2020, de La situación de las Tecnologías WLAN basadas en el estándar IEEE 802.11 y sus variantes ("Wi-Fi"): <https://forohistorico.coit.es/index.php/biblioteca/libros-electronicos/item/la-situacion-de-las-tecnologias-wlan-basadas-en-el-estandar-ieee-802-11-y-sus-variantes-wi-fi>

- Gumbo, S., Jere, N., & Terzoli, A. (Enero de 2012). A qualitative analysis to determine the readiness of rural communities to adopt ICTs: A Siyakhula Living Lab Case Study. *IST- Africa 2012 Conference Proceedings*, (págs. 1-9). Salaam. Recuperado el 28 de Marzo de 2020, de A qualitative analysis to determine the readiness of rural communities to adopt ICTs: A Siyakhula Living Lab Case Study: https://siyakhulall.org/sites/default/files/ISTAfrica_Paper_ref_89_doc_4818.pdf
- Hernández Heredia, J. F. (Mayo de 2011). *Diseño de una red WiMAX para la zona rural comprendida entre la vereda Canceles y la vereda Mundo Nuevo del municipio de Pereira*. Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de Diseño de una red WiMAX para la zona rural comprendida entre la vereda Canceles y la vereda Mundo Nuevo del municipio de Pereira: <https://core.ac.uk/download/pdf/71398105.pdf>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (07 de Mayo de 2016). *San José Del Guaviare, uno de los municipios en los que renacerá la paz*. Recuperado el 26 de Julio de 2020, de San José Del Guaviare, uno de los municipios en los que renacerá la paz: <https://igac.gov.co/es/noticias/san-jose-del-guaviare-uno-de-los-municipios-en-los-que-renacera-la-paz>
- Jarrín Valencia, J. L. (2012 de Agosto de 2012). *Desarrollo del Simulador para un modelo de propagación del análisis de cobertura en conformidad con el estándar IEEE 802.16-2009 (Fixed Wireless MAN OFDM)*. Recuperado el 22 de Marzo de 2020, de Desarrollo del Simulador para un modelo de propagación del análisis de cobertura en conformidad con el estándar IEEE 802.16-2009 (Fixed Wireless MAN OFDM): <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5590/1/T-ESPE-033736.pdf#page=18&zoom=100,109,600>
- Liu, H.-W., Ku, C.-H., & Yang, C.-F. (2010). Novel CPW-Fed Planar Monopole Antenna for WiMAX/WLAN Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 9, 240-243. Obtenido de Novel CPW-Fed Planar Monopole Antenna for WiMAX/WLAN Applications.
- López Baena, A. C., Caballero García, L. A., & Slagle Restrepo, J. C. (2018). *Diseño de una red inalámbrica para el acceso a internet de la institución educativa departamental Jose Benito Vives de Andreis de la Zona Bananera desde la Universidad Cooperativa de Colombia sede Santa Marta*. Recuperado el 24 de Marzo de 2020, de Diseño de una red inalámbrica para el acceso a internet de la institución educativa departamental Jose Benito Vives de Andreis de la Zona Bananera desde la Universidad Cooperativa de Colombia sede Santa Marta: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/8522/1/2018_red_internet_acceso.pdf
- Ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones. (Julio de 2018). *Boletín trimestral des las TIC*. Recuperado el 20 de Febrero de 2020, de Boletín trimestral des las TIC: https://colombiatic.mintic.gov.co/679/articles-75854_archivo_pdf.pdf
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (28 de Enero de 2020). *Los accesos a Internet móvil aumentaron tres millones en el último año*. Recuperado el 4 de Abril de 2020, de Los accesos a Internet móvil aumentaron tres millones en el último año: <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-Prensa/Noticias/125653:Los-accesos-a-Internet-movil-aumentaron-tres-millones-en-el-ultimo->

- Sánchez Sierra, C. (29 de Noviembre de 2007). *Diseño e implementación con DSP de un modulador WiMAX*. Recuperado el 24 de Marzo de 2020, de Diseño e implementación con DSP de un modulador WiMAX: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4507/sanchez.pdf>
- Siebörger, I., & Terzoli, A. (6 de Septiembre de 2010). WiMAX for rural SA: The experience of the Siyakhula Living Lab. *International Conference on e-Infrastructure and e-Services for Developing Countries*. Stellenbosch. Recuperado el 10 de Abril de 2020
- Tencio, G. (s.f.). *Introducción a la ingeniería de telecomunicaciones*. (Imprenta Grupo IDAT) Recuperado el 15 de Enero de 2020, de Introducción a la ingeniería de telecomunicaciones: https://www.academia.edu/28602556/Introducci%C3%B3n_Ing_Telecomunicaciones
- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (Enero-Junio de 2014). *Internet*. Recuperado el 23 de Abril de 2020, de Internet: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/prepa3/Presentaciones_Enero_Junio_2014/Definicion%20de%20Internet.pdf
- Universidad de Alicante. (18 de Septiembre de 2017). *Internet y la web - Conexiones*. Recuperado el 10 de Junio de 2020, de Internet y la web - Conexiones: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/79588/2/ci2_basico_2017-18-Internet-y-la-web_conexiones.pdf
- Vallejos, O. (30 de Abril de 2002). *Introducción a internet*. Recuperado el 06 de Abril de 2020, de Introducción a internet: <http://ing.unne.edu.ar/pub/internet.pdf>

ANEXO A.

IP Zona	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 10	Zona 11	Zona 12	Zona 13	Zona 14	Zona 15	Zona 16	Zona 17	Zona 18	Zona 19
133.13.198.2	133.13.198.3	133.13.198.4	133.13.198.5	133.13.198.6	133.13.198.7	133.13.198.8	133.13.198.9	133.13.198.10	133.13.198.11	133.13.198.12	133.13.198.13	133.13.198.14	133.13.198.15	133.13.198.16	133.13.198.17	133.13.198.18	133.13.198.19	133.13.198.20	
Manzana 1	207.0.1.2	207.0.2.2	207.0.3.2	207.0.4.2	207.0.5.2	207.0.6.2	207.0.7.2	207.0.8.2	207.0.9.2	207.0.10.2	207.0.11.2	207.0.12.2	207.0.13.2	207.0.14.2	207.0.15.2	207.0.16.2	207.0.17.2	207.0.18.2	207.0.19.2
Manzana 2	207.0.1.3	207.0.2.3	207.0.3.3	207.0.4.3	207.0.5.3	207.0.6.3	207.0.7.3	207.0.8.3	207.0.9.3	207.0.10.3	207.0.11.3	207.0.12.3	207.0.13.3	207.0.14.3	207.0.15.3	207.0.16.3	207.0.17.3	207.0.18.3	207.0.19.3
Manzana 3	207.0.1.4	207.0.2.4	207.0.3.4	207.0.4.4	207.0.5.4	207.0.6.4	207.0.7.4	207.0.8.4	207.0.9.4	207.0.10.4	207.0.11.4	207.0.12.4	207.0.13.4	207.0.14.4	207.0.15.4	207.0.16.4	207.0.17.4	207.0.18.4	207.0.19.4
Manzana 4	207.0.1.5	207.0.2.5	207.0.3.5	207.0.4.5	207.0.5.5	207.0.6.5	207.0.7.5	207.0.8.5	207.0.9.5	207.0.10.5	207.0.11.5	207.0.12.5	207.0.13.5	207.0.14.5	207.0.15.5	207.0.16.5	207.0.17.5	207.0.18.5	207.0.19.5
Manzana 5	207.0.1.6	207.0.2.6	207.0.3.6	207.0.4.6	207.0.5.6	207.0.6.6	207.0.7.6	207.0.8.6	207.0.9.6	207.0.10.6	207.0.11.6	207.0.12.6	207.0.13.6	207.0.14.6	207.0.15.6	207.0.16.6	207.0.17.6	207.0.18.6	207.0.19.6
Manzana 6	207.0.1.7	207.0.2.7	207.0.3.7	207.0.4.7	207.0.5.7	207.0.6.7	207.0.7.7	207.0.8.7	207.0.9.7	207.0.10.7	207.0.11.7	207.0.12.7	207.0.13.7	207.0.14.7	207.0.15.7	207.0.16.7	207.0.17.7	207.0.18.7	207.0.19.7
Manzana 7	207.0.1.8	207.0.2.8	207.0.3.8	207.0.4.8	207.0.5.8	207.0.6.8	207.0.7.8	207.0.8.8	207.0.9.8	207.0.10.8	207.0.11.8	207.0.12.8	207.0.13.8	207.0.14.8	207.0.15.8	207.0.16.8	207.0.17.8		207.0.19.8
Manzana 8	207.0.1.9	207.0.2.9	207.0.3.9	207.0.4.9	207.0.5.9	207.0.6.9	207.0.7.9	207.0.8.9	207.0.9.9	207.0.10.9	207.0.11.9	207.0.12.9	207.0.13.9	207.0.14.9	207.0.15.9	207.0.16.9	207.0.17.9		207.0.19.9
Manzana 9	207.0.1.10	207.0.2.10	207.0.3.10	207.0.4.10	207.0.5.10	207.0.6.10	207.0.7.10	207.0.8.10	207.0.9.10	207.0.10.10	207.0.11.10	207.0.12.10	207.0.13.10	207.0.14.10	207.0.15.10	207.0.16.10	207.0.17.10		207.0.19.10
Manzana 10	207.0.1.11	207.0.2.11	207.0.3.11	207.0.4.11	207.0.5.11	207.0.6.11	207.0.7.11	207.0.8.11	207.0.9.11	207.0.10.11	207.0.11.11	207.0.12.11	207.0.13.11	207.0.14.11	207.0.15.11	207.0.16.11	207.0.17.11		207.0.19.11
Manzana 11	207.0.1.12	207.0.2.12	207.0.3.12	207.0.4.12	207.0.5.12	207.0.6.12	207.0.7.12	207.0.8.12	207.0.9.12	207.0.10.12	207.0.11.12	207.0.12.12	207.0.13.12		207.0.15.12	207.0.16.12	207.0.17.12		
Manzana 12	207.0.1.13	207.0.2.13	207.0.3.13	207.0.4.13	207.0.5.13	207.0.6.13	207.0.7.13	207.0.8.13	207.0.9.13	207.0.10.13	207.0.11.13	207.0.12.13	207.0.13.13		207.0.15.13	207.0.16.13	207.0.17.13		
Manzana 13	207.0.1.14	207.0.2.14	207.0.3.14	207.0.4.14	207.0.5.14	207.0.6.14	207.0.7.14	207.0.8.14	207.0.9.14		207.0.11.14	207.0.12.14	207.0.13.14		207.0.15.14	207.0.16.14	207.0.17.14		
Manzana 14	207.0.1.15	207.0.2.15	207.0.3.15	207.0.4.15	207.0.5.15	207.0.6.15	207.0.7.15	207.0.8.15	207.0.9.15		207.0.11.15	207.0.12.15	207.0.13.15		207.0.15.15	207.0.16.15	207.0.17.15		
Manzana 15	207.0.1.16	207.0.2.16	207.0.3.16	207.0.4.16	207.0.5.16	207.0.6.16	207.0.7.16	207.0.8.16		207.0.11.16	207.0.12.16	207.0.13.16		207.0.15.16	207.0.16.16	207.0.17.16			
Manzana 16	207.0.1.17	207.0.2.17	207.0.3.17	207.0.4.17	207.0.5.17	207.0.6.17	207.0.7.17	207.0.8.17			207.0.12.17	207.0.13.17		207.0.15.17	207.0.16.17	207.0.17.17			
Manzana 17		207.0.2.18	207.0.3.18	207.0.4.18	207.0.5.18	207.0.6.18	207.0.7.18	207.0.8.18			207.0.12.18	207.0.13.18		207.0.15.18	207.0.16.18	207.0.17.18			
Manzana 18		207.0.2.19	207.0.3.19	207.0.4.19	207.0.5.19	207.0.6.19	207.0.7.19	207.0.8.19			207.0.12.19	207.0.13.19			207.0.16.19	207.0.17.19			
Manzana 19		207.0.2.20	207.0.3.20	207.0.4.20	207.0.5.20		207.0.7.20	207.0.8.20			207.0.12.20	207.0.13.20			207.0.16.20	207.0.17.20			
Manzana 20		207.0.2.21	207.0.3.21	207.0.4.21	207.0.5.21		207.0.7.21	207.0.8.21			207.0.12.21	207.0.13.21			207.0.16.21	207.0.17.21			
Manzana 21		207.0.2.22	207.0.3.22	207.0.4.22	207.0.5.22		207.0.7.22	207.0.8.22			207.0.12.22	207.0.13.22			207.0.16.22	207.0.17.22			
Manzana 22		207.0.2.23	207.0.3.23	207.0.4.23	207.0.5.23		207.0.7.23	207.0.8.23			207.0.12.23	207.0.13.23			207.0.16.23	207.0.17.23			
Manzana 23		207.0.2.24	207.0.3.24	207.0.4.24	207.0.5.24		207.0.7.24	207.0.8.24			207.0.12.24	207.0.13.24			207.0.16.24	207.0.17.24			
Manzana 24		207.0.2.25	207.0.3.25		207.0.5.25		207.0.7.25	207.0.8.25			207.0.12.25	207.0.13.25				207.0.17.25			
Manzana 25		207.0.2.26	207.0.3.26		207.0.5.26		207.0.7.26	207.0.8.26			207.0.12.26	207.0.13.26				207.0.17.26			
Manzana 26					207.0.5.27		207.0.7.27	207.0.8.27			207.0.12.27	207.0.13.27				207.0.17.27			
Manzana 27					207.0.5.28		207.0.7.28	207.0.8.28			207.0.12.28	207.0.13.28				207.0.17.28			
Manzana 28					207.0.5.29		207.0.7.29				207.0.13.29					207.0.17.29			
Manzana 29					207.0.5.30		207.0.7.30				207.0.13.30					207.0.17.30			
Manzana 30					207.0.5.31		207.0.7.31				207.0.13.31					207.0.17.31			
Manzana 31							207.0.7.32				207.0.13.32					207.0.17.32			
Manzana 32											207.0.13.33					207.0.17.33			
Manzana 33											207.0.13.34					207.0.17.34			
Manzana 34											207.0.13.35					207.0.17.35			
Manzana 35											207.0.13.36								
Manzana 36																			
Total	16	25	25	23	30	18	31	27	14	12	15	27	35	10	17	23	34	6	10

ANEXO B.

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\Hant>ping 8.8.8.8

Haciendo ping a 8.8.8.8 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=14ms TTL=117
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=10ms TTL=117
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=11ms TTL=117
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=11ms TTL=117

Estadísticas de ping para 8.8.8.8:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 10ms, Máximo = 14ms, Media = 11ms

C:\Users\Hant>ping 8.8.8.8

Haciendo ping a 8.8.8.8 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=9ms TTL=117
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=10ms TTL=117
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=10ms TTL=117
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=9ms TTL=117

Estadísticas de ping para 8.8.8.8:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 9ms, Máximo = 10ms, Media = 9ms

C:\Users\Hant>ping 8.8.8.8

Haciendo ping a 8.8.8.8 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=11ms TTL=117
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=8ms TTL=117
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=11ms TTL=117
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=11ms TTL=117

Estadísticas de ping para 8.8.8.8:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 8ms, Máximo = 11ms, Media = 10ms

C:\Users\Hant>
```

ANEXO C.

The image shows a Windows desktop environment. On the left, a command prompt window titled "C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - ping google.com -t" displays a continuous stream of ping results to google.com. Each line shows the response time in milliseconds and the TTL value, which is consistently 55. The response times fluctuate between approximately 298ms and 338ms.

On the right, a browser window displays the Speedtest results page for the test ID 8895915516. The page shows the following performance metrics:

- PING: 2043 ms
- DESCARGA (Download): 2.57 Mbps
- CARGA (Upload): 0.93 Mbps

The browser window also shows a list of available servers for testing, including:

- Multi
- Claro Bogota
- DIRECTV 191.102.197.225

At the bottom right of the browser window, there is a section titled "¿Tienes problemas de internet?" (Do you have internet problems?) with links to troubleshoot services like Disney+, Youtube TV, and Madden.

The Windows taskbar at the bottom shows the system tray with the date and time: 3:57 p.m., 28/12/2019.

ANEXO D.

The screenshot displays a Windows desktop environment. On the left, a command prompt window titled "C:\Windows\system32\cmd.exe - ping 8.8.8.8 -t" shows a continuous stream of ping results to the IP address 8.8.8.8. Each line indicates a successful response with 32 bytes, a response time between 31ms and 72ms, and a TTL of 118. Intermittently, there are messages indicating that the request timeout has expired ("Tiempo de espera agotado para esta solicitud.").

On the right, a configuration window titled "Configuración" is open, showing the settings for a wireless network named "TP-Link_OA6E". The "Asignación de IP:" is set to "Automático (DHCP)". Under the "Propiedades" section, the following details are listed:

- SSID: TP-Link_OA6E
- Protocolo: 802.11n
- Tipo de seguridad: WPA2-Personal
- Banda de red: 2.4 GHz
- Canal de red: 2
- Dirección IPv6 local de vínculo: fe80::a99cb8c15109:4b7c%11
- Dirección IPv4: 192.168.0.105
- Servidores DNS IPv4: 192.168.0.1
- Fabricante: Realtek Semiconductor Corp.
- Descripción: Realtek RTL8723DE 802.11b/g/n PCIe Adapter
- Versión del controlador: 2024.0.10.209
- Dirección física (MAC): 9C-30-5B-AB-93-FB

The Windows taskbar at the bottom shows the system tray with icons for network, volume, and power, along with the date and time: "5:30 p. m. 12/07/2020".

ANEXO E.

ZONA 1				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	6	12	18
2	100	7	11	20
3	100	13	14	16
Promedio	100%	8.666667	12.33333	18

ZONA 2				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	9	11	13
2	100	7	10	17
3	100	9	13	16
Promedio	100%	8.333333	11.33333	15.33333

ZONA 3				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	6	10	12
2	100	15	17	21
3	100	6	11	15
Promedio	100%	9	12.66667	16

ZONA 4				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	7	9	13
2	100	9	9	10
3	100	10	12	15
Promedio	100%	8.666667	10	12.66667

ZONA 5				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	8	14	20
2	100	6	14	26
3	100	9	13	17
Promedio	100%	7.666667	13.66667	21

ZONA 6				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	8	14	18
2	100	6	11	19
3	100	8	20	51
Promedio	100%	7.333333	15	29.33333

ZONA 7				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	10	11	14
2	100	8	13	17
3	100	7	13	19
Promedio	100%	8.333333	12.33333	16.66667

ZONA 8				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	9	18	32
2	100	9	18	13
3	100	6	9	16
Promedio	100%	8	15	20.33333

ZONA 9				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	12	14	18
2	100	8	11	18
3	100	11	13	18
Promedio	100%	10.33333	12.66667	18

ZONA 10				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	6	11	18
2	100	9	12	17
3	100	8	12	17
Promedio	100%	7.666667	11.66667	17.33333

ZONA 11				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	8	10	13
2	100	7	9	13
3	100	10	12	16
Promedio	100%	8.333333	10.33333	14

ZONA 12				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	7	10	14
2	100	10	14	19
3	100	7	10	15
Promedio	100%	8	11.33333	16

ZONA 13				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	12	17	31
2	100	7	11	18
3	100	7	13	23
Promedio	100%	8.666667	13.66667	24

ZONA 14				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	9	13	17
2	100	8	12	16
3	100	8	13	22
Promedio	100%	8.333333	12.66667	18.33333

ZONA 15				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	26	28	31
2	100	10	30	42
3	100	8	32	59
Promedio	100%	14.66667	30	44

ZONA 16				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	9	30	56
2	100	11	26	42
3	100	11	35	55
Promedio	100%	10.33333	30.33333	51

ZONA 17				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	7	24	40
2	100	19	32	47
3	100	17	29	35
Promedio	100%	14.33333	28.33333	40.66667

ZONA 18				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	9	18	23
2	100	7	24	37
3	100	10	35	53
Promedio	100%	8.666667	25.66667	37.66667

ZONA 19				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	8	31	43
2	100	10	24	38
3	100	25	34	47
Promedio	100%	14.33333	29.66667	42.66667

Datos promedio de la red				
Pruebas	Estabilidad	T min (ms)	T promedio	T Max (ms)
1	100	9.26	16.05	23.37
2	100	9.11	16.21	23.68
3	100	10.00	18.05	27.63
Promedio	100.00%	9.46	16.77	24.89

ANEXO F.

ZONA 1						ZONA 2						ZONA 3						ZONA 4					
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max	
1	100	11	34	46		1	100	14	31	64		1	100	12	13	14		1	100	13	65	162	
2	100	22	44	64		2	100	14	29	36		2	100	16	32	81		2	100	23	95	157	
3	100	12	13	15		3	100	11	66	202		3	100	10	21	61		3	100	9	50	27	
Promedio	100%	15	30.33333333	41.6667		Promedio	100%	13	42	100.6667		Promedio	100%	12.66667	22	52		Promedio	100%	15	70	115.3333	
ZONA 5						ZONA 6						ZONA 7						ZONA 8					
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max	
1	100	6	21	44		1	100	12	28	52		1	100	12	24	49		1	100	14	27	44	
2	100	37	50	6		2	100	11	47	151		2	100	8	25	53		2	100	12	30	50	
3	100	12	19	33		3	100	8	12	18		3	100	38	100	260		3	100	14	28	57	
Promedio	100%	18.33333	30	27.6667		Promedio	100%	10.33333	29	73.66667		Promedio	100%	19.33333	49.66667	120.6667		Promedio	100%	13.33333	28.33333	50.33333	
ZONA 9						ZONA 10						ZONA 11						ZONA 12					
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max	
1	100	12	14	16		1	100	10	28	37		1	100	8	15	23		1	100	10	11	13	
2	100	9	14	21		2	100	9	15	20		2	100	11	20	37		2	100	11	13	15	
3	100	9	14	19		3	100	14	19	28		3	100	9	14	16		3	100	11	14	21	
Promedio	100%	10	14	18.6667		Promedio	100%	11	20.66667	28.33333		Promedio	100%	9.333333	16.33333	25.33333		Promedio	100%	10.66667	12.66667	16.33333	
ZONA 13						ZONA 14						ZONA 15						ZONA 16					
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max	
1	100	15	18	26		1	100	12	25	40		1	100	9	22	33		1	100	5	40	108	
2	100	12	13	18		2	100	28	37	57		2	100	34	39	48		2	100	7	12	27	
3	100	12	13	16		3	100	9	52	169		3	100	10	23	37		3	100	11	12	15	
Promedio	100%	13	14.66666667	20		Promedio	100%	16.33333	38	88.66667		Promedio	100%	17.66667	28	39.33333		Promedio	100%	7.666667	21.33333	50	
ZONA 17						ZONA 18						ZONA 19						Datos promedio de la red					
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max		Pruebas	Estabilidad	T min (ms)	T promedio (ms)	T Max (ms)	
1	100	10	21	48		1	100	11	20	41		1	100	11	12	15		1	100	10.89	24.68	46.05	
2	100	12	55	180		2	100	12	27	55		2	100	11	29	76		2	100	15.74	32.95	60.63	
3	100	11	23	56		3	100	10	33	71		3	100	11	13	15		3	100	12.16	28.37	59.79	
Promedio	100%	11	33	94.6667		Promedio	100%	11	26.66667	55.66667		Promedio	100%	11	18	35.33333		Promedio	100%	12.93	28.67	55.49	

ANEXO G.

ZONA 1				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	12	14	17
2	100	10	15	21
3	100	11	17	25
Promedio	100%	11	15.33333	21

ZONA 2				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	9	10	11
2	100	10	16	28
3	100	14	15	17
Promedio	100%	11	13.66667	18.66667

ZONA 3				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	20	53	138
2	100	12	22	32
3	100	10	15	21
Promedio	100%	14	30	63.66667

ZONA 4				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	5	10	14
2	100	13	14	17
3	100	12	15	17
Promedio	100%	10	13	16

ZONA 5				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	14	16	19
2	100	11	11	13
3	100	7	9	12
Promedio	100%	10.66667	12	14.66667

ZONA 6				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	12	14	16
2	100	12	13	15
3	100	12	13	14
Promedio	100%	12	13.33333	15

ZONA 7				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	12	14	17
2	100	12	16	18
3	100	12	14	17
Promedio	100%	12	14.66667	17.33333

ZONA 8				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	13	15	17
2	100	13	18	26
3	100	11	20	39
Promedio	100%	12.33333	17.66667	27.33333

ZONA 9				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	5	12	18
2	100	10	18	36
3	100	7	10	14
Promedio	100%	7.333333	13.33333	22.66667

ZONA 10				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	9	14	21
2	100	9	14	19
3	100	12	15	20
Promedio	100%	10	14.33333	20

ZONA 11				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	14	21	79
2	100	8	11	14
3	100	11	12	14
Promedio	100%	11	14.66667	35.66667

ZONA 12				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	11	23	35
2	100	9	29	39
3	100	14	31	41
Promedio	100%	11.33333	27.66667	38.33333

ZONA 13				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	13	22	31
2	100	17	19	25
3	100	10	18	24
Promedio	100%	13.33333	19.66667	26.66667

ZONA 14				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	18	69	160
2	100	21	36	49
3	100	13	20	28
Promedio	100%	17.33333	41.66667	79

ZONA 15				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	13	14	17
2	100	11	11	13
3	100	8	11	14
Promedio	100%	10.66667	12	14.66667

ZONA 16				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	13	14	17
2	100	16	24	42
3	100	23	39	56
Promedio	100%	17.33333	25.66667	38.33333

ZONA 17				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	18	37	51
2	100	30	44	60
3	100	11	10	31
Promedio	100%	19.66667	30.33333	47.33333

ZONA 18				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	9	20	25
2	100	18	31	48
3	100	22	56	139
Promedio	100%	16.33333	35.66667	70.66667

ZONA 19				
Pruebas	Estabilidad	T min	T promedio	T Max
1	100	10	13	20
2	100	9	15	20
3	100	12	25	61
Promedio	100%	10.33333	17.66667	33.66667

Datos promedio de la red				
Pruebas	Estabilidad	T min (ms)	T promedio	T Max (ms)
1	100	12.11	21.32	38.05
2	100	13.21	19.84	28.16
3	100	12.21	19.21	31.79
Promedio	100%	12.51	20.12	32.67

ANEXO H.

Red Ideal	Ancho de banda (Mbps)	Velocidad promedio (Mbps)	Cantidad de host	Tiempo de respuesta promedio (ms)
Zona 1	100	100	1	12,33
Zona 2	100	100	1	11,33
Zona 3	100	100	1	12,66
Zona 4	100	100	1	10
Zona 5	100	100	1	13,66
Zona 6	100	100	1	15
Zona 7	100	100	1	12,33
Zona 8	100	100	1	15
Zona 9	100	100	1	12,66
Zona 10	100	100	1	11,66
Zona 11	100	100	1	10,33
Zona 12	100	100	1	11,33
Zona 13	100	100	1	13,66
Zona 14	100	100	1	12,66
Zona 15	100	100	1	30
Zona 16	100	100	1	30,33
Zona 17	100	100	1	28,33
Zona 18	100	100	1	25,66
Zona 19	100	100	1	29,66
Total	1900	100	19	16,77

ANEXO I.

Red Planteada	Ancho de banda (Mbps)	Velocidad promedio (Mbps)	Cantidad de host	Tiempo de respuesta promedio (ms)
Zona 1	160	10	16	15,33
Zona 2	250	10	25	13,66
Zona 3	250	10	25	30
Zona 4	230	10	23	13
Zona 5	300	10	30	12
Zona 6	180	10	18	13,33
Zona 7	310	10	31	14,66
Zona 8	270	10	27	17,66
Zona 9	140	10	14	13,33
Zona 10	120	10	12	14,33
Zona 11	150	10	15	14,66
Zona 12	270	10	27	27,66
Zona 13	350	10	35	19,66
Zona 14	100	10	10	41,66
Zona 15	170	10	17	12
Zona 16	230	10	23	25,66
Zona 17	340	10	34	30,33
Zona 18	60	10	6	35,66
Zona 19	100	10	10	17,66
Total	3980	10	398	20,12

ANEXO J.

Red Saturada	Ancho de banda (Mbps)	Velocidad promedio (Mbps)	Cantidad de host	Tiempo de respuesta promedio (ms)
Zona 1	100	6,25	16	30,33
Zona 2	100	4,00	25	42
Zona 3	100	4,00	25	22
Zona 4	100	4,35	23	70
Zona 5	100	3,33	30	30
Zona 6	100	5,56	18	29
Zona 7	100	3,23	31	49,66
Zona 8	100	3,70	27	28,33
Zona 9	100	7,14	14	14
Zona 10	100	8,33	12	20,66
Zona 11	100	6,67	15	16,33
Zona 12	100	3,70	27	12,66
Zona 13	100	2,86	35	14,66
Zona 14	100	10,00	10	38
Zona 15	100	5,88	17	28
Zona 16	100	4,35	23	21,33
Zona 17	100	2,94	34	33
Zona 18	100	16,67	6	26,66
Zona 19	100	10,00	10	18
Total	1900	5,95	398	28,66