

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA
PARA EL USO DE REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA
LOCAL COMO SOLUCIÓN PARA EL ACCESO A
INTERNET EN ZONAS RURALES**

**ÁLVARO JAVIER MEJÍA BENAVIDES
ÁLVARO JAVIER ORTEGA
JOSÉ ANDRÉS PINZA CÓRDOBA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2013**

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA
PARA EL USO DE REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA
LOCAL COMO SOLUCIÓN PARA EL ACCESO A
INTERNET EN ZONAS RURALES**

**ÁLVARO JAVIER MEJÍA BENAVIDES
ÁLVARO JAVIER ORTEGA
JOSÉ ANDRÉS PINZA CÓRDOBA**

Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico

**Asesor:
CARLOS ANDRÉS VITERI MERA
Magister en Ingeniería Electrónica**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2013**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva de los autores.

Artículo 1^o del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, 23 de Abril de 2013

AGRADECIMIENTOS

Definitivamente este trabajo no se habría podido realizar sin la colaboración de varias personas, agradecemos enormemente a:

- Carlos Andrés Viteri Mera, Magíster en Ingeniería Electrónica y asesor del proyecto, por su constante motivación, valiosas orientaciones, incondicional apoyo y confianza depositada en el grupo para la elaboración del proyecto, quién además, es un modelo de profesional a seguir.
- Alex Obando, Andrés Rodríguez, Marcelo Villarreal, Maritza Reyes y Carlos Rodríguez por su valiosa colaboración.

A Dios por darme la oportunidad de hacer parte de esta Universidad y de este grupo de trabajo.

A mis queridos padres: Álvaro y Ana, por haberme brindado su apoyo incondicional, consejos y motivaciones para sacar este proyecto adelante.

A mis hermanas, tíos, primos y amigos, mil gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo del triunfo en la vida.

Álvaro J. Mejía.

Cómo pretender dar algo a quien ya lo tiene todo, aún así, en ese absurdo, quiero ofrecer este trabajo a Dios, ya que es a Él a quien debo mi vida, mis ganas de triunfar y la capacidad de hacerlo. Además, quiero dedicar este logro a Miguel Angel Rosero, por ser un padre sin obligación de serlo, quien sin haber una sola gota de sangre que nos una me ha brindado todo y más, convirtiéndome en la persona que soy.

A mi madre Miriam Edith Ortega, por siempre creer en mí y ser ese modelo ejemplar de generosidad y humildad.

Álvaro J. Ortega.

A Dios por haberme permitido llega hasta este punto.

A mi madre Sonia por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis abuelos Eduardo y Elvira, a mi tía Adriana por su ejemplo y constante apoyo y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de este proyecto.

¡Gracias a ustedes!

José A. Pinza.

RESUMEN

El presente trabajo de tipo investigativo se enmarca en los criterios de equidad social y cultural, con lo que se pretende mejorar el acercamiento de la tecnología informativa y comunicativa a la población rural y transmitir de manera eficiente la información por medio de la conexión a Internet, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de los individuos que hagan uso de esta herramienta. Además, este proyecto realiza contribuciones al conocimiento en el campo de diseño de redes inalámbricas y a la reducción de las brechas digitales por medio de soluciones tecnológicas para el acceso a Internet de banda ancha en zonas rurales que superen las difíciles condiciones geográficas de Nariño, generando un modelo aplicable a un escenario con características similares.

El problema técnico a tratar está orientado a determinar las posibles arquitecturas y los parámetros de desempeño de redes usando tecnologías de área local con múltiples antenas desplegadas en un entorno rural. La realización de este trabajo ayuda a dimensionar el tamaño de las redes y la viabilidad de su implementación masiva, lo que beneficiará a futuros diseñadores a implementar esta tecnología en entornos rurales.

ABSTRACT

The present investigative work is based on social and cultural equality standards. They intend to improve the approach of communicative and informative technology for the rural population, and transmit information efficiently through the web, improving the quality of life for the people who use this tool. Besides, this project makes contributions to the knowledge in the field of wireless network design, and the increase to the access of information technologies and communication, through technological solutions for the web access in country areas that overcome the difficult Nariño's geographic conditions, generating an applicable pattern for a set with similar characteristics.

The technical issue to be discussed, pretends to determine the possible topologies and the network performance parameters using local technologies with multiple antennas located in a rural environment. The accomplishment of this work helps to dimension the size of the networks and the viability of its massive implementation, which will benefit future designers to implement this technology in rural areas.

Índice

AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIAS	vi
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xxi
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	2
I. CREADOR ÓPTIMO DE TOPOLOGÍAS USANDO RADIOEN- LACES PARA TERRENOS MONTAÑOSOS	4
1.1. Obtención de la base de datos	6
1.2. Criterio de línea de vista	6
1.3. Búsqueda de repetidores	8
1.3.1. Definición de la función objetivo	8
1.3.2. Métodos de optimización aplicados	10
1.3.3. Comparación de los métodos aplicados	12
1.4. Combinación de topologías posibles	13

1.4.1.	Características de una topología tipo árbol	13
1.4.2.	Representación matricial de grafos	13
1.5.	Plantilla del algoritmo total	16
1.6.	Resultados del programa de topologías implementado	17
1.6.1.	Primera red de interés	17
1.6.2.	Segunda red de interés	20
II.	SIMULACIONES DE TRÁFICO TCP	22
2.1.	Redes a simular	24
2.2.	Simulaciones	28
2.2.1.	Modelo en NS-3	28
2.2.2.	Modelo en NS-2	29
2.3.	Resultados	34
2.3.1.	Caudal (Throughput)	35
2.3.2.	Retardo (Delay)	38
2.3.3.	Jitter	40
2.3.4.	Pérdida de paquetes	41
III.	ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA REDES INALÁMBRI- CAS EN ÁREAS RURALES	45
3.1.	Estudio de mercadeo	46

3.1.1.	Población y Muestra	46
3.1.2.	Caracterización del producto	48
3.1.3.	Análisis del sector	48
3.1.4.	Análisis territorial	49
3.1.5.	Análisis de la demanda	49
3.1.6.	Cuantificación de la demanda	58
3.1.7.	Penetración del mercado	58
3.1.8.	Análisis de la oferta	60
3.1.9.	Análisis de precios	60
3.2.	Análisis técnico	61
3.2.1.	Tecnología	61
3.2.2.	Velocidad de datos	61
3.2.3.	Equipos	62
3.2.4.	Características de la Red Inalámbrica	67
3.2.5.	Desempeño de cobertura	68
3.2.6.	Cobertura	71
3.2.7.	Capacidad de la red	73
3.3.	Análisis económico y financiero	77
3.3.1.	Personal	77

3.3.2. CAPEX	78
3.3.3. OPEX	79
3.3.4. Depreciación de la red	81
3.3.5. Rentabilidad	82
3.3.6. Periodo de recuperación de la inversión (PRI)	83
3.3.7. Valor presente neto (VPN)	85
3.3.8. Tasa interna de retorno (TIR)	86

ANEXO A. — CÓDIGOS: CREADOR ÓPTIMO DE TOPOLOGÍAS USANDO RADIOENLACES PARA TERRENOS MONTAÑOSOS 92	
---	--

ANEXO B. — TUTORIAL: CREADOR ÓPTIMO DE TOPOLOGÍAS USANDO RADIOENLACES PARA TERRENOS MONTAÑOSOS 126	
---	--

ANEXO C. — CÓDIGOS DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN NS-2 133	
--	--

ANEXO D. — ANÁLISIS DE LAS TRAZAS GENERADAS POR NS-2 MEDIANTE UN CÓDIGO DESARROLLADO EN MATLAB 139	
---	--

ANEXO E. — ENCUESTA 144	
--	--

ANEXO F. — GESTIÓN DE LA RED PILOTO NARIÑO VIVE DIGITAL 147	
--	--

Índice de Tablas

1.	Primera red de interés - Coordenadas	18
2.	Primera red de interés - Altura de torres necesarias	18
3.	Segunda red de interés - Coordenadas	20
4.	Segunda red de interés - Altura de torres necesarias	20
5.	Valores de Throughput de los enlaces de la “Red de estudio”.	27
6.	Valores de Throughput de los enlaces de la red “Opción Uno”.	28
7.	Parámetros de la simulación de tráfico con distribución de Pareto.	32
8.	Población de demandantes potenciales	47
9.	Valores de K según el nivel de confianza	47
10.	Área de territorios	49
11.	Estrato Socio-económico de las viviendas encuestadas	50
12.	Nivel de ingresos mensuales de las viviendas encuestadas	51
13.	Concepto que le merecen al Internet las viviendas encuestadas	52
14.	Frecuencia del uso de Internet	53
15.	Nivel de satisfacción del uso del servicio de Internet	54
16.	Factores que influyen para escoger la empresa que brinda Internet	56
17.	Interés en adquirir el servicio de Internet	57
18.	Penetración del mercado de la “primera red de interés”	59

19.	Características técnicas de la estación base	67
20.	Características técnicas del terminal de usuario	68
21.	Sistema de múltiples antenas	68
22.	Valores de la función Q^{-1}	69
23.	Márgenes de desvanecimiento del área de cobertura	71
24.	Enlace propuesto para un escenario suburbano	71
25.	Cobertura y capacidad de estación base	74
26.	Potencias de transmisión	76
27.	Interferencia co-canal	76
28.	Número estaciones base y sectores lógicos	76
29.	Número de radioenlaces	76
30.	Estructura organizacional	77
31.	Salario del personal.	78
32.	CAPEX enlace P2P.	78
33.	CAPEX estación base.	78
34.	CAPEX terminal de usuario.	79
35.	CAPEX red completa.	79
36.	OPEX estación base.	79
37.	OPEX enlace P2P.	80

38.	OPEX Terminal de usuario.	80
39.	OPEX servicio de operador de Internet.	81
40.	OPEX red completa.	81
41.	Depreciación de la red.	81
42.	Flujo de costos con precio de ventana de \$43.000.	82
43.	Flujo de costos con un precio de venta de \$35.000.	82
44.	Flujo de costos totales de la “primera red de interés”.	83
45.	Flujo de costos con un precio de venta de \$43.000, con penetración en el mercado menor a la esperada.	83
46.	VPN del flujo de costos de la Tabla 42.	86
47.	VPN del flujo de costos de la Tabla 43.	86
48.	Coordenadas	132
49.	datos_enlaces	132

Índice de Figuras

1.	Liberación primera zona Fresnel.	8
2.	Diagrama de la búsqueda de repetidores.	9
3.	Comparación de los métodos metaheurísticos aplicados al enlace Ancuya - Linares, el cual presenta una gran elevación de terreno en el medio.	12
4.	Ejemplo de representación matricial de grafos. (a) Grafo con 5 nodos, (b) matriz de adyacencia respectiva.	14
5.	Topología con conexión bidireccional. (a) Grafo no dirigido de una topología tipo árbol de 4 nodos, (b) respectiva forma matricial. adyacencia respectiva.	14
6.	Excepción de combinación de conexión tipo árbol para una topología de 4 nodos. (a) Excepción de topología con 4 nodos, (b) Matriz de adyacencia.	15
7.	Opción Uno - Primera red de interés.	19
8.	Opción dos - Primera red de interés. Las líneas amarillas representan enlaces opcionales.	19
9.	Opción tres - Primera red de interés.	19
10.	Opción uno - Segunda red de interés. Las opciones del Rep0 se encuentran cercanas al mostrado en la figura.	21
11.	Diagrama de red de la "Red de Estudio".	25

12.	Diagrama de red de la “Red Opción Uno”.	25
13.	Topología general de la “Red de estudio”.	26
14.	Topología general de la “Red Opción Uno”.	27
15.	Configuración de una conexión TCP.	31
16.	Distribución de Pareto. (a) Densidad de probabilidad, (b) Función de distribución.	33
17.	Campos que contiene una traza generada en NS-2	34
18.	Throughput promedio por usuario vs. Número de usuarios por lugar en la red denominada “Red de estudio”.	36
19.	Throughput promedio por usuario vs. Número de usuarios por lugar en la red denominada “Opción 1”.	37
20.	Retardo promedio por usuario vs. Número de usuarios por lugar para la red designada como “Red de estudio”.	38
21.	Retardo promedio por usuario vs. Número de usuarios por lugar para la red Nombrada como “Opción 1”.	39
22.	Jitter promedio por usuario vs. Número de Usuarios por lugar para la “Red de estudio”.	40
23.	Jitter promedio por usuario vs. Número de Usuarios por lugar de la red “Opción 1”.	41
24.	Porcentaje de pérdida de paquetes promedio por usuario vs. Número de Usuarios por lugar para la “Red de estudio”.	42

25.	Porcentaje de pérdida de paquetes promedio por usuario vs. Número de Usuarios por lugar para la red “Opción 1”.	43
26.	Estrato socio-económico de las viviendas encuestadas.	50
27.	Nivel de ingresos mensuales de las viviendas encuestadas.	51
28.	Concepto que le merecen al Internet los hogares encuestados.	52
29.	Frecuencia del uso de Internet.	54
30.	Nivel de satisfacción del uso del servicio de Internet.	55
31.	Factores a tener en cuenta para escoger una empresa que ofrezca el servicio de Internet.	56
32.	Interés en adquirir el servicio de Internet por parte de las viviendas encuestadas.	57
33.	Tasa de penetración del mercado para una población suburbana.	60
34.	Cobertura de celdas en las cabecaras municipales de la “primera red de interés”. (a) Ancuya, (b) Linares, (c) Samaniego, (d) Sandoná.	75
35.	Primer archivo que debe ejecutar el usuario.	126
36.	Ubicación de los puntos extremos del mapa para el recorte del mismo.	127
37.	Ejemplo de recorte de mapa con lugares situados en el mismo.	128
38.	Segunda interfaz con el usuario. Aquí es donde se ejecuta el programa en su totalidad.	128
39.	Command window en el transcurso del programa.	129
40.	Topología encontrada por el programa.	130

41. Información de la gráfica de la topología encontrada. 131

INTRODUCCIÓN

Este escrito presenta la explicación, implementación y resultados de un programa que realiza diseños de topologías usando radioenlaces basado en algoritmos metaheurísticos, lo cual se encuentra en detalle en el primer capítulo de este documento. Posteriormente, en el segundo capítulo se desarrolla un modelo de simulación, con el fin de determinar el desempeño de una red en cuanto a parámetros como: Caudal (Throughput), Retardo (Delay), Variación de Retardo (Jitter) y Pérdida de Paquetes (Packet Loss). Además, en el tercer capítulo, se expone la viabilidad técnico-económica del servicio público de Internet de forma auto sostenible y con fines de negocio, aplicado a los municipios beneficiados de una de las redes propuestas añadidas en este documento. Por último, se añaden como anexo: los códigos de optimización del creador de topologías, los códigos de las diferentes simulaciones hechas en el simulador NS2, la encuesta realizada a las cabeceras municipales con fines de análisis de mercadeo y la documentación de la gestión de la red “Nariño vive Digital”, escenario de estudio para la realización de este proyecto.

JUSTIFICACIÓN

Casi nadie cuestiona el valor de la educación básica: saber leer y escribir es considerado una necesidad; sin embargo, el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) es calificado como un lujo innecesario desaprovechando las oportunidades que éstas ofrecen.

Las TICs han sido un motor clave para el desempeño y el crecimiento de las economías desde principios de los 70's, convirtiéndose tal vez en los principales facilitadores tecnológicos de la globalización económica. Más recientemente durante la década de 1990, estas tecnologías han sido aceptadas como herramientas eficaces para ayudar a avanzar en el desarrollo humano [1]. Por tanto es claro entender que existen zonas más desarrolladas que otras, esto ha causado que exista un concepto para definir dicha desigualdad en el acceso a las TICs, diferenciando a la población con alto nivel de acceso de aquella que no lo tiene. Esto se conoce como “brecha digital” la cual genera una nueva pobreza, la pobreza de información, que es un problema serio para el progreso de los países en vía de desarrollo.

Como plantea el Plan Nacional de Desarrollo 2010 - 2014, las TICs son herramientas indispensables para la transformación productiva del país, pues constituyen un apoyo a la economía para generar dinámica e innovación en diversos sectores, aumentar la productividad y mejorar en competitividad. Así mismo, las TICs contribuyen a generar conocimiento -en particular ciencia y tecnología- a transmitirlo y a potenciar su creación [2].

El Ministro TIC, Diego Molano Vega, visitó la ciudad de Pasto donde entregó aulas móviles para los niños de las escuelas públicas y firmó un memorando de entendimiento por más de \$141.000 millones para el desarrollo y apropiación de las TIC en Nariño [3]. Una forma adecuada de emplear estos recursos es ejecutando proyectos que den acceso al servicio de Internet en las áreas rurales del departamento.

Se tiene que la región nariñense es caracterizada por ser una zona altamente montañosa, dificultando el diseño de la red, lo que hace necesario diseñar herramientas que busquen una alternativa óptima para disminuir las brechas digitales. Esto es, la aplicación de modelos metaheurísticos que disminuyan los costos de infraestructura, la realización de simulaciones de red que permitan determinar el desempeño de una red obtenida de un diseño previo y el desarrollo de un estudio económico que establezca la relación costo/beneficio de la implementación de la red.

Consecuentemente, este proyecto satisface los requerimientos de un trabajo de investigación según lo plantea el perfil profesional del ingeniero electrónico de la Universidad de Nariño, donde resalta la capacidad de apropiar las nuevas tecnologías de su entorno científico y dirigirlas hacia la solución de problemas regionales y nacionales [4].

Capítulo I

CREADOR ÓPTIMO DE TOPOLOGÍAS USANDO RADIOENLACES PARA TERRENOS MONTAÑOSOS

Resumen—Este capítulo presenta la explicación, implementación y resultados de un programa que realiza diseños de topologías usando radioenlaces basado en algoritmos metaheurísticos.

Introducción

Colombia en su objetivo de combatir con las brechas digitales, aumentó entre agosto de 2011 y junio de 2012 de 2,2 millones de conexiones de banda ancha a 4,1 millones, según lo indica el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las comunicaciones [5]. Sin embargo, comparando a Colombia con otros países de sur América y Europa, como Argentina y España, donde el porcentaje de suscriptores de este servicio es de 66,0% y 62,2% respectivamente, Colombia sólo posee 50,4% [6]. Gran parte de esta problemática se debe a que en zonas urbanas el servicio lo brindan entidades privadas, mientras que en las zonas rurales solo se encuentra un programa estatal llamado Compartel, con una velocidad de banda angosta en instalaciones como colegios, alcaldías y entidades del Estado, lo que impide que toda la población se beneficie de este servicio.

Teniendo en cuenta las grandes distancias que existen entre las zonas urbanas y rurales los sistemas cableados (xDSL o cable) son inviables debido a los altos costos de instalación y mantenimiento que requerirían. Por ello existen varias alternativas de tecnologías que se pueden aplicar a zonas rurales como lo son: WiFi (basados en el estándar IEEE 802.11n), WiMAX (IEEE 802.16), y conexión satelital (*Very Small Aperture Terminal*, VSAT) [7]. Sin embargo, el problema fundamental de ingeniería

que hay que resolver para las telecomunicaciones rurales es conectar a los usuarios finales con un núcleo de red de alta velocidad con nuevas tecnologías que mejoren los requerimientos específicos tales como velocidad de transmisión y capacidad de usuarios, cubriendo gran parte de la zona a tratar.

El plan nacional de fibra óptica contribuye a la solución de esta problemática, ya que tiene como objetivo desplegar tecnología en al menos 400 municipios nuevos del país para alcanzar la meta de 700 municipios conectados al año 2014 de un total de 1103. El proyecto contará con una inversión de \$415 mil millones [8]. Sin embargo, no es suficiente que exista conexión en un solo punto, es necesario tener una red de distribución tanto para la zona beneficiada como para las regiones aledañas que no cuenten con este servicio, teniendo en cuenta que se debe beneficiar la mayor parte de la población y no sólo ciertos sectores, y así contribuir a la disminución de las brechas digitales del país.

Una alternativa para realizar este tipo de conexiones es el uso de enlaces microondas, donde se debe tener en cuenta básicamente que exista línea de vista entre los puntos. Para esto, se puede realizar la construcción de torres a los extremos y así evitar cualquier obstáculo que se encuentre en la ruta del enlace. Sin embargo, esto no es siempre posible, en especial cuando se trata de zonas montañosas, para lo cual, se acude a la construcción de uno o más repetidores. El ingeniero debe trasladarse a las zonas en cuestión y buscar la forma de conexión, lo cual representa una gran dificultad en caso que el área de búsqueda sea muy grande y/o la zona sea desconocida para él, lo que conlleva costos innecesarios de dinero en transporte y tiempo, esta dificultad es aún mayor cuando se trata de diseñar varios enlaces, es decir, una topología.

Para esto, se diseñó un programa que con la ayuda de los mapas en relieve usados por Google Earth y la metaheurística, realice los diseños de radioenlaces, minimizando las alturas de las torres que se necesiten y la distancia de los saltos requeridos en los enlaces sin línea de vista.

La explicación de este diseño se encuentra en detalle en este capítulo. Varias secciones de interés son añadidas, la obtención de la base de datos y el criterio de línea de vista, se encuentran adjuntas en las secciones 1.1 y 1.2 respectivamente. La sección 1.3 contiene la búsqueda de repetidores, donde la metaheurística es aplicada y la comparación de los tres algoritmos de optimización implementados es añadida: algoritmos genéticos, búsqueda de patrones y simulated annealing, La sección 1.4 describe la forma de encontrar las combinaciones de conexión posibles entre varios nodos. En la sección 1.5, se encuentra la plantilla y explicación del programa global. Por último, la sección 1.6 presenta los resultados de simulación obtenidos.

1.1. Obtención de la base de datos

Haciendo uso de la base de datos usada por Google Earth, la cual proviene de una misión espacial de la NASA denominada SRTUM (*Shuttle Radar Topography Mission*), que como su nombre lo dice, son datos que se obtuvieron mediante técnicas de radar, los cuales son de uso libre y se encuentran disponibles en bloques sectorizados por regiones [9]. Se extrae la región de interés y se realiza un corte rectangular que contenga sólo los lugares a enlazar, esto es debido a la limitación del manejo de memoria computacional que posee Matlab.

1.2. Criterio de línea de vista

El algoritmo 1 presenta una plantilla de la realización del criterio de línea de vista entre dos puntos. Para su elaboración es necesario tener en cuenta no sólo que los extremos del enlace se visualicen entre sí, sino además un despeje adicional llamado zona de Fresnel. Este factor deriva de la teoría de ondas electromagnéticas, respecto de la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo. El resultado es un aumento o disminución en el nivel de intensidad de la señal recibida. La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40 % de la primera zona de

Fresnel. La obstrucción máxima recomendada es del 20 % [10].

Algoritmo 1 Criterio de línea de vista

Cargar mapa y los dos lugares a enlazar
 Encontrar recta que una los dos puntos
 Perfil \leftarrow Alturas que el mapa tiene sobre la recta
 P1 y P2 = Extremos del perfil
Para AlturaTorre1 = 10:25* **Hacer**
 Para AlturaTorre2 = 10:25 **Hacer**
 P1C = P1 + AlturaTorre1
 P2C = P2 + AlturaTorre2
 Encontrar recta que una P1C y P2C
 Encontrar curva fresnel sobre la recta
Si CurvaFresnel > Perfil **Hacer**
 Opciones \leftarrow Guardar altura de torres
 Buscar en Opciones la menor altura de torres necesarias
Si No hay Opciones **
 AlturaTorre1 = 100000
 AlturaTorre2 = 100000
Si La suma de altura de torres necesarias > 50
 No hay línea de vista entre los dos puntos

* La altura mínima de una torre será de 10 metros, dado que la antena no se encontrará jamás al nivel del suelo, sino a una elevación superior a la cima de una casa. Su altura máxima será de 25 metros con el fin de reducir lo mayor posible los costos de implementación.

** Esta condición es una penalización de gran utilidad en la búsqueda óptima de la ubicación de los repetidores, ya que presenta un incremento drástico en el valor de la función objetivo para los lugares que no cumplen los requerimientos de línea de vista y así ayuda a evitar que el algoritmo converja en estos lugares.

Para que el diseño sea lo más óptimo posible, se debe liberar al menos la primera zona Fresnel como se muestra en la Figura 1 para así no tener en cuenta las pérdidas por difracción dado que serían mínimas. El radio de la n-ésima zona Fresnel depende de la longitud de onda λ y las distancias del obstáculo a las antenas transmisora y receptora d_1 y d_2 respectivamente como indica la ecuación (1) [11].

$$r = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (1)$$



Figura 1: Liberación primera zona Fresnel.

1.3. *Búsqueda de repetidores*

1.3.1. Definición de la función objetivo

La función objetivo consta de la suma de la altura de todas las torres necesarias más la distancia máxima que exista entre los saltos necesarios que se requieran en el enlace. El primer término contribuye a que la altura de las torres sea lo menor posible minimizando costos, mientras que el segundo influye en que los saltos sean cortos, logrando que la alineación de antenas sea menos complicada. Dicha complejidad es debida a que las antenas al ser altamente directivas hagan que un ligero desvío pueda causar una no conexión entre ellas. Matemáticamente esta función se encuentra expresada en la ecuación (2).

$$\text{Minimizar } F(\bar{X}) = k \sum_{i=1}^{s+1} h_i(\bar{X}) + d_{max}(\bar{X}) \quad (2)$$

Donde el vector \bar{X} representa la ubicación de los repetidores que puede variar de tamaño según el número de saltos que se requieran, el cual está denotado con la letra s . El término h_i equivale a la altura de las torres que se necesiten en cada extremo de cada salto, d_{max} representa la distancia máxima entre los saltos requeridos, la cual depende de la posición de los repetidores. Por último, el término k es una constante que proporciona un peso a la altura de torres, para de esta forma manejar

la importancia que éstas tengan sobre la distancia.

En el diagrama representado en la Figura 2 se observa que el algoritmo de búsqueda incrementa en una unidad el valor de s cuando los criterios de línea de vista no se cumplen para los saltos dados (bloque de comprobación), añadiendo de esta forma un salto más al enlace, por lo cual, aumenta la dimensión de \bar{X} de la función objetivo y cambian los análisis de línea de vista, esto puede ser visualizado en los algoritmos 2, 3 y 4. El valor máximo de la variable s será de 4, es decir, la necesidad de tres repetidores en el peor de los casos, dado que el implementar más repetidores en un solo enlace no es conveniente por gestión de costos.

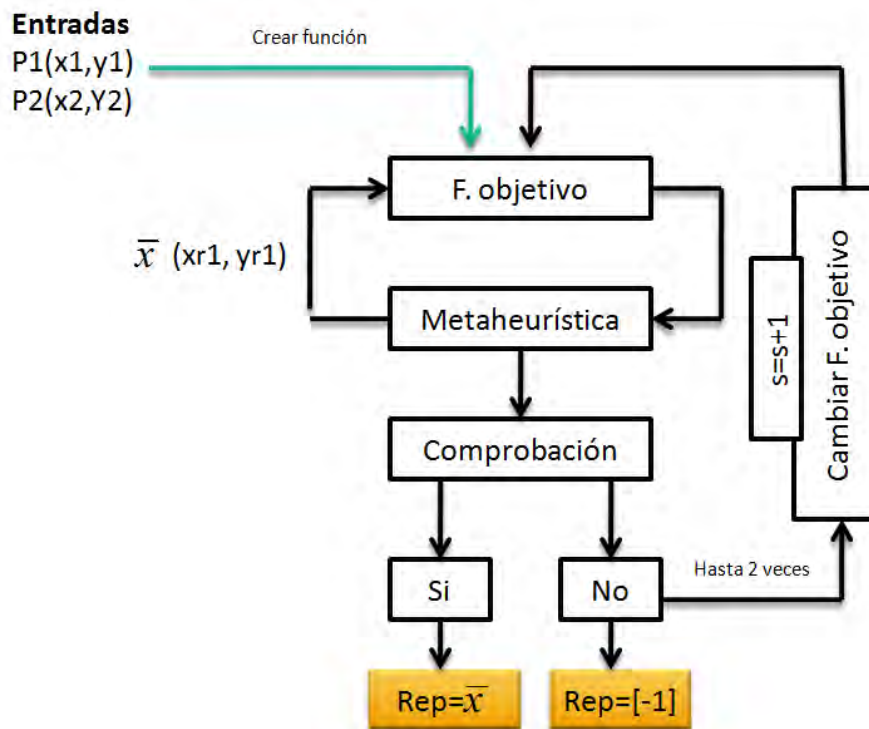


Figura 2: Diagrama de la búsqueda de repetidores.

Nota: Dado que los extremos del enlace son puntos que varían dentro del programa global pero son constantes dentro de la función objetivo, éstos no pueden implementarse como parámetro de entrada, por tanto, es necesario crear la función cada vez que ésta sea evaluada.

Algoritmo 2 Función Objetivo Un repetidor

pr // entrada de la función o variables a optimizar que representa el punto de la ubicación del repetidor ([x1 y1])
p1 y p2 // los extremos del enlace
Criterio de línea de vista [p1 pr]
Criterio de línea de vista [pr p2]
fval // valor de salida de la función
fval=suma{10*(torres necesarias) + distancia máxima entre los enlaces [p1 pr] y [pr p2]}

Algoritmo 3 Función Objetivo Dos repetidores

pr // entrada de la función o variables a optimizar que representa el punto de la ubicación de los repetidores ([x1 y1 x2 y2])
p1 y p2 // los extremos del enlace
Criterio de línea de vista [p1 pr1]
Criterio de línea de vista [pr1 pr2]
Criterio de línea de vista [pr2 p2]
fval // valor de salida de la función
fval=suma{10*(torres necesarias) + distancia máxima entre los enlaces [p1 pr1], [pr1 pr2] y [pr2 p2]}

Algoritmo 4 Función Objetivo Tres repetidores

pr // entrada de la función o variables a optimizar que representa el punto de la ubicación de los repetidores ([x1 y1 x2 y2 x3 y3])
p1 y p2 // los extremos del enlace
Criterio de línea de vista [p1 pr1]
Criterio de línea de vista [pr1 pr2]
Criterio de línea de vista [pr2 pr3]
Criterio de línea de vista [pr3 p2]
fval // valor de salida de la función
fval=suma{10*(torres necesarias) + distancia máxima entre los enlaces [p1 pr1], [pr1 pr2], [pr2 pr3] y [pr3 p2]}

1.3.2. Métodos de optimización aplicados

1.3.2.1. Algoritmos genéticos (GA)

El algoritmo genético es un método basado en poblaciones metaheurísticas para resolver problemas con y sin restricciones, cuyo principio es la selección natural,

proceso que es inspirado en la evolución biológica. El algoritmo genético modifica repetidamente una población de soluciones individuales. En cada iteración, se selecciona individuos de una población actual para ser padre y los usa luego para producir los hijos para la siguiente generación, causando que en generaciones sucesivas, la población “envuelva” hacia una solución óptima [12].

El GA usa 3 principales tipos de reglas en cada iteración para crear la siguiente generación desde la actual [13]:

- Reglas de selección: Selección de individuos (padres) que contribuyen a la población en la siguiente generación.
- Reglas de cruce: Combina dos padres para formar hijos para la siguiente generación.
- Reglas de mutación: Aplica cambios aleatorios a los padres individuales para formar hijos.

1.3.2.2. Búsqueda de patrones (PS)

Es un método de búsqueda directa para solucionar problemas de optimización que no requieran información acerca del gradiente de la función objetivo o sus derivadas para encontrar un punto óptimo, lo cual lo diferencia de los métodos de optimización tradicionales que usan este tipo de información, la búsqueda de patrones es un algoritmo que busca un conjunto de puntos alrededor de un punto actual obedeciendo a un patrón, donde el criterio para reemplazar el punto actual será que el nuevo punto sea mejor, si ninguno de los puntos contenidos en el conjunto cumplen con éste requisito, el punto actual permanecerá para la siguiente iteración [13].

1.3.2.3. Simulated Annealing (SA)

El algoritmo SA simula los cambios de energía en un sistema sometido a procesos de enfriamiento hasta que éste converja a un estado de equilibrio (estado de

congelación constante), los saltos del algoritmo de un punto a otro obedecen a una probabilidad que decrece acorde con la temperatura en cada iteración, cada cierto número de iteraciones un proceso de calentado es llevado a cabo, dado que se trata de un algoritmo inspirado en la aleación de metales, proceso que requiere un calentamiento y luego un enfriado lento para la obtención de una estructura fuerte y cristalina [12].

1.3.3. Comparación de los métodos aplicados

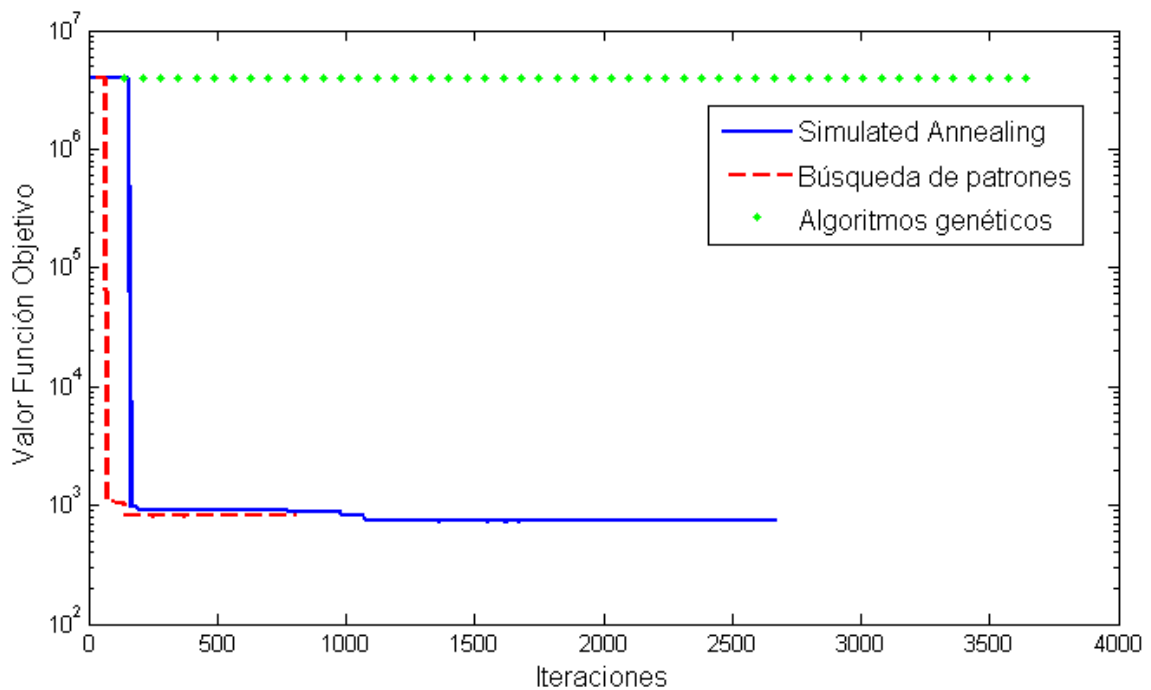


Figura 3: Comparación de los métodos metaheurísticos aplicados al enlace Ancuya - Linares, el cual presenta una gran elevación de terreno en el medio.

Al observar la Figura 3, una mala opción es algoritmos genéticos, dado que no consigue converger rápidamente, esto es debido a que la configuración de este tipo de algoritmos es sumamente compleja debido a la gran variedad de parámetros que posee. Sin embargo, búsqueda de patrones y simulated annealing presentan muy buenos resultados. El primero brinda una buena respuesta en pocas iteraciones y el segundo converge en un número mayor de iteraciones pero con un valor menor de la función

objetivo.

1.4. Combinación de topologías posibles

Para la conexión de los nodos de interés se puede recurrir a dos tipos de topologías: tipo malla y tipo árbol. La primera es un tipo de red que contiene diversos caminos para llegar de un punto a otro, creando redundancia en la red logrando que pueda funcionar incluso si un nodo desaparece o la conexión falla. Sin embargo, los costos de implementación son elevados en comparación con una topología tipo árbol, dado que necesita de software de enrutamiento para direccionar la ruta más corta y por tanto hardware más complejo: routers y layer-3 switches.

Debido a esta situación, una red tipo árbol es una buena opción a pesar de tener una estructura de conexión frágil, dado que posee una única ruta. Por lo cual, se reducen costos dado que sólo se necesitan switches normales para su realización.

Por tanto es necesario tener en cuenta lo siguiente para la elaboración del programa:

1.4.1. Características de una topología tipo árbol

Una de las principales características para que una topología de red de comunicaciones sea tipo árbol, es que no existan bucles o lazos cerrados en la misma. Para garantizar esta propiedad se tiene que el número de enlaces obedece a la ecuación (3).

$$N_{ent} = n - 1 \quad (3)$$

Donde N_{ent} corresponde al número de enlaces a utilizar y n el número de puntos a conectar.

1.4.2. Representación matricial de grafos

Para la representación matricial de grafos se usa una matriz cuadrada booleana donde las filas representan los nodos origen y las columnas los nodos destinos. La

intersección existente entre cada fila y columna, contendrá un valor booleano, indicando si hay o no conexión entre los nodos referidos. A esta matriz se le llama Matriz de Adyacencia [14].

Un ejemplo claro de lo anterior se muestra en la Figura 4.

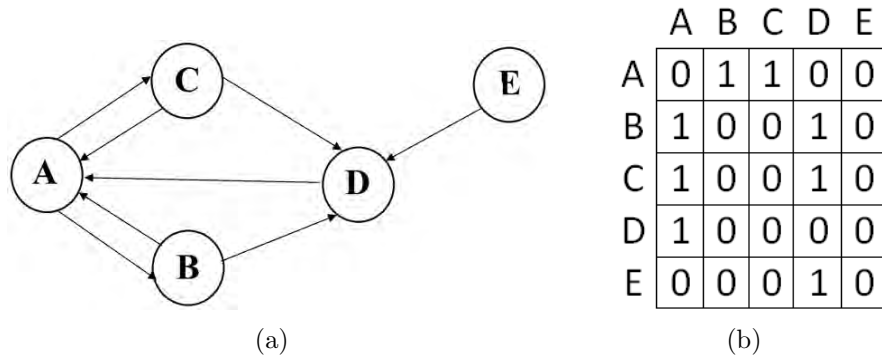


Figura 4: Ejemplo de representación matricial de grafos. (a) Grafo con 5 nodos, (b) matriz de adyacencia respectiva.

Dado que la conexión de enlaces es de forma bidireccional, el grafo resultante sería equivalente a un grafo no dirigido cuya matriz será simétrica con respecto a la diagonal principal, un ejemplo de esto se visualiza en la Figura 5.

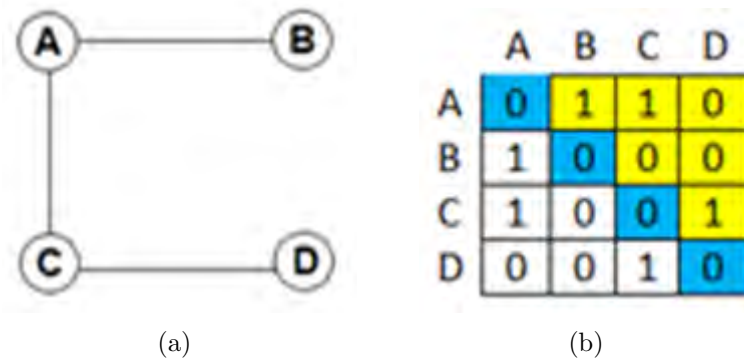


Figura 5: Topología con conexión bidireccional. (a) Grafo no dirigido de una topología tipo árbol de 4 nodos, (b) respectiva forma matricial. adyacencia respectiva.

Observando las casillas marcadas con amarillo de la Figura 5(b) y contando el número de “unos” presentes en ellas, se puede ver que se trata de la misma cantidad dados por la ecuación (3) para el caso de 4 lugares. Entonces, para encontrar las

formas de conexión posibles, se tratará de encontrar todas las formas de ubicar este número de “unos” dentro de la vecindad de las casillas amarillas. Para este caso en particular todas las formas de ubicar tres “unos” dentro de 6 casillas.

Por tanto, sería válido pensar que el número de combinaciones posibles para el ejemplo estaría dado por la formula combinatoria encontrada en la ecuación (4).

$$C_m^n = \frac{m!}{n!(m-n)!} \quad (4)$$

De tal forma que las combinaciones posibles serían $C_6^3 = 20$. Sin embargo, existen dentro de estas combinaciones algunas excepciones. Una de ellas se representa en la Figura 6.

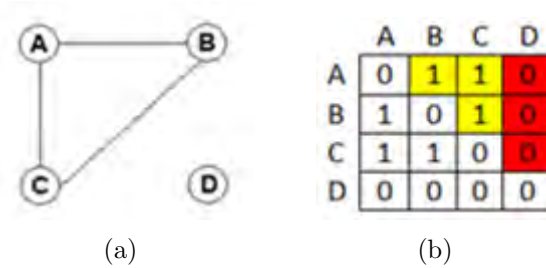


Figura 6: Excepción de combinación de conexión tipo árbol para una topología de 4 nodos. (a) Excepción de topología con 4 nodos, (b) Matriz de adyacencia.

Se puede observar que a pesar de cumplir con el número de enlaces según la ecuación (3), no es restricción suficiente para garantizar que se trate de una topología tipo árbol dado que forma bucles, por tanto, es necesario añadir una restricción más.

En la Figura 6(b), se puede observar que se crea una columna de ceros en la matriz de adyacencia cuando se genera un lazo cerrado, por tanto, la restricción quedaría de la siguiente manera.

$$M = \{m_{ij}\}$$

$$\sum_{i=1}^n m_{ij} \neq 0 \rightarrow \forall j \quad (5)$$

Donde M representa la forma matricial del grafo.

1.5. Plantilla del algoritmo total

El algoritmo 5 presenta una plantilla del programa final. Tras encontrar todas las combinaciones de topologías posibles se realiza una selección de aquellas que posean más enlaces con línea de vista, para que el algoritmo de búsqueda trabaje lo menos posible y así el programa global converja más rápidamente al iterar menos veces.

Algoritmo 5 Programa global

Cargar mapa y ubicar lugares en él
Encontrar todas las combinaciones de topologías posibles
Para Cada topología **Hacer**
 Para Cada enlace **Hacer**
 Conteo1 \leftarrow Contar enlaces con LOS
 Se extrae las topologías “fuertes”, que son aquellas que contengan más enlaces con LOS
 Si Conteo == Número de lugares - 1 **Hacer**
 Mostrar topología ideal
 Terminar
 Para Cada topología “fuerte” **Hacer**
 Para Cada enlace **Hacer**
 Si Existe LOS **Hacer**
 Conteo2 \leftarrow Contar enlaces con LOS
 Sino
 Buscar repetidor
 Si Búsqueda exitosa **Hacer**
 Para Cada lugar **Hacer**
 Conteo2 \leftarrow Contar enlaces con LOS
 Se extrae las mejores topologías de acuerdo al segundo conteo
 Para Cada topología extraída
 Mostrar gráfica y coordenadas

Dentro de esta selección se tendrán varias topologías similares, que pueden diferir en la forma de conexión de uno o más nodos y que por tanto, tengan varios enlaces en común. Esto hace que el algoritmo de búsqueda se pueda ejecutar varias veces sobre el mismo enlace y dada la aleatoriedad que posee, converja en un punto diferente,

logrando que se tengan varias opciones de repetidores. Esto es una ventaja para el ingeniero, ya sea en caso que exista algún obstáculo que el mapa cargado no contemple o algún impedimento de construcción en el lugar seleccionado por el programa, exista varias alternativas de construcción. Además, esto hace que si existe un punto común entre los nodos, tenga una mayor probabilidad de ser encontrado. Por tanto, es necesario evaluar los repetidores encontrados en cada enlace y evaluar los criterios de línea de vista con los demás nodos o lugares para seleccionar el mejor.

1.6. Resultados del programa de topologías implementado

1.6.1. Primera red de interés

Ancuya, Linares, Sammaniego, Sandoná, ParqueSoft-Sede Pasto. Los lugares mencionados fueron escogidos debido a las grandes montañas que existen entre ellos y sus distancias considerables, por lo cual, no existe línea de vista entre ninguno de los nodos, dando consigo un nivel elevado de complejidad para el programa realizado, todo con el fin de calibrar lo mejor posible los algoritmos de búsqueda. Los resultados fueron los siguientes:

En la Tabla 1 se observa las coordenadas de los lugares de interés y además una lista de repetidores que fueron encontrados por el programa, se observa que algunos de ellos poseen varias opciones. La Tabla 2 registra la altura de torres necesarias para cada enlace de las diferentes topologías obtenidas por el programa, las cuales están representadas por las Figuras 7 a 9. Los repetidores que poseen el mismo nombre, se encuentran muy cercanos entre sí, por tanto, fueron representados como un solo punto dentro de la misma gráfica.

Tabla 1: Primera red de interés - Coordenadas

Lugar	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
Ancuya	1.2621 = 1°15'43.55" N	-77.5143 = 77°30'51.48" O
Linares	1.3505 = 1°21'1.65" N	-77.5236 = 77°31'24.96" O
Samaniego	1.3370 = 1°20'13.2" N	-77.5929 = 77°35'34.44" O
Sandoná	1.2856 = 1°17'8.16" N	-77.4715 = 77°28'17.4" O
ParqueSoft	1.2302 = 1°13'48.72" N	-77.2872 = 77°17'13.92" O
Rep0	1.2969 = 1°17'48.84" N	-77.5623 = 77°33'44.28" O
	1.2994 = 1°17'57.84" N	-77.5530 = 77°33'10.8" O
Rep0'	1.2941 = 1°17'38.76" N	-77.5451 = 77°32'42.36" O
Rep1	1.3088 = 1°18'31.68" N	-77.5378 = 77°32'16.08" O
	1.3112 = 1°18'40.32" N	-77.5354 = 77°32'7.44" O
	1.3112 = 1°18'40.32" N	-77.5355 = 77°32'7.8" O
Rep1'	1.3444 = 1°20'39.84" N	-77.5141 = 77°30'50.76" O
Rep2	1.3100 = 1°18'36.0" N	-77.3844 = 77°23'3.84" O
Rep3	1.2480 = 1°14'52.8" N	-77.2913 = 77°17'28.68" O

Tabla 2: Primera red de interés - Altura de torres necesarias

Extremos del enlace		Distancia [Km]	Torres necesarias [metros]
ParqueSoft	Rep3	2,0326	[10 10]
Rep3	Rep2	12,4469	[10 10]
Rep2	Rep1	17,0704	[10 10]
Rep2	Rep1'	14,9315	[10 10]
Rep1	Linares	4,9019	[10 10]
Rep1	Sandoná	7,8163	[10 10]
Rep1	Ancuya	5,8175	[10 10]
Rep1	Rep0	3,0209	[10 10]
Rep1	Rep0'	1,8264	[10 10]
Rep1'	Linares	1,2563	[10 10]
Rep1'	Sandoná	8,0798	[10 10]
Rep1'	Ancuya	9,1581	[10 10]
Rep0	Samaniego	5,6130	[10 10]
Rep0'	Sandoná	8,2444	[10 10]
Rep0'	Ancuya	4,9423	[10 10]
Rep0'	Samaniego	7,1471	[10 10]

Las opciones de los repetidores Rep0 y Rep1 poseen la misma altura de torres necesarias.

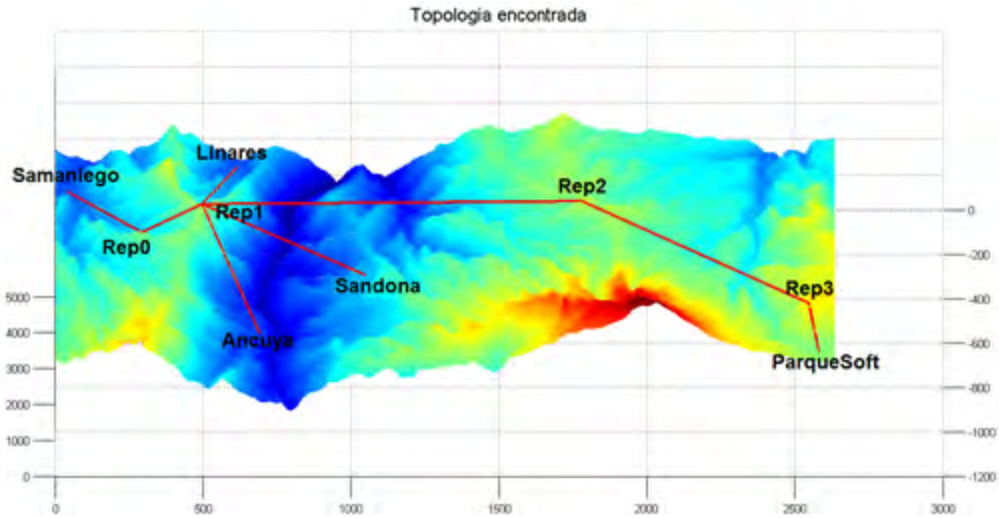


Figura 7: Opción Uno - Primera red de interés.

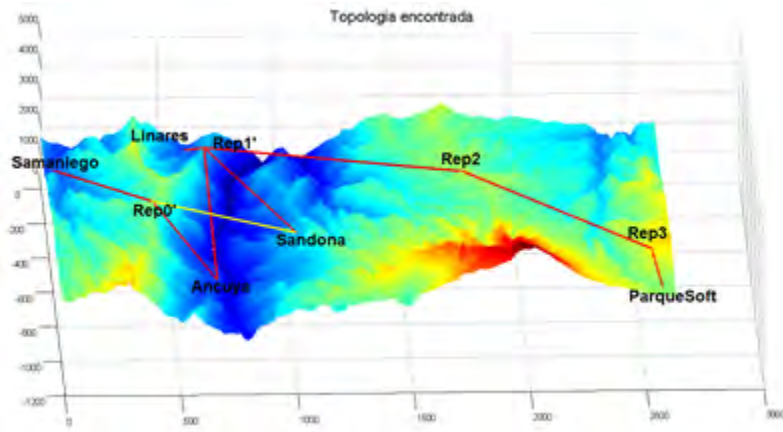


Figura 8: Opción dos - Primera red de interés. Las líneas amarillas representan enlaces opcionales.

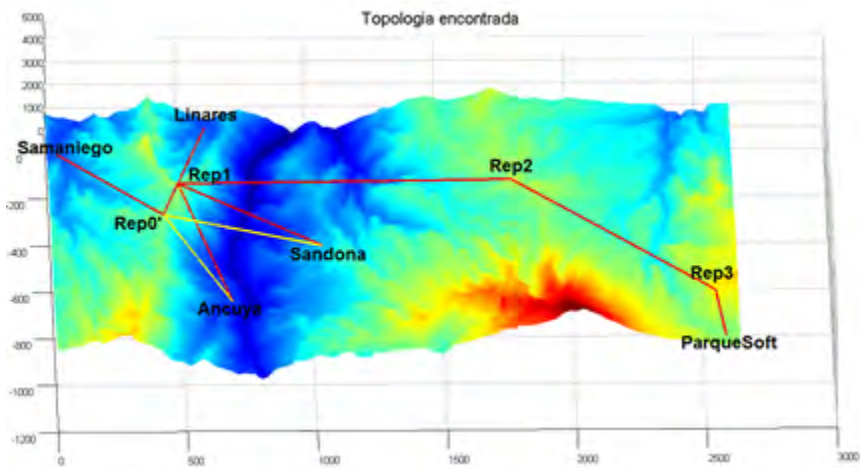


Figura 9: Opción tres - Primera red de interés.

1.6.2. Segunda red de interés

Aldana, Cumbal, Guachucal, Ipiales y Pupiales. Esta segunda red posee un menor grado de dificultad dado que dos de los enlaces poseen línea de vista. Debido a que sólo se necesita un repetidor para conectar todos los lugares anteriormente mencionados, se produjo un diseño más económico que el anterior.

En la Tabla 3 se adjuntan las coordenadas de los lugares a enlazar y las opciones del repetidor encontradas por el programa. La altura de las torres necesarias por cada enlace de la topología mostrada en la Figura 10 es añadida en la Tabla 4.

Tabla 3: Segunda red de interés - Coordenadas

Lugar	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
Aldana	0.8835 = 0°53'0.71" N	-77.7003 = 77°42'0.94" O
Cumbal	0.9077 = 0°54'27.64" N	-77.7897 = 77°47'23.00" O
Guachucal	0.9616 = 0°57'41.84" N	-77.7301 = 77°43'51.55" O
Ipiales	0.8286 = 0°49'42.89" N	-77.6409 = 77°38'27.28" O
Pupiales	0.8718 = 0°52'18.30" N	-77.6400 = 77°38'24.01" O
Rep0	0.8695 = 0°52'10.20" N	-77.7409 = 77°44'27.24" O
	0.8609 = 0°51'59.24" N	-77.7415 = 77°44'29.40" O
	0.8765 = 0°52'55.40" N	-77.7361 = 77°44'9.96" O

Tabla 4: Segunda red de interés - Altura de torres necesarias

Extremos del enlace		Distancia [Km]	Torres necesarias [m]
Guachucal	Cumbal	8,9419	[10 10]
Cumbal	Rep0	6,8962	[10 10]
Rep0*	Aldana	4,7789	[10 10]
Rep0	Pupiales	11,2307	[10 10]
Rep0	Ipiales	12,0224	[10 15]**
			[10 15]
			[14 16]
Pupiales	Ipiales	4,8082	[10 10]

* La variación de distancia no es significativa entre las opciones del repetidor.

** Las alturas para este enlace varían para cada opción, por tanto, fueron añadidas de acuerdo al orden en que se encuentra cada alternativa en la Tabla 3.

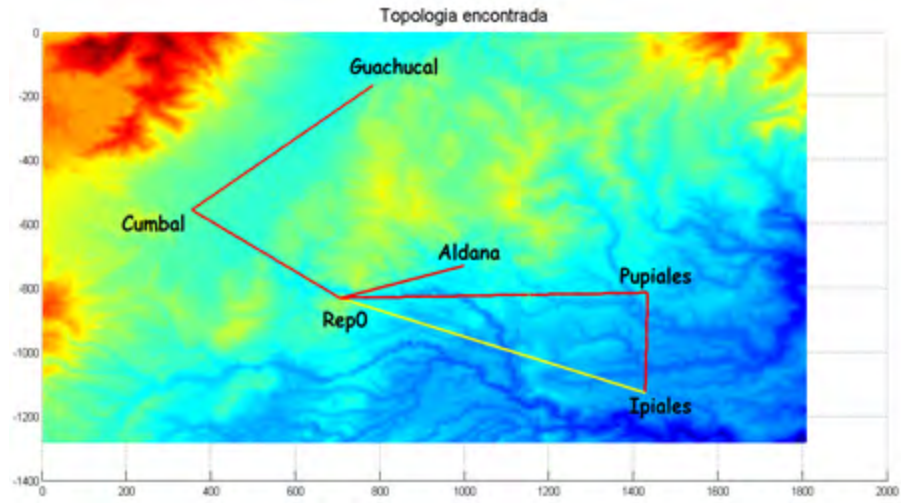


Figura 10: Opción uno - Segunda red de interés. Las opciones del Rep0 se encuentran cercanas al mostrado en la figura.

Capítulo II

SIMULACIONES DE TRÁFICO TCP

Resumen—El presente capítulo contiene el trabajo de simulación de tráfico TCP en dos redes empleando un simulador de red de eventos discretos (inicialmente NS-3 y posteriormente NS-2), con el fin de determinar los parámetros de desempeño de las mismas.

Introducción

Aunque TCP (*Transfer Control Protocol*) y UDP (*User Datagram Protocol*) son protocolos que usan la misma capa de red (IP), TCP trabaja de forma totalmente diferente en la capa de aplicación a como UDP lo hace [15]. TCP proporciona un servicio orientado a la conexión, en donde las dos partes (cliente y servidor) deben establecer la conexión TCP entre sí antes de poder realizar el intercambio de información; en cambio, UDP permite el envío de datagramas a través de la red sin que se haya establecido previamente una conexión, ya que el propio datagrama incorpora suficiente información de direccionamiento en su cabecera.

Además, UDP es un protocolo simple y que a pesar de tener algunos usos especializados como la interacción cliente-servidor y multimedia, no puede ofrecer una entrega confiable y secuencial de los paquetes, lo que sí puede hacer el protocolo TCP (protocolo principal de Internet) [16] y es por ello que se requiere simular el tráfico de estas redes empleando TCP.

Las primeras simulaciones se realizan empleando el simulador NS-3 (*Network Simulator 3*) por ser el más actual, sin embargo, al no concordar los valores de Throughput obtenidos con los parámetros de configuración contenidos en el script de

simulación, se opta por realizar las simulaciones en NS-2 (*Network Simulator 2*), versión previa del simulador.

Si bien los dos simuladores están escritos en C++, NS-3 no es una extensión de NS-2, éste es un nuevo simulador, el cual es incompatible con las Interfaces de Programación de Aplicaciones (*Application Programming Interfaces, APIs*) de NS-2; sin embargo, algunos modelos de NS-2 han sido llevados a NS-3. Unos componentes de NS-2 están programados en C++ y otros en OTcl¹; mientras que NS-3 usa sólo C++ con enlaces opcionales de Python² [17].

Tanto NS-2 como NS-3 son simuladores de red de eventos discretos para sistemas de Internet, los cuales están enfocados principalmente hacia la educación y la investigación. Éstos son software libre, por lo que es recomendable trabajar en el sistema operativo Ubuntu, el cual es mantenido por Canonical y su comunidad de desarrolladores; además, posee un núcleo Linux y es distribuido bajo una licencia libre o de código abierto. Durante este proyecto se emplea la versión 11.10 de dicho sistema operativo.

En ambos simuladores se pueden generar trazas o archivos de rastreo de paquetes durante la simulación, estos son archivos de texto con las extensiones `.tr` y `.pcap` respectivamente para NS-2 y NS-3. La información contenida en ellos se analiza por medio de software ya que ésta es muy elevada, generándose más de un millón de líneas en tan sólo sesenta segundos de simulación, lo que por supuesto no es problema para un programa de computadora.

Los archivos con extensión `.pcap` pueden ser analizados con el uso de Wireshark [20], programa especializado en la captura y análisis del tráfico de una red informática

¹OTcl es una extensión de Tcl, (*Tool Command Language*), cuya programación está orientada a objetos. Los comandos de Tcl sirven igual para OTcl, su relación es similar a la que hay entre C y C++ [18].

²Python es un lenguaje de programación dinámico y extraordinariamente potente, utilizado en gran variedad de aplicaciones. Python es frecuentemente comparado con lenguajes como: Tcl, Perl, Ruby, Scheme o Java [19].

por medio de filtros y herramientas que han sido diseñadas para tal fin.

Las trazas generadas como resultado de la simulación en NS-2 se pueden analizar empleando un script creado en Matlab, el cual básicamente procesa la información contenida en dichos archivos, determinando para cada flujo de tráfico: el número de paquetes (enviados y recibidos), el tamaño de los mismos y los tiempos en que ocurre cada suceso (salida, llegada y pérdida del paquete en determinado nodo). Con la información anterior se determina los parámetros de desempeño de una red como Throughput, Retardo, Jitter y Pérdida de paquetes. Mediante el script creado se lee línea por línea del archivo de texto diferenciando cada paquete de la simulación por medio de un identificador único para así evitar contar dos veces un mismo paquete.

Este capítulo está organizado de la siguiente manera: inicialmente, en la sección 2.1 se realiza una breve descripción de las redes simuladas; en la sección 2.2 se presentan los modelos de simulación empleando tanto NS-3 (Sección 2.2.1), como NS-2 (Sección 2.2.2); y finalmente, en la sección 2.3 se presentan los resultados de las simulaciones correspondientes a los diferentes parámetros de desempeño.

2.1. Redes a simular

Las simulaciones se realizan sobre dos redes: la primera se denomina “Red de estudio”, la cual comprende los lugares: ParqueSoft-Pasto (Servidor), Tescual, VIPRI (Sede de la Universidad de Nariño), Mocondino, Buesaquillo, San Fernando, Cabrera y La Laguna; la segunda, es la denominada “Opción Uno” de la primera red de interés, descrita previamente en la sección 1.6.1.

Los diagramas de red de las redes anteriormente mencionadas se muestran en las Figuras 11 y 12, en donde se observa: la conexión al Core de la red (núcleo de la red) ubicada en ParqueSoft, la distribución de los enlaces punto a punto, los diferentes repetidores utilizados y los usuarios finales (20 PC's por estación base).

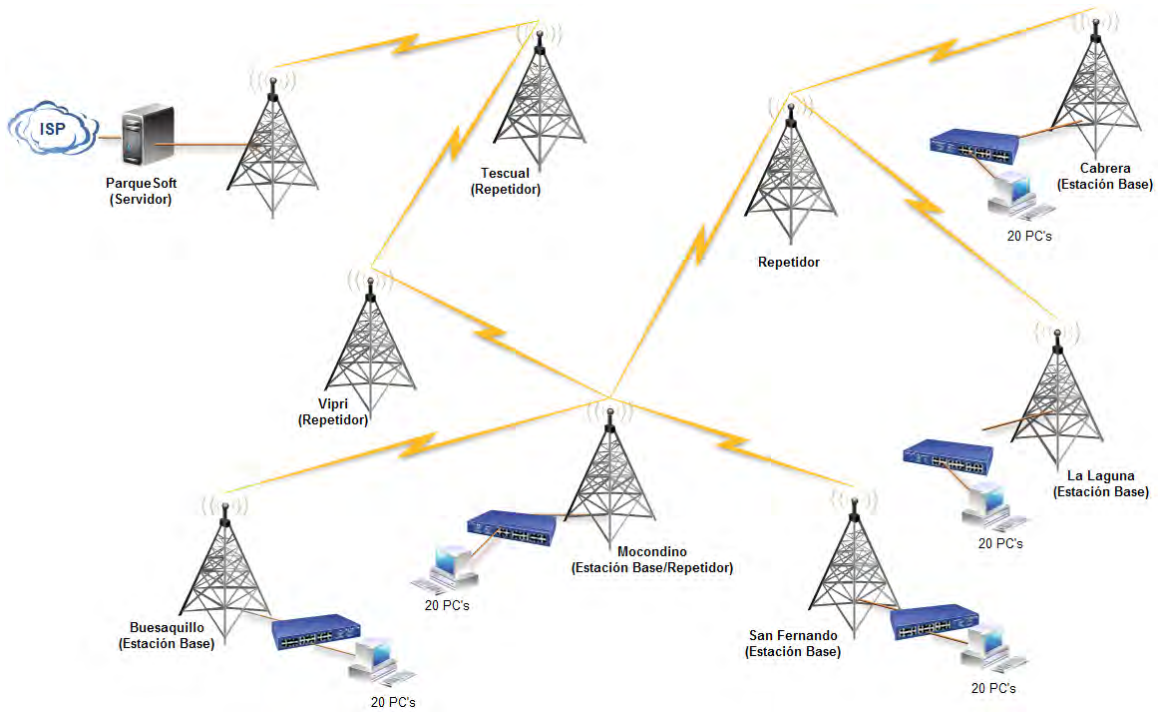


Figura 11: Diagrama de red de la "Red de Estudio".

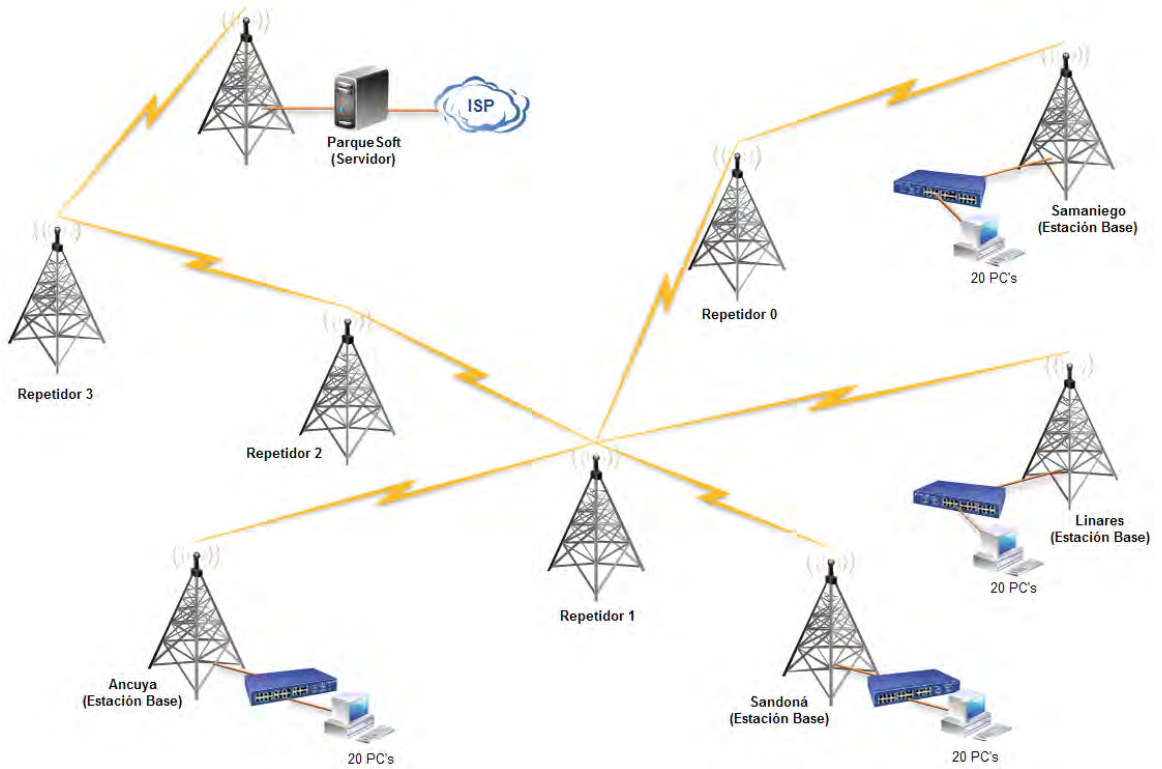


Figura 12: Diagrama de red de la "Red Opción Uno".

La ubicación real de los lugares interconectados y la forma cómo se enlazan (topología de red) se muestran en las Figuras 13 y 14 correspondientes a las redes “Red de estudio” y “Opción Uno”. Para realizar la simulación de estos escenarios se configuran los diferentes enlaces con los valores de Throughput que se indican en las Tablas 5 y 6 respectivamente para cada red. Los valores de la Tabla 5 se obtuvieron de mediciones realizadas en la red usando Jperf³ mientras que los valores de la tabla 6 son valores de diseño que se obtiene tomando como referencia los valores de la tabla 5 ya que la red “Opción Uno” no se encuentra implementada y por lo tanto no se puede obtener mediciones reales de la misma.



Figura 13: Topología general de la “Red de estudio”.

³Jperf es un programa cliente-servidor que permite medir la velocidad máxima que alcanzan dos ordenadores conectados en red local. Para realizar este procedimiento se conecta un computador en cada extremo del enlace que se quiere medir y Jperf se encarga de generar el tráfico simulando varios usuarios conectados a la red.

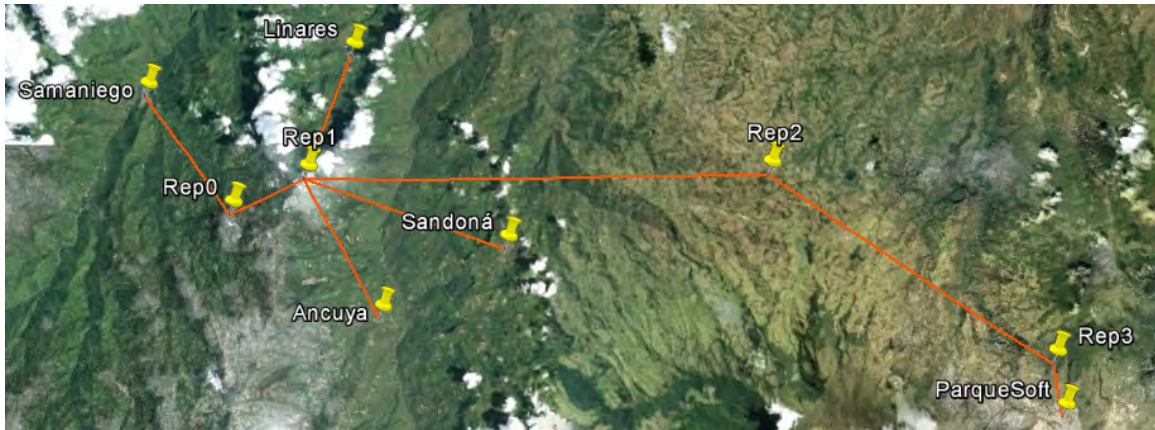


Figura 14: Topología general de la “Red Opción Uno”.

Tabla 5: Valores de Throughput de los enlaces de la “Red de estudio”.

Lugares Enlazados	Throughput* [Mbps]
ParqueSoft(Servidor) - Tescual	82
Tescual - Vipri	75
Vipri - Mocondino	37
Mocondino - Buesaquillo	85
Mocondino - San Fernando	97
Mocondino - Repetidor	55
Repetidor - Cabrera	96
Repetidor - La Laguna	95

* Datos reales obtenidos de mediciones hechas en la red empleando jperf.

Para cada uno de los lugares a los cuales se les envía tráfico, se crean los nodos que conforman los enlaces punto a punto y los usuarios ubicados en dichos lugares, los cuales se conectan por medio de un enlace duplex de capacidad limitada. El envío de tráfico se realiza durante 60 segundos, tiempo que se usa posteriormente para realizar el cálculo del Caudal o Throughput.

Tabla 6: Valores de Throughput de los enlaces de la red “Opción Uno”.

Lugares Enlazados	Throughput* [Mbps]
ParqueSoft (Pasto) - Rep3	95
Rep3 - Rep2	83
Rep2 - Rep0	41
Rep1 - Rep0	62
Rep0 - Samaniego	70
Rep1 - Linares	85
Rep1 - Ancuya	94
Rep1 - Sandoná	67

* Se asume estos valores de configuración de la simulación debido a que de la red “Opción 1” sólo se tiene un diseño y por lo tanto no está implementada.

2.2. Simulaciones

2.2.1. Modelo en NS-3

Desde la página oficial del proyecto NS-3 [21] se puede acceder a su versión más reciente (la versión 3.15 hasta el momento) y se puede obtener la documentación en varios formatos como pdf y html. Dentro de la documentación se encuentran: el tutorial, el manual, entre otros documentos.

El tutorial, disponible únicamente en los lenguajes inglés y portugués, posee varios ejemplos de simulación, explica algunos conceptos clave y detalla las diferentes características a profundidad a medida que se avanza en el estudio del mismo. Además, orienta en el proceso de descarga del simulador a través de fuentes como Mercurial o Tarball. La parte de configuración y construcción del proyecto NS-3 usualmente se hace por medio de Waf, pero también es posible hacerla empleando el programa build.py, el cual se encuentra en el directorio “allinone” creado en el momento de la descarga.

En el tutorial se puede encontrar un resumen que da a conocer algunos conceptos básicos y la forma en cómo se realizan las diferentes abstracciones en el sistema, dentro de las cuales están: nodos, aplicaciones, canales de comunicación, dispositivos de red,

entre otros. Estos conceptos se deben revisar detalladamente para poder comprender el código de los ejemplos de simulación y así poderlos emplear correctamente.

La creación del script de simulación comienza con la definición de los nodos necesarios para la creación de la topología deseada. Se comienza con un escenario sencillo (dos nodos) para estudiar el comportamiento de los mismos, en el cual se instalan los canales de comunicación, se asignan las direcciones IP y se crea una aplicación On/Off (el tráfico en las redes reales no es continuo) que permite simular el tráfico que hay entre estos nodos. Posteriormente, se amplía este procedimiento hasta crear la red deseada.

Una herramienta importante para aquellos que están dando sus primeros pasos en el manejo de NS-3 es *PyViz*, el cual es un visualizador de simulación que trabaja en tiempo real [22], permitiendo verificar visualmente lo que se está programando; es decir, si la topología de red creada es la deseada, si las direcciones IP han sido asignadas correctamente, si los canales de comunicación han sido instalados en los nodos correctos, entre otras cosas. Esto permite hacer las correcciones respectivas en caso de tener algún error en el código. Sin embargo, cuando se tiene un dominio mayor del simulador y se comprende mejor cómo éste trabaja, se puede dejar de utilizar el visualizador, ya que su uso emplea más recursos haciendo que las simulaciones tarden más tiempo en ejecutarse.

2.2.2. Modelo en NS-2

NS-2 está implementado en C++ y es configurado y controlado a través de una interfaz Tcl. El simulador es invocado por medio de *ns*, un simple interpretador de OTcl [23].

La simulación se crea en un archivo de texto, el cual se guarda con la extensión .tcl. En este archivo, las acciones como: definición de la topología de red, configuración de los agentes (fuente y destinos del tráfico), obtención de las trazas e invocación de

la simulación, se realizan por medio del comando *ns*, con la posibilidad de llamar procedimientos Tcl a tiempos arbitrarios de la simulación [23].

Durante la fase de aprendizaje del uso de NS-2 es bastante útil seguir el tutorial de Mark Greis [24], ya que explica con varios ejemplos el funcionamiento y configuración de este simulador; además, presenta las diferentes herramientas con las que se puede contar al momento de realizar una simulación como los visualizadores *nam* y *Xgraph*, cuya función es similar a la ya mencionada *PyViz* de NS-3.

Para realizar la simulación de las redes, se crea las topologías de interés, creando los nodos tanto de los diferentes lugares geográficos como de los usuarios finales que componen la red cableada.

Una vez creada la topología de red (para este caso las mencionadas en la sección 2.1), se genera el tráfico TCP, el cual se consigue configurando el script de simulación análogamente a como explica [25], en donde se debe crear el agente *tcp* o fuente de tráfico y asociarlo al nodo que representa el servidor; también, se debe definir el agente *sink* o destino del tráfico y asociarlo al nodo del respectivo usuario. Un ejemplo simple es mostrado en la Figura 15, en donde se genera tráfico entre dos nodos (n0 y n1). En este caso, la fuente (n0) tiene asociado el agente *tcp* y usa una aplicación *ftp* para enviar tráfico al receptor (n1), el cual a su vez tiene asociado el agente *sink*. Se debe aclarar que la configuración del script de NS-2 para el envío de un flujo de información es idéntica, sin importar el número de nodos que separen la fuente y el destino del tráfico.

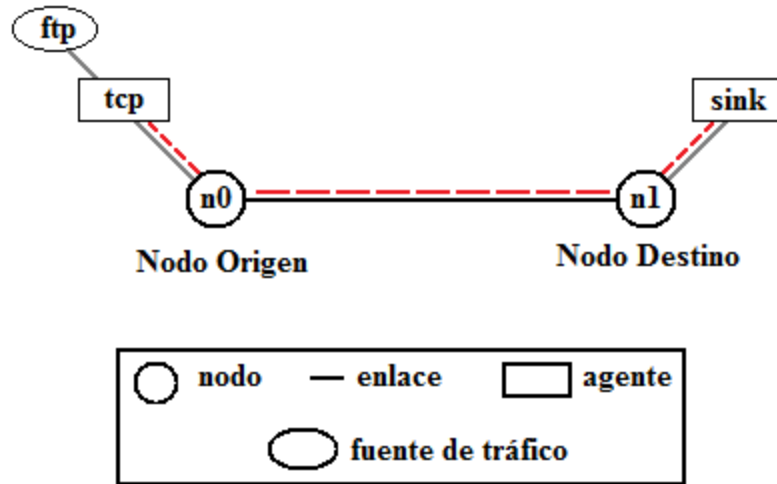


Figura 15: Configuración de una conexión TCP.

El envío de tráfico de manera simultánea a varios usuarios requiere la creación de varios agentes *tcp* (uno para cada flujo de información) asociados al nodo correspondiente al servidor y de un agente *sink* por cada usuario, cuya cantidad depende del número de nodos a los cuales se les quiere enviar tráfico. En este caso, el número de usuarios por lugar se incrementa en pasos de dos en dos hasta un valor máximo de 20. Para realizar esto, se hace uso de los ciclos `for`, ya que permiten trabajar con un número variable de nodos, lo que a su vez, simplifica la configuración del script, dado que se tiene que repetir la simulación varias veces (cada una con un número fijo de usuarios por lugar).

En cuanto a la generación del tráfico se usa una aplicación FTP y una aplicación On/Off que sigue una distribución de Pareto, configurada con los parámetros mostrados en la Tabla 7, donde:

- Packet Size: Tamaño constante de los paquetes generados.
- Burst Time: Tiempo promedio para el estado “encendido” del tráfico.
- Idle Time: Tiempo promedio para el estado apagado del tráfico.

Tabla 7: Parámetros de la simulación de tráfico con distribución de Pareto.

Parámetro	Valor
Packet Size [Bytes]	1500
Burst Time [ms]	500
Idle Time [ms]	500
Rate [kbps]	200
Shape	1.5

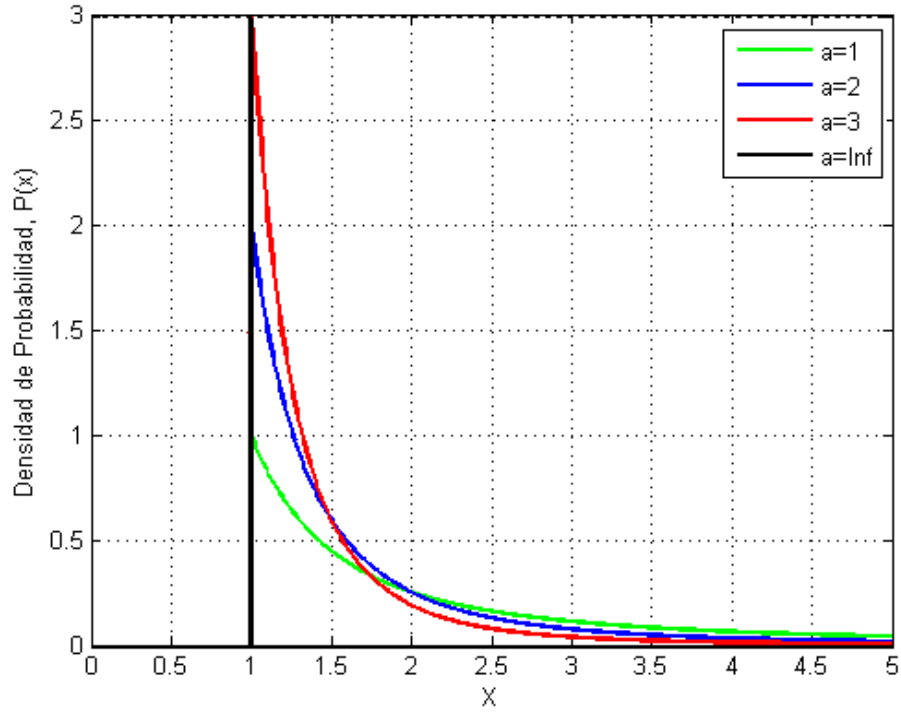
- Shape: Parámetro de forma usado por la distribución de Pareto.

La aplicación FTP genera tráfico con el protocolo de transferencia de archivos (*File Transfer Protocol, FTP*), el cual utiliza una arquitectura cliente/servidor para transferir archivos en cualquier dirección empleando TCP como protocolo de transporte [26].

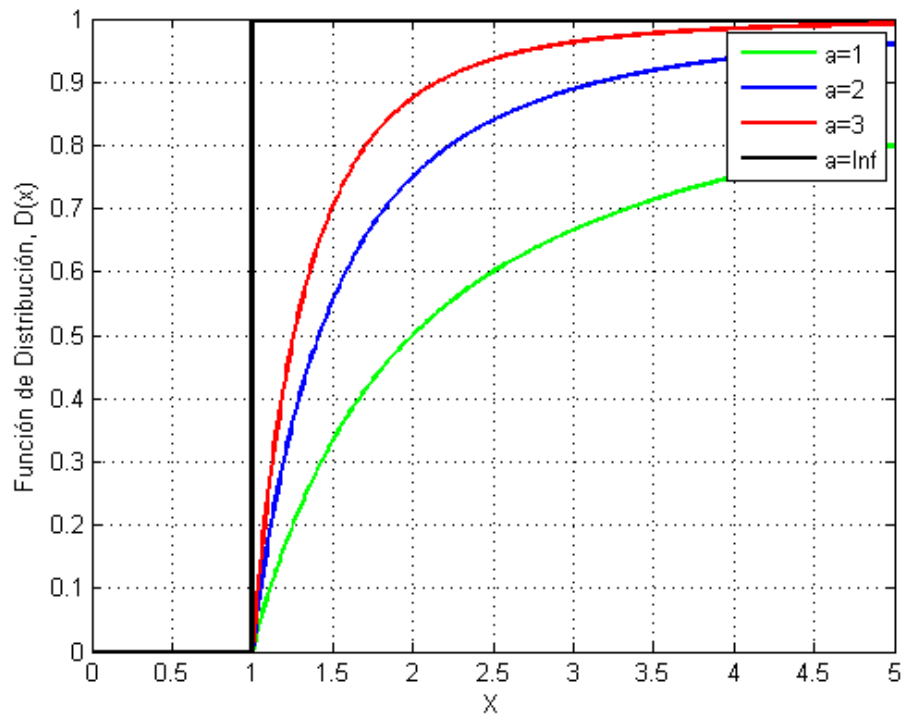
Probabilísticamente, la distribución de Pareto es una distribución con: función de densidad de probabilidad $P(x)$, la cual describe la probabilidad relativa de que la variable aleatoria x (tiempo de retardo de los diferentes paquetes) tome determinado valor, definida según la ecuación (6); y cuya función de distribución determina la probabilidad de que x tome determinado valor o uno menor, como expresa la ecuación (7). El parámetro b especifica el valor mínimo que puede tomar la variable aleatoria y el parámetro a tiene que ver con la dispersión (a mayores valores de a , se obtienen densidades de Pareto más concentradas en las proximidades del mínimo, es decir, menos dispersas). Estas funciones están definidas para todo valor de $x \geq b$. Las gráficas de estas funciones para diferentes valores de a y con $b = 1$, se muestran en la Figura 16 [27].

$$P(x) = \frac{ab^a}{x^{a+1}} \quad (6)$$

$$Dx = \left(\frac{b}{x}\right)^a \quad (7)$$



(a)



(b)

Figura 16: Distribución de Pareto. (a) Densidad de probabilidad, (b) Función de distribución.

2.3. Resultados

Luego de realizar las simulaciones de las redes, se obtienen las trazas (archivos de texto plano con extensión .tr) que contienen los datos obtenidos de la simulación. Los diferentes campos que registra la traza se encuentran separados por medio de un delimitador (espacio en blanco) como se muestran en la Figura 17.

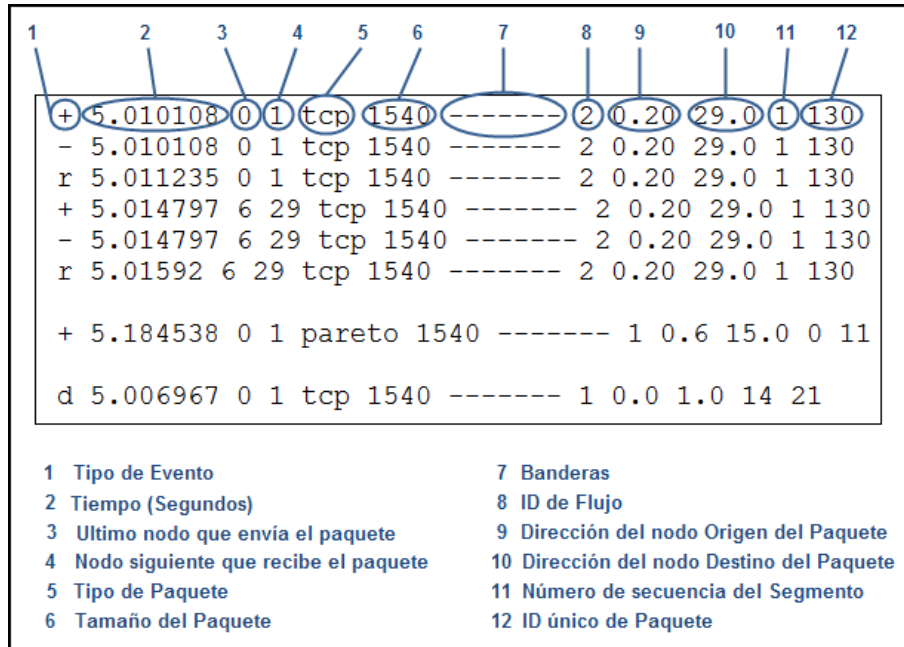


Figura 17: Campos que contiene una traza generada en NS-2

Los campos más importantes que nos permiten analizar una traza son: el Tipo de Evento, el tiempo en que ocurre un evento (expresado en segundos), el último nodo que envía el paquete, el siguiente nodo hacia donde va el paquete, el Tipo de paquete, el tamaño del paquete, las IP de los nodos origen y destino del tráfico y el Identificador único de paquete.

El tipo de evento puede ser: + en caso de que el paquete entre en cola de un nodo, - si el paquete sale de la cola, r cuando el paquete es recibido en un nodo y d si se presenta un paquete perdido o dañado. El tipo de paquete revela el protocolo o aplicación utilizada para la generación del tráfico. Las direcciones IP nos permiten

identificar los paquetes de interés, es decir los que salen de la fuente del tráfico y que van dirigidos hacia los nodos destino del tráfico. El identificador único de paquete permite diferenciar a los paquetes ya que durante la simulación no hay dos paquetes con el mismo identificador, lo que sirve para evitar contar dos veces un mismo paquete. En una traza se presentan varias líneas con el mismo identificador debido a que ocurren varios eventos asociados al mismo paquete al pasar éste por los diferentes nodos de la red durante la simulación.

El análisis de las trazas se realiza por medio del uso del software Matlab, un entorno para el cálculo numérico, visualización y la programación de alto nivel [28], en donde se analiza el archivo y por medio de diferentes comparaciones se determina si un paquete tiene los nodos origen y destino de interés. En caso afirmativo, se guardan los tiempos de salida y llegada de dicho paquete para posteriormente poder realizar los diferentes cálculos de Throughput, Retardo, Jitter y Pérdida de Paquetes. Los resultados de estos parámetros de desempeño se detallan en las siguientes subsecciones.

Algunas líneas extraídas de una traza obtenida tras una simulación de una red en NS-2 se muestran en la Figura 17, en la que se observan los diferentes campos anteriormente mencionados. En la primera línea de esta figura se tiene un paquete tcp con un identificador de 130 y un tamaño de 1540 bytes (40 bytes de la cabecera), el cual entra en cola en el nodo 0 a un tiempo de 5.010108 segundos, dirigiéndose de momento al nodo 1, pero con destino al nodo cuya dirección es 29.0.

2.3.1. Caudal (Throughput)

El Throughput, Caudal o Velocidad Efectiva (Ve) representa la cantidad de información que fluye por una red por unidad de tiempo y se calcula mediante la ecuación (8). La Figura 18 muestra el Throughput promedio por usuario versus el Número de usuarios por lugar de la “Red de estudio”, mientras que la Figura 19 muestra el

Throughput correspondiente para la red “Opción 1”.

$$V_e = I/T_t \quad (8)$$

Donde I representa la cantidad de información recibida de forma satisfactoria durante la simulación y T_t el tiempo de transmisión (en este caso, $T_t = 60s$).

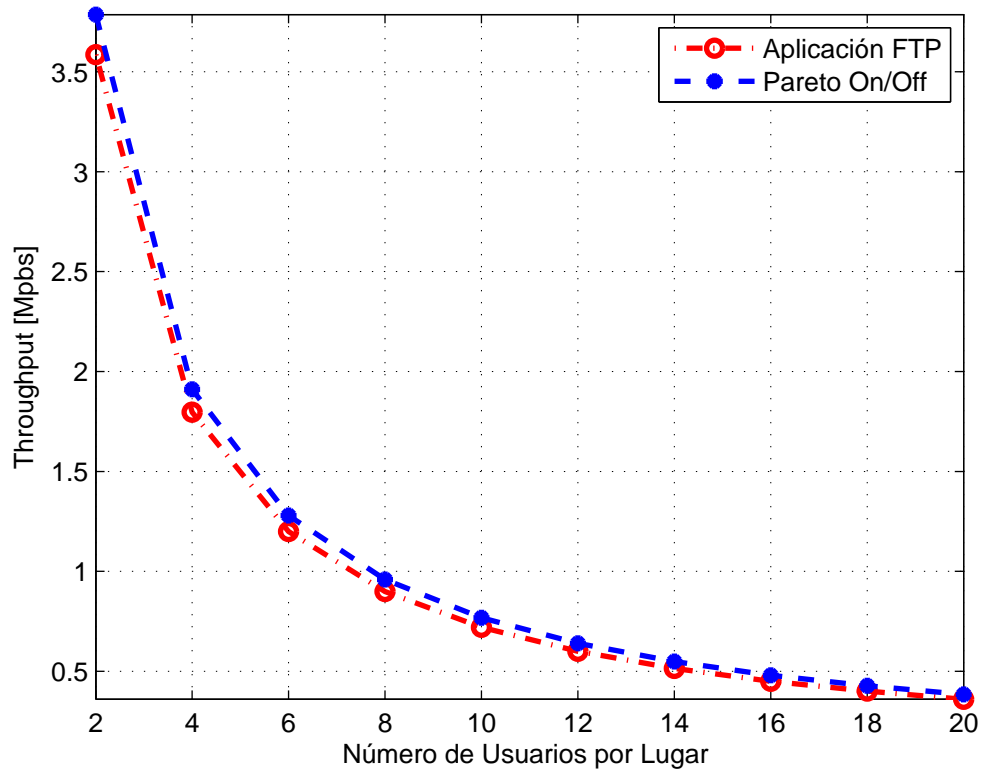


Figura 18: Throughput promedio por usuario vs. Número de usuarios por lugar en la red denominada “Red de estudio”.

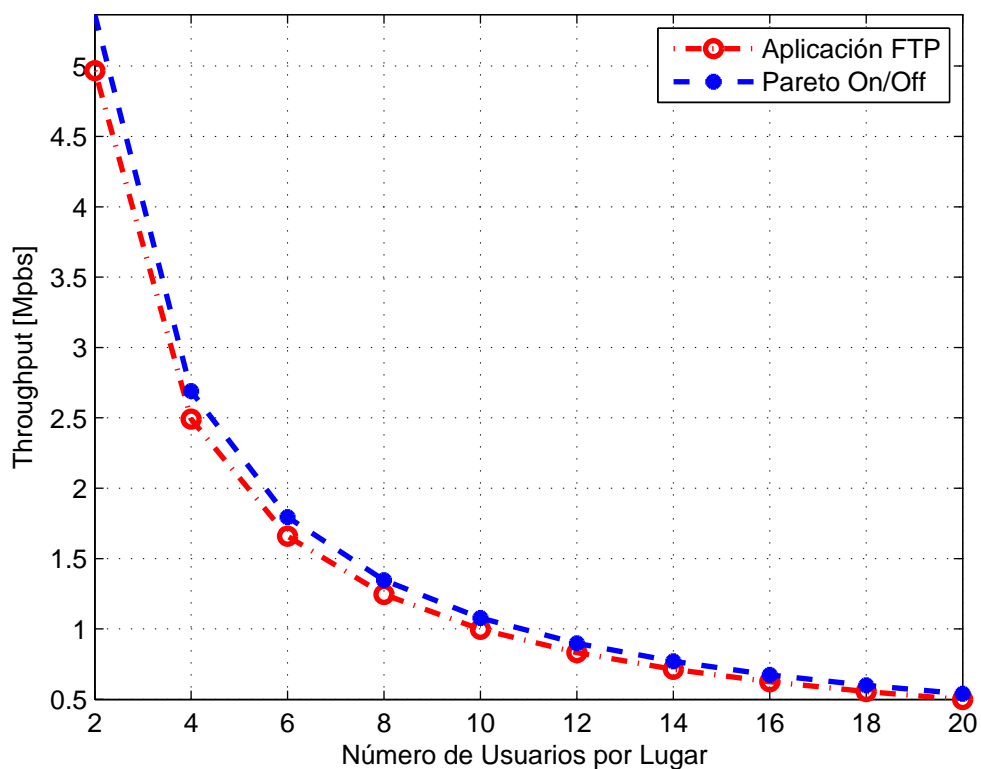


Figura 19: Throughput promedio por usuario vs. Número de usuarios por lugar en la red denominada “Opción 1”.

De las tablas 5 y 6 se observa que las redes simuladas tienen un enlace limitante de 37Mbps y 41Mbps respectivamente para las redes “Red de Estudio” y “Opción Uno”, los cuales son compartidos por los usuarios conectados a la red. A medida que el número de usuarios aumenta, el valor del Throughput promedio por usuario disminuye, esta relación se puede observar en los resultados de las simulaciones de Throughput promedio por usuario vs. número de usuarios por lugar (Figuras 18 y 19). Independientemente de la aplicación que se esté utilizando, el comportamiento es muy similar.

2.3.2. Retardo (Delay)

El retardo de un paquete se calcula mediante la ecuación (9), como la diferencia que hay entre los tiempos de llegada del paquete a su destino (T_d) y el tiempo de salida (T_s) del mismo desde el origen. Las Figuras 20 y 21 muestran los resultados del retardo promedio por usuario expresado en milisegundos versus el número de usuarios por lugar para las redes denominadas como: “Red de estudio” y “Opción 1”.

$$D = (T_d - T_s); \bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i \quad (9)$$

Donde \bar{D} representa el retardo promedio para N paquetes recibidos durante la simulación.

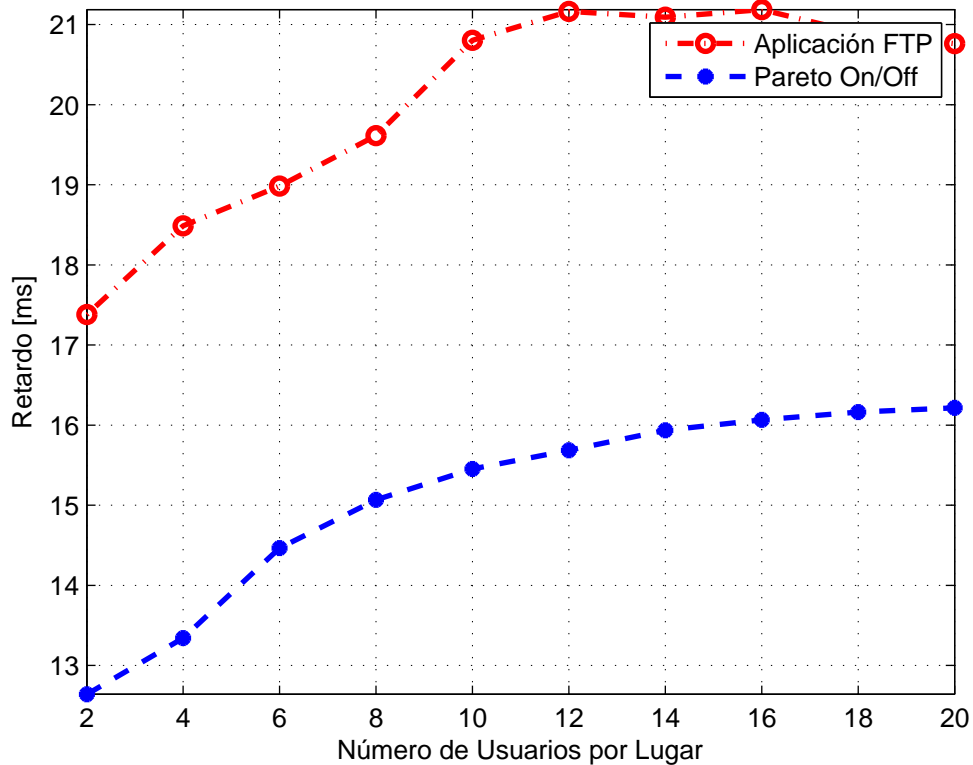


Figura 20: Retardo promedio por usuario vs. Número de usuarios por lugar para la red designada como “Red de estudio”.

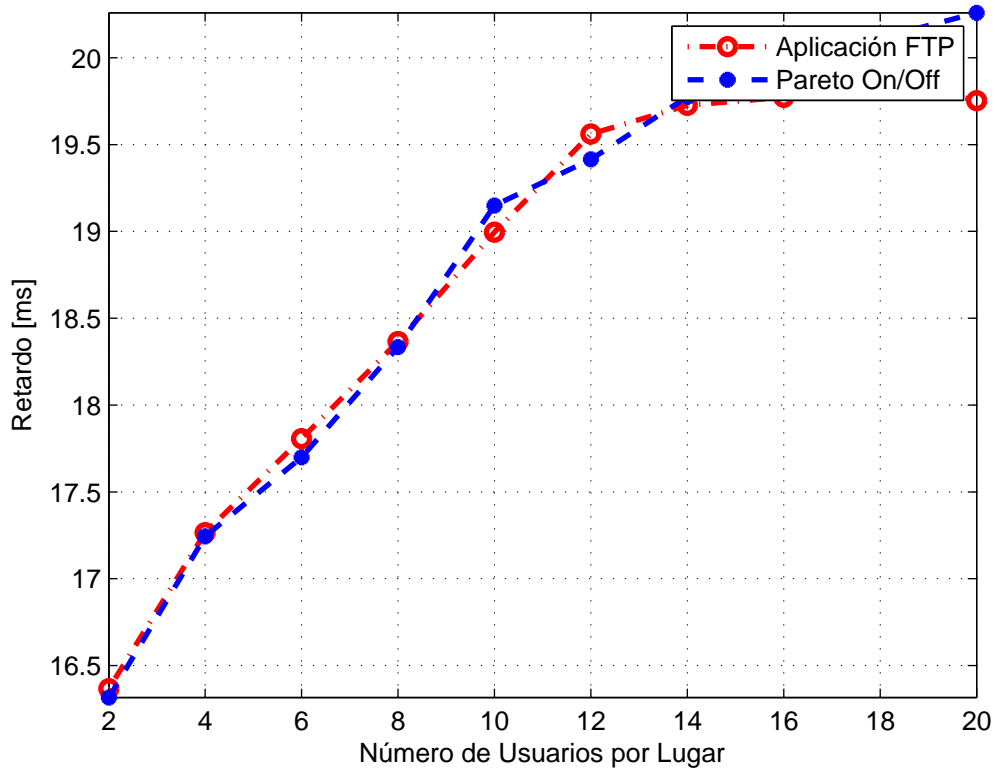


Figura 21: Retardo promedio por usuario vs. Número de usuarios por lugar para la red Nombrada como “Opción 1”.

Los valores de retardo promedio obtenido de estas simulaciones son relativamente bajos, ya que en ningún caso se superan los 25 ms, lo que cumple con los requerimientos de la norma UIT Y.1541 emitida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones [51]. Para la “Red de estudio” (ver Figura 20), los valores de retardo son considerablemente inferiores si se simula el tráfico utilizando la aplicación On/Off con una distribución de Pareto en comparación a la simulación de tráfico FTP; mientras que en la red “Opción 1” (ver Figura 21), el retardo para ambos casos es muy similar. Estas diferencias se deben a que cada red cuenta con una topología distinta.

En términos generales, el retardo presenta un incremento a medida que se aumenta el número de usuarios, esto se debe a que al tener más usuarios se presenta un mayor

número de paquetes en cola en espera para ser enviados.

2.3.3. Jitter

El Jitter o variación del retardo se lo determina como lo indica la ecuación (10). Las Figuras 22 y 23 muestran los resultados de Jitter promedio por usuario versus el número de usuarios por lugar, para las redes “Red de estudio” y “Opción 1”.

$$\bar{J} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} |D_{i+1} - D_i| \quad (10)$$

Donde \bar{J} representa el valor del Jitter promedio, D_i el retardo del i -ésimo paquete y D_{i+1} el retardo del paquete siguiente.

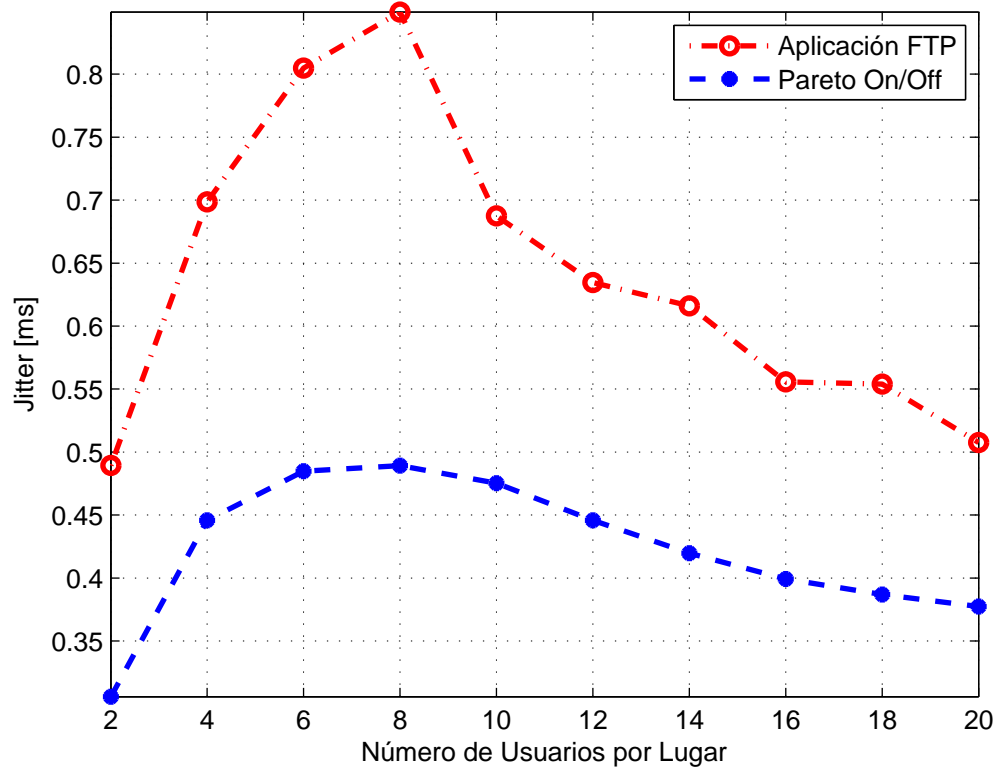


Figura 22: Jitter promedio por usuario vs. Número de Usuarios por lugar para la “Red de estudio”.

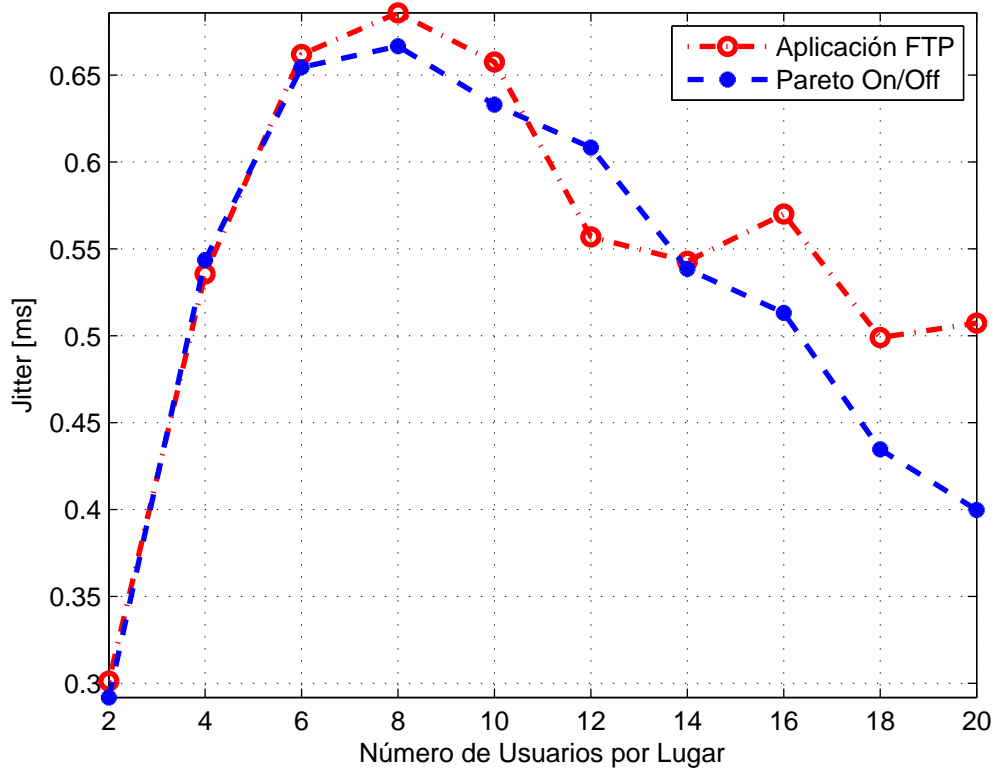


Figura 23: Jitter promedio por usuario vs. Número de Usuarios por lugar de la red “Opción 1”.

Las gráficas de Jitter siempre siguen un comportamiento irregular, como lo muestran las Figuras 22 y 23; en donde se puede observar un jitter menor para la aplicación On/Off con distribución de pareto que con la aplicación FTP en la “red de estudio”, mientras que para la red “Opción 1” el comportamiento es similar.

2.3.4. Pérdida de paquetes

El número de paquetes perdidos se puede determinar por medio de la diferencia entre los paquetes enviados (S_p) y recibidos, cuyo porcentaje se calcula con la ecuación (11). Las Figuras 24 y 25 muestran los resultados respectivos para las redes “Red de estudio” y “Opción 1”.

$$P_{Loss} = \left(\frac{D_p}{S_p}\right) * 100 \% \quad (11)$$

Donde P_{Loss} representa el porcentaje de pérdida de paquetes promedio y D_p el número de paquetes perdidos.

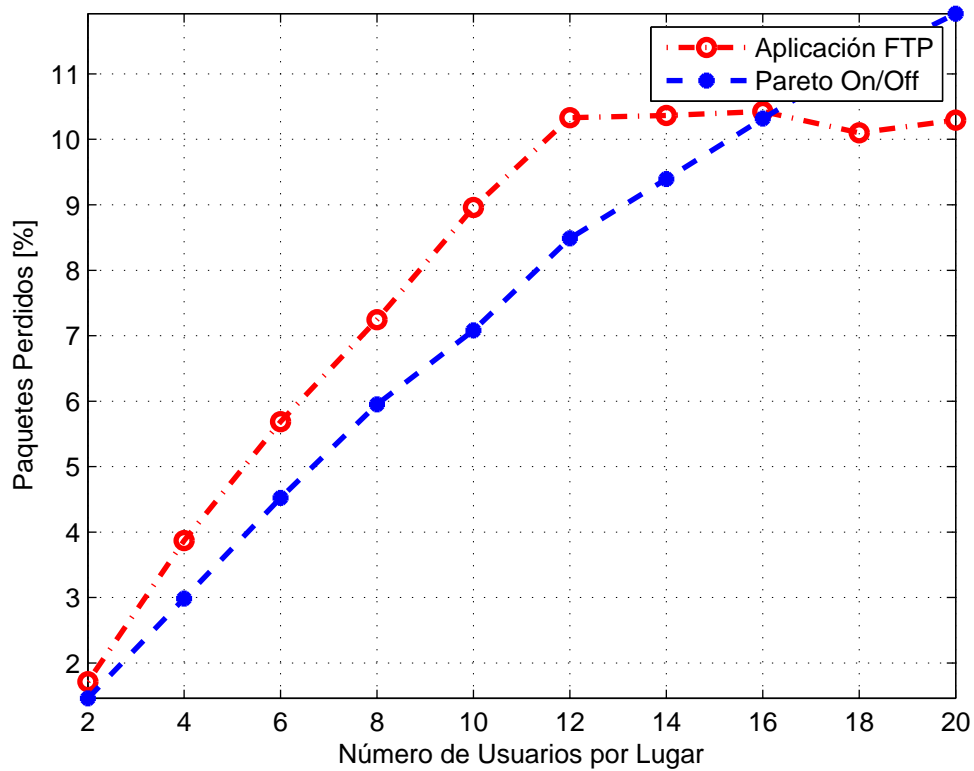


Figura 24: Porcentaje de pérdida de paquetes promedio por usuario vs. Número de Usuarios por lugar para la “Red de estudio”.

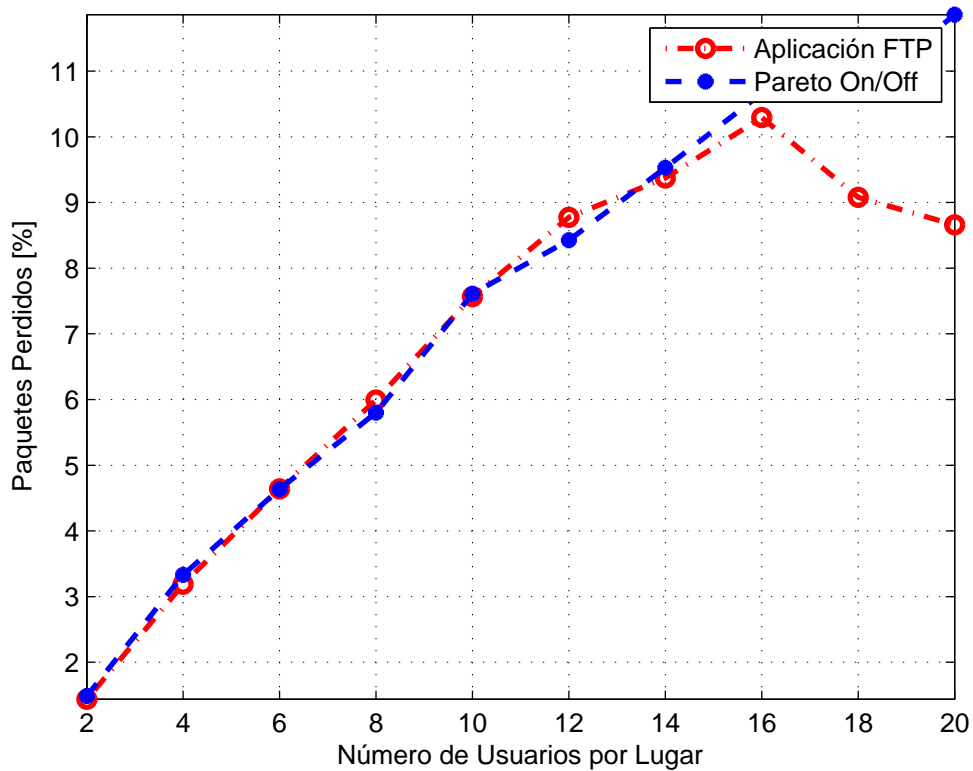


Figura 25: Porcentaje de pérdida de paquetes promedio por usuario vs. Número de Usuarios por lugar para la red “Opción 1”.

Al usar la aplicación On/Off con distribución de Pareto, la pérdida de paquetes se incrementa linealmente a medida que el número de usuarios aumenta. Sin embargo, con la aplicación ftp el comportamiento es similar hasta llegar a los 12 usuarios por lugar para la “Red de estudio” (ver Figura 24) y a los 16 usuarios por lugar para la red “Opción 1” (ver Figura 25), a partir de dichos valores se presenta una saturación de la red, lo que hace que sólo se envíe tráfico a parte de los usuarios, por lo que el porcentaje promedio de paquetes perdidos se calcula con el número de usuarios a los cuales se les envía tráfico de forma regular mas no con el total.

Los rangos para evaluar la calidad del enlace se clasifican según el porcentaje de pérdida de paquetes así: con valores entre 0 y 1% la calidad del enlace es buena, entre

1 y 2.5% es pobre, entre 2.5 y 5% muy pobre, entre 5 y 12% es aceptable y valores superiores a 12 se considera mala.

Para reducir la pérdida de paquetes se debe aumentar la capacidad de los enlaces, lo cual se hace con el objetivo de mejorar la calidad de los enlaces y por consiguiente de la topología completa de la red.

Capítulo III

ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA REDES INALÁMBRICAS EN ÁREAS RURALES

Resumen—En este capítulo se realiza un estudio de factibilidad de una red inalámbrica como empresa de distribución del servicio de Internet banda ancha en zonas rurales del departamento de Nariño, aplicado a la “primera red de interés” mencionada en la sección 1.6.1 de este documento. Dicho estudio es basado en una aplicación diseñada para WiMax, llamada Análisis Técnico Económico (*Technical Economic Analysis, TEA WiMax*) [29].

Se usa TEA WiMax por ser un análisis muy completo, que a diferencia de otros estudios económicos, tiene en cuenta varios aspectos como análisis de mercado, técnico, económico y financiero. Esta aplicación se adapta a las necesidades del proyecto para garantizar la mejor estrategia de negocios y la tecnología desde el principio en el diseño de redes inalámbricas de área local (*Wireless Local Area Network, WLAN*) [29].

Introducción

Las redes WLAN son una alternativa económica y práctica para desarrollar proyectos comerciales y no comerciales que dan una solución al acceso de Internet banda ancha en zonas rurales, con el objetivo de resolver uno de los retos más importantes a los que se enfrenta hoy en día el sector rural, el acceso a las TICs.

La tecnología elegida para distribuir el servicio de Internet es WiFi 802.11n, debido a que se reducen los tiempos de instalación de infraestructura de la red, permite una

solución rápida, facilita la actualización de equipos y resulta ser un método barato para la distribución de este servicio. Sin embargo, el diseño correcto de estas redes es crucial para lograr que trabajen de un modo eficiente.

Este capítulo se empeña en desarrollar las técnicas y conocimientos necesarios para diseñar una red inalámbrica de área rural, que permita distribuir Internet a un número determinado de usuarios de un modo práctico y rentable, mediante un análisis técnico-económico, el cual se divide en tres fases: estudio de mercadeo (sección 3.1), análisis técnico (sección 3.2) y análisis económico y financiero (sección 3.3).

3.1. Estudio de mercadeo

Es un proceso sistemático de recolección y análisis de datos e información acerca de clientes, competidores y el mercado, que facilitan la toma de decisiones empresariales y ayudan a escoger la alternativa más acertada para aumentar la probabilidad de éxito de un proyecto [30].

El estudio de mercadeo es aplicado a las cabeceras municipales de: Ancuya, Linares, Samaniego y Sandoná, lugares que forman la “primera red de interés”; con el fin de analizar la viabilidad comercial de una empresa dedicada a ofrecer el servicio de Internet banda ancha a dichos lugares, utilizando a ParqueSoft (Pasto) como proveedor.

3.1.1. Población y Muestra

La población objetivo está compuesta por las viviendas de las cabeceras municipales de la “primera red de interés” anteriormente nombrada, seleccionando como mercado potencial a los hogares pertenecientes a los estratos socioeconómicos 1, 2 y 3.

Los datos del número de viviendas que se indican en la Tabla 8 se obtienen del Censo General 2005 realizado por el DANE [31].

Tabla 8: Población de demandantes potenciales

Municipio	Número de viviendas	Viviendas [%]
Ancuya	530	8,6
Linares	676	11,0
Samaniego	2670	43,3
Sandoná	2285	37,1
Total	6161	100,0

Por el gran tamaño de la población, es necesario calcular una muestra representativa que dé resultados confiables de las características de la población objeto de estudio, para ello se aplica la ecuación (12) [32].

$$n = \frac{NpqK^2}{(N-1)E^2 + pqK^2} \quad (12)$$

Donde: n es la muestra representativa, N el tamaño de la población, p la probabilidad de éxito, q la probabilidad de fracaso, E el margen de error admitido, K es una constante que depende del nivel de confianza que se asigne. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de una investigación sean ciertos, por ejemplo un 95,5% de confianza es lo mismo que decir que puede haber una probabilidad de equivocación del 4,5%. Los valores de K se obtienen de la Tabla 9.

Tabla 9: Valores de K según el nivel de confianza

Nivel de confianza [%]	K
75	1,15
80	1,28
85	1,44
90	1,65
95	1,96
97,5	2,24
99	2,58

Para calcular la muestra representativa del proyecto se tiene en cuenta los siguientes parámetros: población de 6161 viviendas, probabilidades de éxito y fracaso

del 50 %, margen de error del 7% y nivel de confianza del 95 %; obteniéndose una muestra representativa de 200 viviendas pertenecientes a los estratos socioeconómicos 1, 2 y 3 de los cuatro municipios.

3.1.2. Caracterización del producto

- Uso: El uso del Internet es muy diverso y aunque puede ser restringido, se encuentra en todos los ambientes de la sociedad incluyendo educación, comercio, comunicación, entretenimiento, etc.
- Usuarios: Los consumidores del servicio de Internet están conformados por la población de las cabeceras municipales que estén dentro del área de cobertura de la red inalámbrica.
- Composición: El diseño e infraestructura de la red se basa en tecnología WiFi 802.11n.
- Portafolio: Internet inalámbrico de banda ancha.

3.1.3. Análisis del sector

Actualmente la empresa Sistemas Palacios cubre parte del mercado ofreciendo Internet con redes inalámbricas a cerca de 1000 usuarios de 25 municipios de Nariño sin clausulas de permanencia. Etre los municipios beneficiados están: Pasto, La Cruz, **Sandoná, Ancuya, Linares**, San Pablo, El tambo, Nariño, Chachagüii, Buesaco, San Bernardo, San José, La Llanada, El Peñol, Génova, Tablón de Gómez, Arboleda Berruecos [33].

Otra de las empresas que ofrece Internet a algunos municipios de Nariño es Colombia Telecomunicaciones S.A ESP con velocidades de bajada de 128Kbps y subida de 64Kbps en Linares y con velocidades de bajada de 1024Kbps y subida de 512Kbps a 39 suscriptores en Sandoná usando tecnología xDSL [34].

Uno de los medios que utilizan las personas ubicadas en áreas rurales para tener acceso a Internet, es el servicio de internet móvil, a través de módems que ofrecen las empresas Claro, Movistar, y Tigo. Este servicio presenta la desventaja de que una vez alcanzada cierta cantidad de bytes de descarga, la velocidad del servicio se reduce notablemente, dando como resultado una navegación demasiado lenta.

Según el segundo informe trimestral de las TICs del año 2012, la penetración de Internet de los municipios de la “primera red de interés” es bajo; teniendo un 0.01 % en Ancuya, 0.04 % en Linares, 0.04 % en Samaniego y 0.2 % en Sandoná; lo que evidencia la falta del servicio de Internet en estas regiones [34].

De la anterior información se puede concluir que aunque existen negocios que ofrecen el servicio de Internet en los municipios, el índice de penetración es bajo, permitiendo a nuevas empresas contar con una demanda considerable de usuarios potenciales.

3.1.4. Análisis territorial

La Tabla 10 muestra la información del área geográfica de las cabeceras municipales y el area que se pretende cubrir con la red inalámbrica [35] - [38].

Tabla 10: Área de territorios

Municipio	Área [Km^2]	Área objetivo [Km^2]
Ancuya	7	0,2
Linares	4,2	0,25
Samaniego	10	0,35
Sandoná	5,4	0,83
Total	26,6	1,63

3.1.5. Análisis de la demanda

Para efectuar el análisis de la demanda, se aplica la encuesta (Ver Anexo E) a las viviendas de las cabeceras municipales de la “primera red de interés” como instrumento de recolección de información, la cual se organiza en tablas y gráficas

que se utilizan para generar algunas conclusiones y son la base para determinar la demanda potencial de usuarios del servicio de Internet.

A continuación se muestra el análisis de los datos recolectados:

1. Al preguntar ¿Cuál es el estrato socioeconómico al que pertenece su vivienda? se obtiene los resultados que se muestran en la Tabla 11 y Figura 26.

Tabla 11: Estrato Socio-económico de las viviendas encuestadas

<u>Estrato</u>	<u>Frecuencia</u>	<u>Porcentaje [%]</u>
Uno	111	55
Dos	62	31
Tres	27	14

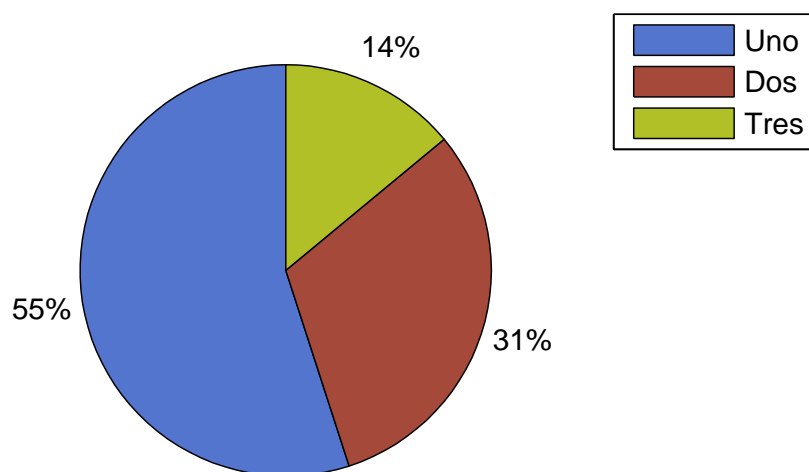


Figura 26: Estrato socio-económico de las viviendas encuestadas.

La Figura 26 permite observar que la mayoría de las viviendas encuestadas pertenecen al estrato socio-económico 1, con un porcentaje del 55%, seguido por un 31% de hogares de estrato 2 y un 14% de estrato 3. Debido a que la encuesta se aplica aleatoriamente, es posible afirmar que la población de estrato 1 es la más predominante en las cabeceras municipales, siendo éste el mercado

potencial más grande, lo cual es un dato importante a tener en cuenta para la estrategia de mercadeo que una empresa pueda desarrollar en el futuro, en lo que se refiere a: publicidad, precios del servicio, promociones, entre otros.

- Al preguntar ¿Cuál es aproximadamente el monto de ingresos mensuales en su hogar?, se obtiene los resultados que se muestran en la Tabla 12 y Figura 27.

Tabla 12: Nivel de ingresos mensuales de las viviendas encuestadas

Estrato	No. de encuestas	0 a 1 smmlv*		1 a 2 smmlv		2 a 3 smmlv		3 a 4 smmlv		Más de 4 smmlv	
		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
		Uno	111	62	56	30	27	11	10	6	5
Dos	62	31	50	18	29	9	15	3	5	1	2
Tres	27	2	7	9	33	12	44	3	11	1	4
TOTAL	200	95	48	57	29	32	16	12	6	4	2

* El smmlv, Salario mínimo legal vigente para el año 2013 en Colombia es de \$589.500

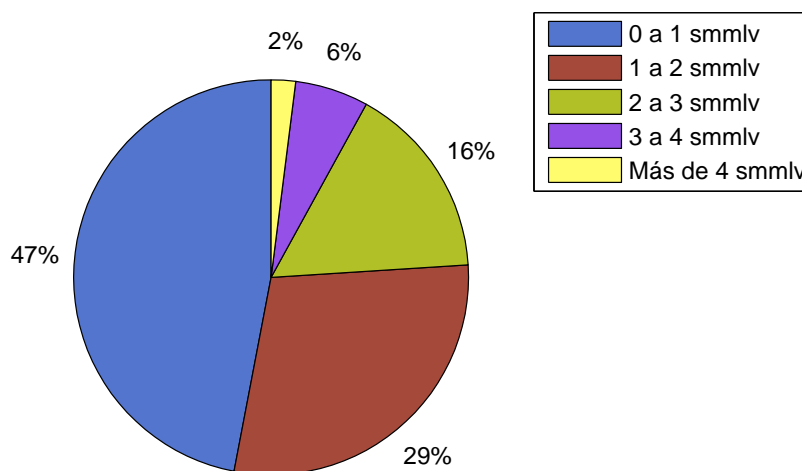


Figura 27: Nivel de ingresos mensuales de las viviendas encuestadas.

De la Figura 27 puede observar que el 76% de los hogares encuestados poseen un nivel de ingresos bajo (entre 0 y 2 smmlv), frente a un 24% que recibe más

de 2 salarios mínimos al mes. Tener en cuenta esta situación es clave para la fijación de los precios de los planes de Internet.

Debido a que la población no posee gran capacidad adquisitiva, el precio del servicio de Internet debe ser bajo o al menos cercano al de la competencia. Este precio se calcula más adelante en la subsección 3.1.9.

3. Al preguntar ¿Qué concepto le merece al servicio de Internet?, se obtiene los resultados que se muestran en la Tabla 13 y Figura 28.

Tabla 13: Concepto que le merecen al Internet las viviendas encuestadas

Estrato	Ne*	Muy bueno		Buerno		Regular		Malo		Muy malo	
		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Uno	111	47	42	53	48	9	8	2	2	0	0
Dos	62	36	58	22	35	4	6	0	0	0	0
Tres	27	20	74	6	22	1	4	0	0	0	0
TOTAL	200	103	52	81	41	14	7	2	1	0	0

* Número de encuestas

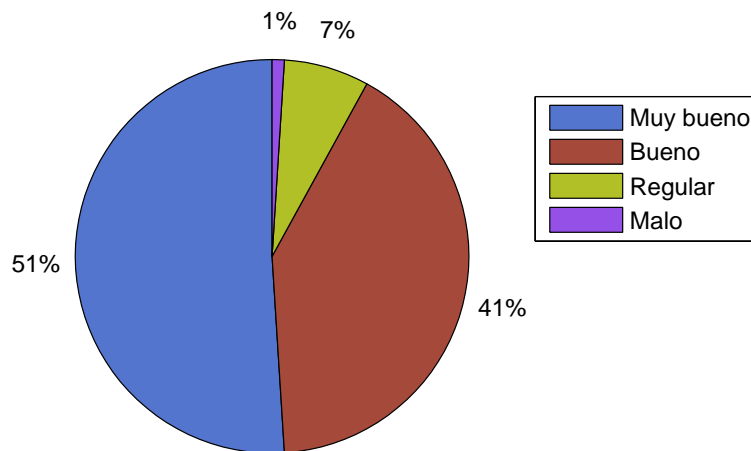


Figura 28: Concepto que le merecen al Internet los hogares encuestados.

La Figura 28 representa una condición muy positiva para el proyecto, puesto

que el 51 % considera que el Internet es muy bueno y el 41 % considera que es bueno, frente a un 7 % que cree que es regular y un 1 % que opina que es malo. En resumen, al 92 % de las viviendas encuestadas le agrada la Internet, generando una buena expectativa para la ejecución del proyecto, mostrando a su vez una tendencia favorable por parte de los consumidores potenciales en cuanto a la adquisición del servicio. Estos aspectos sin duda alguna facilitarán la penetración en el mercado y de algún modo aseguran el consumo del servicio de Internet.

4. Al preguntar ¿Con qué frecuencia se utiliza el servicio de Internet en su hogar?, se obtiene los resultados que se muestran en la Tabla 14 y Figura 29.

Tabla 14: Frecuencia del uso de Internet

Estrato	Ne	Siempre		Casi siempre		A veces		Casi nunca		Nunca	
		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Uno	111	44	40	40	36	21	19	3	3	3	3
Dos	62	28	45	19	31	13	21	2	3	0	0
Tres	27	16	59	8	30	3	11	0	0	0	0
TOTAL	200	88	44	67	34	37	19	5	3	3	2

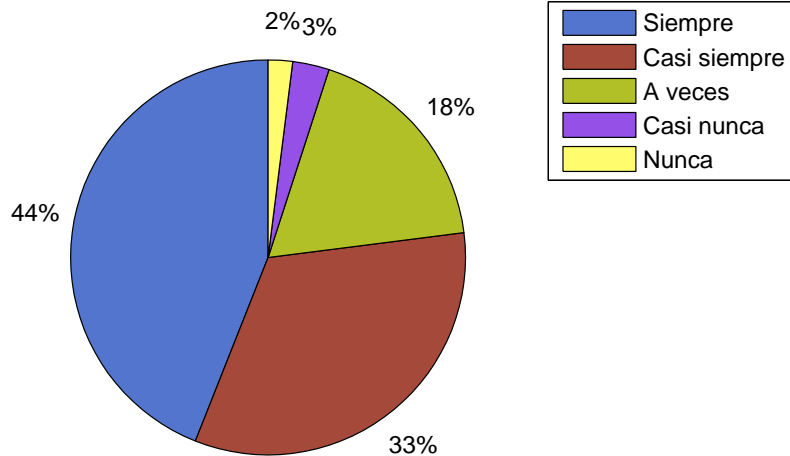


Figura 29: Frecuencia del uso de Internet.

Consecuentemente del buen concepto hacia el Internet por parte de las personas encuestadas (ver Figura 28), se observa en la Figura 29 que el uso de este servicio es muy frecuente; donde más del 90 % del mercado está representado por viviendas consumidoras, confirmando la aceptación y garantizando en parte la venta de planes de dicho servicio.

- Al preguntar ¿Cuál es el nivel de satisfacción obtenido por el uso del servicio de Internet? (si lo ha utilizado en el municipio), se obtiene los resultados que se muestran en la Tabla 15 y Figura 30.

Tabla 15: Nivel de satisfacción del uso del servicio de Internet

Estrato	Ne	Muy bueno		Bueno		Regular		Malo		Muy Malo	
		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Uno	111	18	16	54	49	24	22	15	14	0	0
Dos	62	7	11	25	40	23	37	4	6	3	5
Tres	27	4	15	8	30	10	37	4	15	1	4
TOTAL	200	29	15	87	44	57	29	23	12	4	2

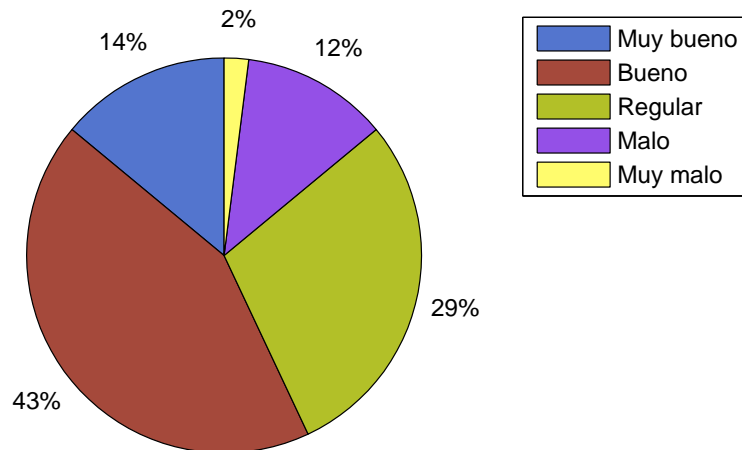


Figura 30: Nivel de satisfacción del uso del servicio de Internet.

El 57 % de las viviendas poseen un buen nivel de satisfacción del uso de Internet, así lo indica la Figura 30, reafirmando una vez más la aceptación de éste en el mercado potencial. Sin embargo, el 43 % muestra un descontento con el servicio que utilizan, lo cual favorece la incursión de una nueva empresa que brinde mejores servicios comparados con los de la competencia, garantizando demanda de usuarios que actualmente ya cuentan con una conexión a Internet.

- Al preguntar ¿En el momento de adquirir y/o elegir una empresa prestadora del servicio de Internet, que factores le generarían mayor influencia para escogerla?, se obtiene los resultados que se muestran en la Tabla 16 y Figura 31.

Tabla 16: Factores que influyen para escoger la empresa que brinda Internet

Estrato	Ne	Marca		Calidad de servicio		Precio		Rapidez en la navegación	
		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Uno	111	11	10	42	38	14	13	44	40
Dos	62	6	10	26	42	5	8	25	40
Tres	27	2	7	12	44	4	15	9	33
TOTAL	200	19	10	80	40	23	12	78	39

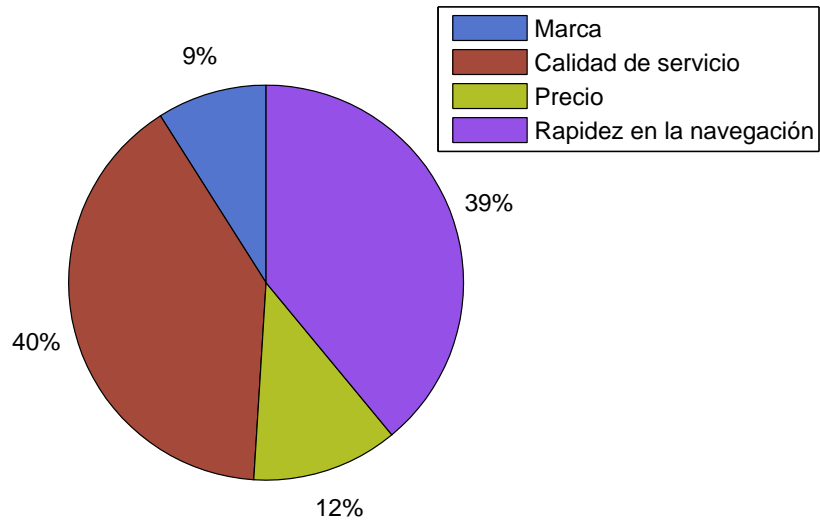


Figura 31: Factores a tener en cuenta para escoger una empresa que ofrezca el servicio de Internet.

De la Figura 31 es interesante observar que el precio y la marca no son los factores más influyentes para escoger el servicio, es decir, la población encuestada posee más interés en otros aspectos como la calidad del servicio y la rapidez que una empresa pueda ofrecer. Esta situación permite jugar con el precio y mejorar el margen de rentabilidad, sin perder las oportunidades de mercado, permitiendo la incursión de una nueva empresa.

7. Al preguntar ¿Qué tan interesado(a) estaría usted en adquirir el servicio de

Internet?, se obtiene los resultados que se muestran en la Tabla 17 y Figura 32.

Tabla 17: Interés en adquirir el servicio de Internet

Estrato	Ne	Muy interesado		Interesado		Mas/menos interesado		Poco interesado		Nada interesado	
		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Uno	111	33	30	35	32	33	30	8	7	2	2
Dos	62	18	29	20	32	15	24	8	13	1	2
Tres	27	11	41	8	30	6	22	1	4	1	4
TOTAL	200	62	31	63	32	54	27	17	9	4	2

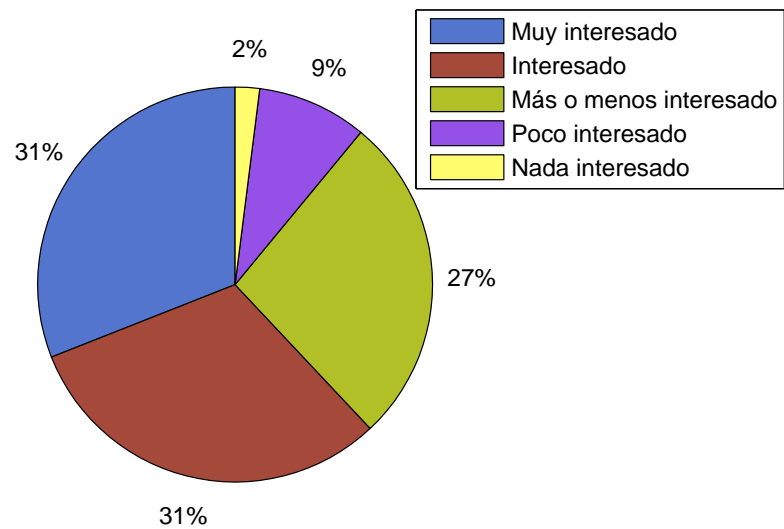


Figura 32: Interés en adquirir el servicio de Internet por parte de las viviendas encuestadas.

Esta es la pregunta clave de la encuesta, donde los posibles consumidores pueden expresar su verdadera intención e interés de adquirir el servicio de Internet. Los resultados obtenidos muestran un 89% a favor, como se visualiza en la Figura 32. Estos datos representan un factor importante para poder calcular la demanda potencial, ofreciendo muchas posibilidades de penetrar con éxito en el mercado.

3.1.6. Cuantificación de la demanda

La demanda de usuarios corresponde al 95 %⁴ del total viviendas de las cabeceras municipales (ver Tabla 8), es decir:

$$\text{Demanda de usuarios} = 6161 * 0,95 = 5852 \text{ usuarios}$$

El número de consumidores potenciales se calcula extrayendo el 89 %⁵ del valor anteriormente obtenido, cifra que representa las viviendas interesadas en adquirir el servicio de Internet.

$$\text{Consumidores potenciales} = 5852 * 0,89 = 5208 \text{ usuarios}$$

Este resultado indica que el número de consumidores potenciales es significativo, lo cual permite confirmar el éxito del proyecto.

3.1.7. Penetración del mercado

Hace referencia al número de usuarios demandantes del producto o servicio, con que inicia una compañía y al aumento de su participación en el mercado. Dicha penetración en el mercado depende de la estrategia que se maneje, como por ejemplo: ofrecer promociones, bajar precios, realizar publicidad, etc.

Aunque el número de consumidores potenciales es significativo, lo cual es una gran ventaja, la verdad es que una vez puesto en marcha el proyecto no es posible satisfacer toda la demanda, siendo necesario calcular la tasa de penetración del mercado.

La curva de la tasa de penetración que se aplica en el proyecto se muestra en la Figura 33 y es tomada de la aplicación para TEA WIMAX en un área suburbana,

⁴Resultado de sumar los porcentajes correspondientes a los usuarios que usan Internet siempre, casi siempre y a veces, ver Figura 29.

⁵Porcentaje que representa toda la población que se encuentra interesada, muy interesada y más o menos interesada en adquirir el servicio, ver Figura 32.

donde indica que se inicia con el 5 % de los usuarios potenciales y tiene un incremento anual del 1 %, en un periodo de 5 años [29].

Dicha curva se obtiene de estudios de mercadeo previos realizados por la empresa Witech, por lo cual se considera que los resultados que arroja esta gráfica son veraces, lo que ayuda a estimar la cantidad de usuarios suscriptores del servicio de Internet antes de poner en marcha el negocio y así poder determinar si la idea de negocio tendrá éxito o no.

En caso de que no se logre la penetración del mercado objetivo de la Figura 33, se calcula el periodo de recuperación de la inversión si la empresa se inicia con el 4 % de los usuarios potenciales y tiene un incremento anual del 0.5 % anual en un periodo de 5 años.

Teniendo en cuenta los 5.208 usuarios potenciales, se usa la Figura 33 para obtener la penetración del mercado del servicio de Internet para la “Primera red de interés”, como lo muestra la Tabla 18.

Tabla 18: Penetración del mercado de la “primera red de interés”

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Penetración del mercado[%]	5	6	7	8	9
Usuarios Ancuya	22	27	31	36	40
Usuarios Linares	29	34	40	46	51
Usuarios Samaniego	113	136	158	181	203
Usuarios Sandoná	97	116	135	155	174
Total de usuarios	261	313	365	417	469

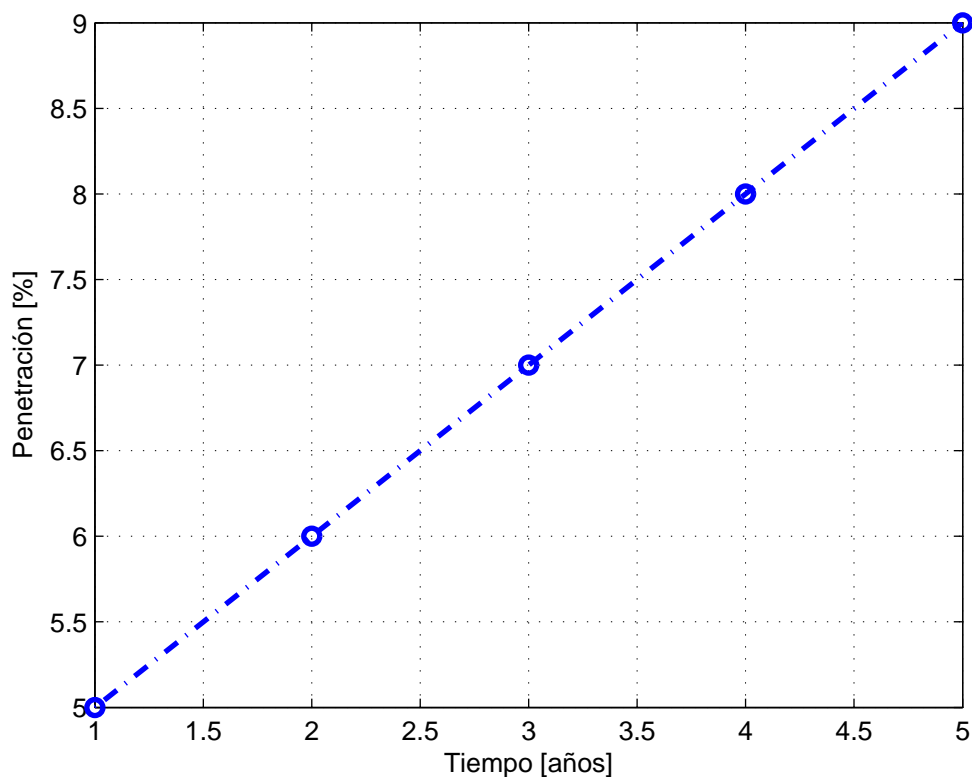


Figura 33: Tasa de penetración del mercado para una población suburbana.

3.1.8. Análisis de la oferta

Para conocer la cantidad de usuarios que la red inalámbrica puede soportar, se tiene en cuenta dos aspectos: los equipos con los que se realiza la infraestructura y la penetración del mercado. Este tema es tratado en la sección 3.2.7.

3.1.9. Análisis de precios

Se desarrolla una estrategia de precios basada en los costos CAPEX⁶, OPEX⁷ y los precios que maneja la competencia, los cuales se indican a continuación.

⁶CAPEX (Capital Expenditures), hacen referencia a las inversiones en bienes para poner en marcha y desplegar la red inalámbrica, entre estos gastos están: infraestructura de la red, equipamiento requerido, software y mano de obra de instalación [40].

⁷OPEX (Operational Expenditure), representa el coste de operación continua, administración y mantenimiento de la red [40].

- Internet móvil Claro de 3Gb \$43.900.
- Internet móvil movistar 4Gb \$49.900.
- Internet Fijo Sistemas Palacios 1.400 Kbps \$45.000.
- Internet Fijo Colombia Telecomunicaciones S.A ESP: Estrato 1 \$39.786, Estrato 2 \$40.096, Estrato 3 \$42.476.

De los anteriores valores se tiene un promedio de \$43.550, precio que sirve como referencia para jugar con el valor al que se puede ofrecer el servicio de Internet con el fin de lograr la mayor rentabilidad.

El precio al que se vende el servicio de Internet se fija teniendo en cuenta: las ganancias netas que se quieran alcanzar, el costo operacional de la red y el retorno de la inversión. El fijar un precio menor, similar o superior al de la competencia depende de qué tanta rentabilidad produce para el negocio; si el precio de dicho servicio se fija por debajo de la competencia y genera ganancias positivas con un buen margen de rentabilidad, permite desarrollar estrategias de mercadeo que influyen en el incremento de penetración en el mercado de tal servicio en la población objetivo.

3.2. Análisis técnico

3.2.1. Tecnología

La red inalámbrica se diseña con tecnología de área local WiFi 802.11n por ser el estándar más actual y versátil con respecto a estándares anteriores. Entre sus múltiples ventajas están el incremento de velocidad de transmisión, mayor alcance de operación gracias a que utiliza tecnología MIMO (*Multiple Input - Multiple Output*) y puede trabajar en dos bandas de frecuencias libres de 2,4 GHz y 5GHz [39].

3.2.2. Velocidad de datos

Actualmente la tecnología WiFi con el estándar 802.11n soporta velocidades teóricas considerables de 6Mbps hasta un máximo de 300Mbps [39].

3.2.3. Equipos

En cuanto a los equipos utilizados se recomienda que sean de la misma marca para evitar problemas de compatibilidad entre los mismos.

Los equipos necesarios para crear la infraestructura de la red son:

- Punto de acceso (*Acces Point*, AP): Es un punto de acceso inalámbrico privado para conectar computadoras a Internet sin necesidad de cables, permitiendo compartir recursos de la red. Las características técnicas necesarias para estos equipos son: operar en las bandas de frecuencias de 2,4 GHz para realizar las celdas o estaciones base; 5GHz para configurar los enlaces punto a punto y operar entres modos diferentes: *maestro*, donde múltiples usuarios acceden al punto de acceso al mismo tiempo compartiendo la conexión; *repetidor*, cuando el AP recibe una señal inalámbrica de otro AP, la mejora y la repite a otra red; y *punte*, cuando se conectan de manera inalámbrica dos puntos de acceso a una distancia considerable, la cual usualmente se configura en sistema de distribución inalámbrico (*Wireless Distribution System*, WDS) para realizar enlaces punto a punto (P2P) a largas distancias.
- Equipo local del cliente (*Customer Premises Equipment*, CPE): Es el equipo que se ubica en las instalaciones del cliente, que le permite al consumidor acceder al servicio de Internet a través de la red inalámbrica, el cual debe operar en la banda de 2,4GHz por ser la banda que maneja la estación base.
- Antena parabólica: Es un tipo de antena que se caracteriza por llevar un reflector parabólico, lo que la hace altamente directiva y con mayor ganancia, lo cual la hace útil para enlaces punto a punto. Entre las especificaciones requeridas están: que posea diversidad de polarización y opere en la banda de 5,8GHz al ser una de las bandas libres en Colombia.

- Antenas sector: Son una mezcla de antenas direccionales y omnidireccionales que poseen un gran nivel de penetración sobre obstáculos en relación potencia/alcance, estas antenas emiten un haz más amplio que una antena direccional pero no tan amplio como una antena omnidireccional. Son utilizadas para brindar coberturas amplias en las que es necesario utilizar más de una antena con el fin de no saturar de usuarios una sola celda, es por esto que para tener una cobertura de 360° y un largo alcance se debe instalar tres antenas sectoriales de 120° o 4 antenas sectoriales de 80°.

Las antenas que se requieren para implementar los radios de las celdas estación base deben trabajar con diversidad de polarización, tener una cobertura de 120 grados y operar en la banda de 2,4GHz para que sean compatibles con dispositivos Wi-Fi como portátiles.

- Swich: Es un dispositivo de interconexión de redes de computadoras, su función es interconectar dos o más segmentos de red, pasando datos de un segmento a otro de acuerdo con la dirección MAC de destino de las tramas en la red. Para el diseño de la red se utilizan swiches Fast Ethernet configurables de 24 puertos para ofrecer Internet a un conjunto de computadores, como por ejemplo en una Institución educativa.
- Servidor Radius: Es un servidor encargado de la administración de los usuarios de la red, se basa en el protocolo Radius que permite gestionar la autenticación, autorización y registro de usuarios. El servidor necesario para implementar la red dependerá de la capacidad de usuarios que se quiera manejar.

Hay varias marcas de equipos de puntos de acceso, antenas y otros elementos que se pueden utilizar en la red inalámbrica, entre las cuales están: Linksys, Motorola, Cisco, Trendnet, Ubiquiti, etc.

Este proyecto indica dos especificaciones de equipos posibles para interconectar la “primera red de interés”:

- Cisco que se destaca por ser una marca conocida que maneja una amplia cartera de productos de redes inalámbricas con aplicaciones para funciones empresariales en tiempo real, que se caracterizan por tener un gran desempeño al manejar equipos robustos [41].
- Ubiquiti con su plataforma de comunicación AirMAX ofrece equipos con buenas características de desempeño, mejoras en latencia y throughput, gracias a optimizaciones de rendimiento inalámbrico al aire libre [42].

1. Equipos Cisco [41]

- Access Point Cisco 1550 Series Punto de acceso exterior.

Frecuencia de operación: 2,412 - 2,472GHz y 5,725 - 5,825 GHz

Interfaces: IEEE 802.11a/b/g/n

Modos de operación: Punto a multipunto, Punto a punto.

Máxima potencia de transmisión: 28dBm

Sensibilidad: -92dBm

Consumo de energía: 18.5W

Consumo mensual de energía eléctrica: \$5.550

Precio: \$4'944.000

- Antena Cisco AIR-ANT58G28SDA-N

Frecuencia de operación: 5,8GHz

Ganancia: 28dBi

Ancho del haz horizontal: 4,75 grados

Ancho del haz vertical: 4,75 grados

Precio: \$1'816.425

- Antena Cisco AIR-ANT2414S-R
Frecuencia de operación: 2,4GHz
Ganancia: 14dBi
Ancho del haz horizontal: 90 grados
Ancho del haz vertical: 8.5 grados
Precio: \$1'668.090

2. Equipos Ubiquiti [42]:

- Access Point Ubiquiti Rocket M2 /OUTDOOR 802.11a/g/n 600mW
Frecuencia de operación: 2412 - 2462MHz
Modos de operación: Punto a multipunto, Punto a punto.
Máxima potencia de transmisión: 600mW
Sensibilidad: -97dBm
Consumo de energía: 11W
Consumo mensual de energía eléctrica: \$4.400
Precio: \$205.000
- Access Point Ubiquiti Rocket M5/ OUTDOOR 802.11b/g/n 600mW
Frecuencia de operación: 5470 - 5825MHz
Modos de operación: Punto a multipunto, Punto a punto.
Máxima potencia de transmisión: 600mW
Sensibilidad: -94dBm
Consumo de energía: 11W
Consumo mensual de energía eléctrica: \$4.400
Precio: \$205.000
- Antena Parabolica Ubiquiti RD-5G30
Frecuencia de operación: 5,1 - 5,8GHz
Ganancia: 34dBi

Ancho del haz horizontal: 5 grados

Ancho del haz vertical: 5 grados

Polarización: Dual lineal

Precio: \$420.000

- Antena Sectorial Ubiquiti AM-2G15-120

Rango de frecuencia: 2,3 - 2,7GHz

Ganancia: 16dBi

Polarización: dual lineal

Ancho del haz horizontal: 123 grados

Ancho del haz vertical: 9 grados

Precio: \$360.000

- Nanoestación Ubiquiti M2

Frecuencia de operación: 2412 - 2462MHz

Modos de operación: Estación

Máxima potencia de transmisión: 400mW

Sensibilidad: -96dBm

Ganancia de antena: 11dBi

Consumo de energía: 5.5W

Consumo mensual de energía eléctrica: \$2.200

Precio: \$130.000

3. Equipos

- Swich D-Link DGS-3100-24 24 puertos 10/100/1000 BASE-T L2 apilable

Número de Puertos: 24

Consumo de energía: 49.4W

Consumo mensual de energía eléctrica: \$15.250

Valor \$680.000

- Servidor Radius Dell PowerEdge T110 II

Soporta hasta 50 usuarios conectados al mismo tiempo. Ideal como servidor de archivos compartidos y para colaboración.

Consumo de energía: 305W

Consumo mensual de energía eléctrica: \$93.900

Precio: \$1'799.192

3.2.4. Características de la Red Inalámbrica

Las Tablas 19 y 20 proveen características (potencia de transmisión, ganancia de antenas, pérdidas en conectores, etc.) de la estación base y terminal de usuario, diseñados con equipos Ubiquiti.

Tabla 19: Características técnicas de la estación base

	Estación base
Potencia de transmisión [dBm]	28
Ganancia de antena [dBi]	16
Pérdidas en conectores [dBm]	2
EIRP* [dBm]	42
Número de Sectores	3
Número de antenas	
Transmisoras	3
Receptoras	3

* Potencia radiada isotrópica efectiva, resultante de sumar la potencia de transmisión y la ganancia de la antena y de restarle las pérdidas en los conectores.

Se escoge esta marca por la variedad de soluciones y equipos que ofrece para implementar redes inalámbricas, además, utilizan sistemas de múltiples antenas, proporcionan un rendimiento inalámbrico superior, soportan más clientes por AP y tienen un menor precio comparado con otras marcas.

La Tabla 21 muestra la relación de ganancias, usando un sistema de múltiples antenas con diversidad de polarización tanto en las estaciones base como en los enlaces punto a punto.

Tabla 20: Características técnicas del terminal de usuario

Terminal de Usuario	
Potencia de transmisión [dBm]	15
Ganancia de antena [dBi]	11
Pérdidas en conectores	1
EIRP [dBm]	16,5
Número de antenas	
Transmisoras	1
Receptoras	1

Tabla 21: Sistema de múltiples antenas

		Ganancia Downlink	Ganancia Uplink
Ganancia MRC* [dB]	3	3	3
Antena	MIMO 2x2	6	6
* Combinación de relación máxima			

3.2.5. Desempeño de cobertura

En la propagación de energía de una señal en el espacio, la potencia recibida es inferior a la transmitida por la imposibilidad de captar toda la potencia generada en el transmisor, debido a atenuaciones en el trayecto. Dichas atenuaciones se conocen como márgenes de desvanecimiento, los cuales se calculan con métodos estadísticos que determinan el desempeño de cobertura de las celdas. Entre los márgenes más relevantes se encuentran el desvanecimiento Log Normal, Rayleigh, Interferencia y pérdidas de penetración en cuerpos [11], [39].

3.2.5.1. Margen de desvanecimiento Log Normal

Se usa para cuantificar la distribución de rayos que son producidos por múltiples reflexiones y difracciones entre el transmisor y el receptor en largas escalas de cobertura. Este margen de desvanecimiento se calcula con la ecuación (13) [39].

$$M_{sh}\sigma_{dB}Q^{-1}(1 - P_{cob}) \quad (13)$$

Donde:

σ es la varianza del modelo de propagación y es típicamente 7dB para un entorno suburbano [43].

P_{cob} es la probabilidad de cobertura, en la cual se toma el valor del 99.9% con el fin de cubrir con la celda el total del área objetivo.

Q^{-1} es la función Q inversa. La Tabla 22 muestra el valor de Q^{-1} para diferentes probabilidades de cobertura [44].

Tabla 22: Valores de la función Q^{-1}

Q^{-1}	$(1 - P_{cob})$	Q^{-1}	$(1 - P_{cob})$
0,0	0,5	2,0	0,02275
0.1	0.46017	2.1	0.01786
0.2	0.42074	2.2	0.01390
0.3	0.38209	2.3	0.01072
0.4	0.34458	2.4	0.00820
0.5	0.30854	2.5	0.00621
0.6	0.27425	2.6	0.00466
0.7	0.24196	2.7	0.00347
0.8	0.21118	2.8	0.00256
0.9	0.18406	2.9	0.00187
1.0	0.15866	3.0	0.00135
1.1	0.13567	3.1	0.00097
1.2	0.11507	3.2	0.00069
1.3	0.09680	3.3	0.00048
1.4	0.08076	3.4	0.00034
1.5	0.06681	3.5	0.00023
1.6	0.05480	3.6	0.00016
1.7	0.04457	3.7	0.00011
1.8	0.03593	3.8	0.00007
1.9	0.02872	3.9	0.00005

Ejemplo: Cálculo de Margen de desvanecimiento Log Normal con $\sigma = 7dB$ y $P_{cob} = 99,9\%$ usando la ecuación (13).

$$M_{sh} = 7dB * Q^{-1}(1 - 0,999)$$

$$M_{sh} = 7dB * Q^1(0,001)$$

$$M_{sh} = 7dB * 3$$

$$M_{sh} = 21dB$$

3.2.5.2. Margen de desvanecimiento Rayleigh

Se produce cuando la línea de visión directa entre el emisor y el receptor se ve interrumpida por obstáculos o el nivel de señal recibida es menor al nivel del ruido. En esta circunstancia el enlace existe por la suma de las contribuciones multitrayecto de las señales en el ambiente. Este margen de desvanecimiento se calcula con la ecuación (14) [39].

$$M_{ss} = -10\text{Log}(-\text{Ln}(P_{cob})) \quad (14)$$

Ejemplo: Cálculo del Margen de desvanecimiento Rayleigh con $P_{cob} = 99,9\%$ usando la ecuación (14).

$$M_{ss} = -10\text{Log}(-\text{Ln}(0,999))$$

$$M_{ss} = 10,4dB$$

La Tabla 23 muestra los resultados de los márgenes de desvanecimiento del desempeño del área de cobertura para la “primera red de interés”.

El Enlace Propuesto (*Budget Link*), el cual se define como el total de ganancias y pérdidas en un canal, se diseña para el terminal de usuario en un escenario suburbano usando equipos Ubiquiti como se indica en la Tabla 24 [45].

Tabla 23: Márgenes de desvanecimiento del área de cobertura

	Área Suburbana
Margen de desvanecimiento Log Normal [dB]	21
Margen de desvanecimiento Rayleigh [dB]	10,4
Margen de interferencia [dB]	3
Penetración en estructuras [dB]	20
Total [dB]	53,4

Tabla 24: Enlace propuesto para un escenario suburbano

	Usuario Indoor	Usuario Outdoor
Downlink		
Potencia de transmisión [dBm]	28	28
Ganancia TX [dB]	17	17
Pérdidas TX [dB]	2	2
EIRP [dBm]	43	43
Ganancia del sistema de antenas MIMO [dBm]	6	6
Margen de desvanecimiento Log Normal [dB]	21	21
Margen de desvanecimiento Rayleigh [dB]	10,4	10,4
Margen de Interferencia [dB]	3	3
Margen de pérdidas en cuerpo [dB]	20	0
Margen Total [dBm]	53,4	33,4
Sensibilidad [dBm]	-97	-97
Uplink		
Potencia de transmisión [dBm]	15	15
Ganancia [dB]	11	11
Pérdidas [dB]	1	1
EIRP [dBm]	16,5	16,5
Margen de desvanecimiento Log Normal [dB]	21	21
Margen de desvanecimiento Rayleigh [dB]	10,4	10,4
Margen de Interferencia [dB]	3	3
Margen de pérdidas en cuerpo [dB]	20	0
Margen Total [dBm]	53,4	33,4
Sensibilidad [dBm]	-97	-97

3.2.6. Cobertura

El radio de cobertura de la celda se calcula teniendo en cuenta: pérdidas de espacio libre, márgenes de desvanecimiento, propagación en espacio libre, penetración del

mercado, área objetivo y capacidad de usuarios por estación base [11].

3.2.6.1. Pérdidas en espacio libre

Este modelo de propagación es utilizado para determinar las pérdidas de potencia (PL) de la señal en función de la distancia (d_0) cuando existe una clara línea de vista entre el transmisor y el receptor, dichas pérdidas se calculan mediante la ecuación (15).

$$PL(d_0)[dB] = 32,44 + 20Log(d_0) + 20Log(f) \quad (15)$$

Donde: d_0 es la distancia [Km], la cual toma el valor 0,1 para el área suburbana y f es la frecuencia [MHz].

3.2.6.2. Pérdidas modelo log-distancia

Modelos de propagación tanto teóricos y matemáticos indican que la potencia media de la señal recibida decrece logarítmicamente a medida que la distancia aumenta, ya sea en ambientes de radio al aire libre o en interiores. El promedio a gran escala de la pérdida de señal a lo largo del trayecto para una separación arbitraria del transmisor y el receptor, se expresa como una función de la distancia mediante el uso de una pérdida de propagación exponencial, n [11]. Las pérdidas del modelo log-distancia están dadas por las ecuaciones (16) y (17).

$$PL(d)\alpha\left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (16)$$

$$PL(d)[dB] = PL(d_0) + 10nLog\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (17)$$

Donde d es el radio de la celda [Km] y n es una constante igual a 2,7 para áreas suburbanas.

3.2.6.3. Propagación en espacio libre

Para calcular la potencia de transmisión o recepción en el diseño de un enlace o una celda, se necesita cuantificar: ganancia de las antenas, pérdidas de propagación y márgenes de desvanecimiento como lo indica la ecuación (18) [45].

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_1 + G_2 - PL - M_{sh} - M_{ss} - L_p \quad (18)$$

Donde: P_{Rx} es la potencia de recepción [dBm], P_{Tx} es la potencia de transmisión [dBm], G_1 es la ganancia de la antena estación base [dB], G_2 la ganancia de la antena terminal de usuario [dB], PL las pérdidas de espacio libre [dB], M_{sh} el margen de desvanecimiento Log Normal [dB], M_{ss} el margen de desvanecimiento Rayleigh [dB] y L_p el margen de pérdidas en cuerpo [dB].

3.2.6.4. Interferencias co-canal

El rehúso de frecuencias implica que en un área de cobertura haya muchas estaciones base que utilizan las mismas frecuencias, lo que ocasiona una interferencia entre canales (interferencia co-canal). Esta interferencia se calcula por medio de la relación señal a interferencia (SIR) usando la ecuación (19), donde las potencias de la estación base y la celda interferente se miden en el extremo de la celda base debido a que en este punto la interferencia es mayor [11].

$$SIR = P_{base} - P_{interferente} \quad (19)$$

Donde: P_{base} corresponde a la potencia de la estación base y $P_{interferente}$ es la potencia de la celda interferente.

3.2.7. Capacidad de la red

La estación base se diseña con tres sectores lógicos, cada uno con una cobertura de 120° y una capacidad máxima de 30 usuarios, es decir 90 usuarios por celda.

La cantidad de estaciones base depende del número de usuarios a cubrir como lo indica la Tabla 18, si la cifra de usuarios sobrepasa la capacidad de la celda, se deben establecer más estaciones base que satisfagan la demanda.

En la Tabla 25 se indica el radio que se requiere en cada estación base para cubrir el área objetivo de cada municipio y la capacidad de usuarios; en la Figura 34 se muestra el radio de cobertura de cada celda.

Tabla 25: Cobertura y capacidad de estación base

Estación base	Radio [Km]	Área [Km^2]	Capacidad de usuarios
Ancuya	0,42	0,56	90
Linares	0,42	0,56	90
Samaniego	0,20	0,13	270
	0,20	0,13	
	0,23	0,17	
Sandoná	0,40	0,50	270
	0,40	0,50	
	0,45	0,64	
Total		3,18	720

Para establecer el radio de cada celda diseñada, se debe calcular la potencia de transmisión de cada estación base.

Ejemplo: Cálculo de potencia de transmisión para un radio de cobertura de $0,423Km$.

Empleando la ecuación (15) se calcula la pérdida en espacio libre con $d_0 = 0,1Km$ y $f = 2400MHz$.

$$PL(0,1)[dB] = 32,44 + 20Log(0,1) + 20Log(2400) = 80,04dB$$

Haciendo uso de la ecuación (17) se calcula la pérdida en espacio libre usando el modelo Log-distancia con $d = 0,423Km$.

$$PL(0,423)[dB] = 80,04 + 10(2,7)Log\left(\frac{0,42}{0,1}\right) = 96,95dB$$

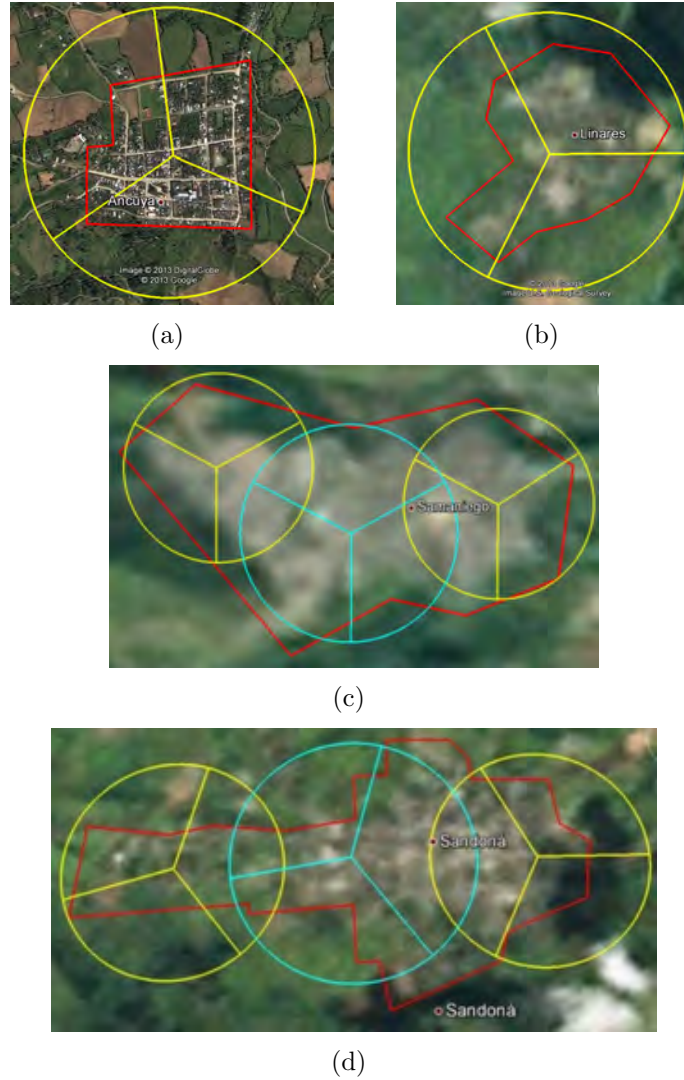


Figura 34: Cobertura de celdas en las cabeceras municipales de la “primera red de interés”. (a) Ancuya, (b) Linares, (c) Samaniego, (d) Sandoná.

y a través de la ecuación (18) se calcula la potencia de transmisión con $P_{RX} = -97dBm$, $G_1 = 17dBi$, $G_2 = 11dBi$, $PL = 96,95dB$, $M_{sh} = 21dB$, $M_{SS} = 10,4dB$ y $L_p = 20dB$.

$$P_{Tx} = -97dBm - 17dBi - 11dBi + 96,95dB + 21dB + 10,4dB + 20dB = 23,35dBm$$

Un resumen de la potencia de transmisión de cada estación base se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26: Potencias de transmisión

Estación base	Radio [Km]	P_{Tx} [dBm]
Ancuya	0,423	27,4
Linares	0,423	27,4
Samaniego	0,20	18,6
	0,20	18,6
	0,23	20,2
Sandoná	0,40	26,7
	0,40	26,7
	0,45	28,1

Debido a que para dar cobertura a Samaniego y Sandoná se requiere de 3 celdas y cada una de ellas emplea 3 canales, se presenta la interferencia co-canal mostrada en la Tabla 27.

Tabla 27: Interferencia co-canal

Municipio	canal	P_{base} [dBm]	$P_{interferente}$ [dBm]	SIR [dBm]
Samaniego	1	-97	-116,6	19,6
	2	-97	-118,6	21,6
	3	-97	-116,1	19,1
Sandoná	1	-97	-116,7	19,7
	2	-97	-115,8	18,8
	3	-97	-115,9	18,9

El número de estaciones base, sectores lógicos y enlaces punto a punto se indican en las Tablas 28 y 29.

Tabla 28: Número estaciones base y sectores lógicos

Estaciones base	Número
Requeridas	8
Sectores lógicos	24

Tabla 29: Número de radioenlaces

Radio enlaces	Número
Requeridos	12

3.3. *Análisis económico y financiero*

3.3.1. Personal

Por estructura organizacional se entiende la capacidad de una organización de dividir el trabajo y asignar funciones y responsabilidades a personas o grupos de la organización. En este caso, una empresa para ofrecer internet a los lugares de la organización. En este caso, una empresa para ofrecer internet a los lugares de la “primera red de interés”, sólo necesita de una estructura organizacional básica ya que para administrar la red no se requiere demasiados cargos y responsabilidades. El personal requerido que integra la empresa se muestra en la Tabla 30 [46].

Tabla 30: Estructura organizacional

	Número
Administrador	1
Ingeniero Electrónico	1
Técnico	2

- Administrador: Se encarga de la dirección de la empresa, el cual tiene entre sus múltiples funciones: representar la compañía, coordinar, organizar, dirigir y controlar los recursos humanos, financieros, materiales y tecnológicos; además, toma las decisiones en cuanto a modificaciones y estrategias de negocios con el fin de obtener el máximo beneficio posible [47].
- Ingeniero Electrónico: Se encarga de la operación de la red, realizar las labores de gestión, coordinar y asignar tareas al personal técnico, con el propósito de mantener el buen desempeño de la red inalámbrica para ofrecer alta calidad del servicio.
- Técnico: Se encarga del montaje, operación, y mantenimiento periódico a la infraestructura de la red inalámbrica.

El salario que devenga el personal de la red se indica en la Tabla 31.

Tabla 31: Salario del personal.

	Salario [smmlv]
Administrador	4
Ingeniero Electrónico	4
Técnico	2

3.3.2. CAPEX

Entre los gastos de puesta en marcha y despliegue de una red WLAN se encuentran: costos de infraestructura e instalación, sistema de equipos de la red (estación base, enlaces punto a punto y terminales de usuario), los cuales se indican en las Tablas 32 a 35.

Tabla 32: CAPEX enlace P2P.

Equipos	Valor (\$)
2 AP Ubiquiti Rocket M5	414.000
2 antenas Ubiquiti RD-5G30	900.000
2 Torres de 10m	4'000.000
Obras civiles	2'000.000
Protecciones y Tierra	800.000
Accesorios*	150.000
Total	8'264.000

* Entre los accesorios se encuentra: Mástil, cable de red UTP RJ45 cat 5, conectores, etc.

Tabla 33: CAPEX estación base.

Equipos	Valor (\$)
3 Ap Ubiquiti Rocket M2	621.000
3 Antenas Ubiquiti AM-2G15-120	1'140.000
Swich TP-Link TL-SG5428WEB	680.000
Accesorios*	200.000
Total	2'641.000

* Entre los accesorios se encuentra: Mástil, cable de red UTP RJ45 cat5, conectores, etc.

Tabla 34: CAPEX terminal de usuario.

Equipos	Valor (\$)
Nanoestación Ubiquiti Loco M2	132.000
Accesorios	30.000
Total	162.000

Tabla 35: CAPEX red completa.

Número	CAPEX	Valor (\$)
8	Estación base	21'128.000
12	Enlace P2P	60'112.000
260	Terminal de usuario	42'120.000
	Instalación y puesta en marcha*	23'580.000
	Total	146'940.000

* Corresponde al sueldo del personal de la red, de 4 meses, tiempo necesario para instalar y poner en marcha la red inalámbrica.

3.3.3. OPEX

Con el fin de prever los gastos operacionales del proyecto, se calculan todos los costos OPEX como lo son: conectividad de banda ancha, mantenimiento del sistema (estación base, enlaces punto a punto, terminales de usuario), mano de obra, gestión de la red, etc. Los cuales se muestran en las Tablas 36 a 38.

Tabla 36: OPEX estación base.

	Valor anual (\$)
Arriendo del lugar	840.000
Servicios públicos	385.600
Transporte del personal*	180.000
Repuestos**	100.000
Total	1'505.600

* Un ingeniero y dos técnicos.
 ** Los repuestos se asumen como la reposición de AP, antena sectorial y cable de red, asumiendo que sólo el 8,3 % de los APs y el 4,17 % de las antenas sectoriales se deben cambiar.

El servicio de Internet que se contrata para la “primera red de interés” debe ser:

Tabla 37: OPEX enlace P2P.

	Valor anual (\$)
Arriendo del lugar	840.000
Servicios públicos	105.600
Transporte del personal*	180.000
Repuestos**	80.000
Total	1'205.600

* Un ingeniero y dos técnicos.

** Los repuestos se asumen como la reposición de AP, antena sectorial y cable de red, asumiendo que sólo el 8,3% de los APs y el 4,17% de las antenas sectoriales se deben cambiar.

Tabla 38: OPEX Terminal de usuario.

	Valor anual (\$)
Transporte del personal*	20.000
Repuestos**	140.000
Total	160.000

* Un técnico.

** Los repuestos consideran como la reposición de nanoestación y cable de red.

dedicado, de banda ancha y con fibra óptica; ya que se necesita contar con un ancho de banda garantizado para tener una red eficiente, confiable y segura.

La velocidad del servicio que se contrata depende del número de usuarios que tenga la red (ver Tabla 18) y del factor de rehúso, el cual se toma de 1 a 10 (1:10) como se indica el siguiente ejemplo.

Ejemplo: Si se tiene una red con 261 usuarios y cada uno de éstos debe tener una conexión a Internet de 1Mbps, se necesita contar con 261Mbps para satisfacer la demanda. Debido a que no es posible contar con los 261Mbps, es necesario utilizar el factor de rehúso de 1:10, siendo preciso contratar sólo una conexión de 26Mbps.

En la Tabla 39 se indica el OPEX anual del servicio de Internet contratado al operador en un periodo de 5 años.

Tabla 39: OPEX servicio de operador de Internet.

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
Velocidad [Mbps]	30	30	40	40	50
Costo [\$]	4'626.000	4'756.916	6'342.554	6'522.049	7'840.916

En la Tabla 40 se muestra el OPEX anual de la red completa.

Tabla 40: OPEX red completa.

Número	OPEX	Valor anual (\$)
8	Estación base	12'044.800
12	Enlace P2P	14'467.200
10	Terminal de usuario*	1'600.000
1	Operador de Internet	4'626.000
	Salario del personal	70'740.000
	Total	103'478.000

* Se considera que sólo se realiza el mantenimiento al 3,83 % de usuarios.

3.3.4. Depreciación de la red

La depreciación se refiere al desgaste de los equipos de la red e implica que los equipos pierden valor con el tiempo, de tal modo que se debe restar el valor del desgaste a la infraestructura. Tiene como objetivo reconocer el deterioro sufrido por el uso que la empresa hace de éstos para poder generar ingresos.

El método de la línea recta es el método mas sencillo para calcular la depreciación de activos y consiste en dividir el valor del activo entre la vida útil del mismo.

En la Tabla 41 se indica la depreciación de la “primera red de interés” considerando que la vida útil de la red es de 8 años.

Tabla 41: Depreciación de la red.

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
Estación Base [\$]	2'641.000	2'310.875	1'980.750	1'650.625	1'320.500
Enlace P2P [\$]	8'264.000	7'231.000	6'198.000	5'165.000	4'132.000
Terminal de usuario [\$]	162.000	141.750	121.500	101.250	81.000

3.3.5. Rentabilidad

Un negocio se considera rentable cuando el periodo de recuperación es menor a la vida económica del mismo, el valor presente neto del negocio es positivo y la tasa interna de rendimiento es mayor a la tasa de oportunidad [49].

El análisis de los anteriores factores se realiza para un periodo de 5 años empleando dos estrategias de precios, una maneja un precio de venta del servicio de Internet similar al de la competencia (\$43.000) y la otra uno menor (\$35.000). El flujo de costos para dichas estrategias de mercado se muestran en las Tablas 42 a 44.

Tabla 42: Flujo de costos con precio de ventana de \$43.000.

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
No. Usuarios	261	313	365	417	469
Ingresos [\$]	134'676.000	166'075.296	199'145.460	233'952.012	270'571.728
CAPEX [\$]	146'940.000	14'009.559	14'406.030	14'813.720	15'232.949
OPEX [\$]	103'478.000	106'406.427	110'868.747	114'006.333	118'367.005
Ganancia [\$]	31'198.000	45'659.310	73'870.683	105'131.959	136'971.774
Ganancia acumulada [\$]	31'198.000	76'857.310	150'727.993	255'859.952	392'831.726

Tabla 43: Flujo de costos con un precio de venta de \$35.000.

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
No. Usuarios	261	313	365	417	469
Ingresos[\$]	109'620.000	135'180.318	162'099.556	190'434.159	220'242.677
CAPEX [\$]	146'940.000	14'009.559	14'406.030	14'813.720	15'232.949
OPEX [\$]	103'478.000	106'406.427	110'868.747	114'006.333	118'367.005
Ganancia [\$]	6'142.000	14'764.332	36'824.779	61'614.106	86'642.723
Ganancia acumulada [\$]	6'142.000	20'906.332	57'731.111	119'345.217	205'987.940

Tabla 44: Flujo de costos totales de la “primera red de interés”.

	Opcion 1*	Opcion 2**
No. Usuarios	469	469
Ingresos [\$]	1.004'420.496	817'576.710
CAPEX	205'402.258	205'402.258
OPEX	553'126.512	553'126.512
Ganancia [\$]	392'831.726	205'987.940
Ganancia Neta [\$]	245'891.726	59'047.940

* Maneja un precio de servicio de Internet similar al de la competencia (\$43.000).
** El precio del servicio de Internet es menor al de la competencia (\$35.000).

El periodo de recuperación de la inversión también se analiza si la penetración del mercado es menor a la esperada, teniendo en cuenta el flujo de costos de la Tabla 45.

Tabla 45: Flujo de costos con un precio de venta de \$43.000, con penetración en el mercado menor a la esperada.

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
No. Usuarios	209	236	263	290	317
Ingresos[\$]	107'844.000	125'219.712	143'493.852	162'700.440	182'881.104
CAPEX [\$]	146'940.000	7'274.194	7'480.054	7'691.739	7'909.416
OPEX [\$]	103'478.000	106'406.427	110'868.747	114'006.333	118'367.005
Ganancia [\$]	4'366.000	18'813.285	32'625.105	48'694.107	64'514.099
Ganancia acumulada [\$]	4'366.000	23'179.285	55'804.390	104'498.497	169'012.596

3.3.6. Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Determina en cuánto tiempo se recupera la inversión, es decir, predice la fecha en la cual se cubre la inversión inicial. Para calcular el PRI en años se utiliza la ecuación (20) [50].

$$PRI = a + \left(\frac{b - c}{d}\right) \quad (20)$$

Donde: a es el año inmediatamente anterior en que se recupera la inversión, b es la

inversión inicial, c es el flujo de efectivo acumulado del año inmediatamente anterior en el que se recupera la inversión y d es el flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión.

Cálculo de PRI de la Tabla 42 usando la ecuación (20):

$$PRI = 2 + \left(\frac{146'940,000 - 76'857,310}{150'727,993} \right) = 2,46$$

Si el precio al que se vende el servicio de Internet es de \$43.000, se recuperará la inversión en un periodo de 2,46 años o 30 meses y la ganancia neta en 5 años será de \$245'891.726.

Cálculo de PRI de la Tabla 43 aplicando la ecuación (20):

$$PRI = 4 + \left(\frac{146'940,000 - 119'345,217}{205'987,940} \right) = 4,13$$

Si el precio al que se vende el servicio de Internet es de \$35.000, la inversión se recupera en un periodo de 4,13 años o 50 meses, tiempo durante el cual se obtiene una ganancia neta de \$59'047.940.

Cálculo de PRI de la Tabla 45 usando la ecuación (20).

$$PRI = 4 + \left(\frac{146'940,000 - 104'498,497}{64'514,099} \right) = 4,66$$

Si el precio al que se vende el servicio de Internet es de \$43.000, la inversión se recuperará en un periodo de 4,46 años o 54 meses y la ganancia neta en 5 años será de \$-8'282.807. Debido a que se obtiene una ganancia negativa esto representa

una pérdida de capital y fracaso del proyecto, siendo necesario replantear el proyecto para un periodo superior a 5 años, con el fin de obtener ganancias positivas.

El hecho de que la cantidad de usuarios sea menor al de la penetración de mercado objetivo en un periodo de 5 años, hace que el proyecto no tenga una rentabilidad adecuada para el inversionista; por lo que se debe realizar estrategias de mercadeo para alcanzar la penetración de mercado prevista y que el proyecto tenga éxito.

3.3.7. Valor presente neto (VPN)

El VPN mide la rentabilidad del proyecto en valores monetarios que exceden a la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inversión. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

Si el VPN es mayor a cero, la inversión produce ganancias por encima de la rentabilidad exigida; si VPN es igual a cero, no se presentan ni ganancias ni pérdidas; y si VPN es menor a cero, muestra que la inversión producirá pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida. Para calcular este parámetro de rentabilidad se usa la ecuación (21) [50].

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{F_n}{(1+i)^t} - I_0 \quad (21)$$

Donde: F_n representa los flujos netos de cada periodo, i es la tasa de oportunidad del inversionista (definida como la tasa de interés de la inversión de los recursos disponibles en la mejor alternativa de negocio), I_0 es el valor del desembolso inicial de la inversión y n es el número de periodos considerado.

A continuación, usando la ecuación (21) y teniendo en cuenta el flujo de costos (ver Tablas 42 y 43), se calcula el VPN de la “primera red de interés” (Tablas 46 y

47) con una tasa de oportunidad del 10% para un periodo de 5 años.

Tabla 46: VPN del flujo de costos de la Tabla 42.

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
VPN	-118'578.182	-80'843.215	-25'343.077	46'463.465	131'512.160

Tabla 47: VPN del flujo de costos de la Tabla 43.

	año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
VPN	-141'356.364	-129'154.436	-101'487.435	-59'404.171	-5'605.857

La Tabla 46 indica que el proyecto tiene una ganancia de \$131'512.160 por encima de la rentabilidad exigida, el cual es un valor que garantiza el éxito del proyecto por sus considerables ganancias.

La tabla 47 indica que el proyecto tiene una ganancia de \$5'605.857 por debajo de la rentabilidad exigida. El manejar un precio inferior al de la competencia implica tener ganancias no tan considerables como se quisiera. En este caso, si el precio de venta del servicio de internet es de \$35.000, se obtienen ganancias menores a la tasa de oportunidad.

3.3.8. Tasa interna de retorno (TIR)

Se define como la tasa de interés que hace que el VPN sea igual a cero o como la tasa de interés que iguala el valor presente de los flujos menos la inversión. Es decir la TIR es la máxima tasa de interés que el inversionista está dispuesto a ganar en el negocio [50].

Si en el proyecto la TIR es mayor o igual a la tasa de oportunidad, el proyecto se puede aceptar; mientras que si la TIR es menor a la de oportunidad, el proyecto es menos rentable que la mejor alternativa de negocio planteado [50].

Para calcular la TIR se usa la ecuación (22).

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{F_n}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (22)$$

Donde: F_n representa los flujos netos de cada periodo, I_o es el valor del desembolso inicial de la inversión y n es el número de periodos considerado.

Usando la ecuación (21) se calcula la TIR de la “primera red de interés” teniendo en cuenta el flujo de costos de las Tablas 42 y 43.

$$0 = \frac{31'198,000}{(1 + TIR_1)^1} + \frac{45'659,310}{(1 + TIR_1)^2} + \frac{73'870,683}{(1 + TIR_1)^3} + \frac{105'131,959}{(1 + TIR_1)^4} + \frac{136'971,774}{(1 + TIR_1)^5} - 146'940,000$$

$$TIR_1 = 33 \%$$

El anterior resultado indica que la tasa máxima de rentabilidad del proyecto es del 33 %, el cual es un porcentaje considerable de ganancias si el precio al que se vende el servicio de Internet es similar al de la competencia.

$$0 = \frac{6,142,000}{(1 + TIR_2)^1} + \frac{14,764,332}{(1 + TIR_2)^2} + \frac{36,824,779}{(1 + TIR_2)^3} + \frac{61,614,106}{(1 + TIR_2)^4} + \frac{86,642,723}{(1 + TIR_2)^5} - 146,940,000$$

$$TIR_2 = 8,9 \%$$

Si el precio al que se vende el Internet es de \$35.000, la TIR obtenida es del 8,9 %, la cual está un 1,1 % por debajo de la tasa de oportunidad exigida, obteniéndose ganancias por debajo de las requeridas. Una solución para alcanzar un margen de rentabilidad igual al de la tasa de oportunidad del 10 %, es incrementar el precio de venta en tan sólo \$100.

Conclusiones

- Se esperaba que los mejores resultados iban a ser provenientes de algoritmos genéticos, ya que éstos son los más estudiados desde la década de los 80' y han sido aplicados en diversos escenarios; sin embargo, poseen una gran dificultad de implementación debido a la cantidad de parámetros configurables que tiene. Dicha situación dió cabida a la utilización de otros métodos metaheurísticos, donde búsqueda de patrones fue la mejor opción, ya que brinda muy buenos resultados con un menor número de iteraciones con respecto a los comparados (algoritmos genéticos y simulated annealing).
- Los resultados del programa diseñado son provenientes de la aplicación de búsqueda de patrones, donde se obtuvieron varias opciones para la ubicación de los repetidores, dichas opciones representan una no repetitividad en el algoritmo implementado. Esta situación representa algo opuesto a lo esperado, ya que PS necesita de un punto inicial y debe obedecer al mismo patrón de contracción y expansión en cada iteración. Dicha aleatoriedad es proveniente de la aplicación de otro modelo metaheurístico que puede ser usado en Matlab, el cual es un método de búsqueda opcional que el algoritmo puede realizar en cada iteración antes de realizar la encuesta (polling).
- El programa de optimización desarrollado en el capítulo 1 brinda muy buenos resultados, los lugares elegidos para las pruebas del algoritmo poseen una gran dificultad de diseño, debido a que se encuentran en territorios altamente montañosos.
- En las simulaciones de tráfico TCP, al aumentar el número de usuarios, se presenta una saturación de la red ocasionando que varios usuarios se quedan sin conexión, lo cual no es tan drástico en la realidad, ya que todos los usuarios no

descargan información de forma simultanea.

- El porcentaje de pérdida de paquetes usando una aplicación FTP se mantiene constante a partir del punto en el cual comienzan a presentarse las desconexiones, cosa que no ocurre con la aplicación On/Off con la distribución de Pareto debido a que la primera aplicación envía tráfico de forma continua y la segunda lo hace por ráfagas.
- Los valores de retardo obtenidos de las simulaciones son bastante bajos, esto se debe a que las redes propuestas están diseñadas de forma óptima reduciendo el número de enlaces necesarios para interconectar los diferentes lugares.
- El uso de redes inalámbricas WiFi resulta ser el método más económico para ofrecer Internet banda ancha en áreas rurales en comparación con tecnologías cableadas y de fibra óptica.
- La falta de penetración del servicio de internet en los municipios que conforman la “primera red de interés” hace viable que los modelos de negocio dedicados a ofrecer planes de servicio de Internet de banda ancha tengan éxito, ofreciendo grandes márgenes de rentabilidad a mediano plazo, si se logra alcanzar la tasa de penetración del 5 % y un incremento anual del 1 % de la demanda calculada por medio de las encuestas.
- La “primera red de interés” también puede plantearse como un modelo de negocio auto sostenible que no genere ganancias ni pérdidas, para el cual sólo es necesario correr con los gastos operativos de la red. Esta idea de negocio es realizable si entidades gubernamentales financian la instalación y puesta en marcha de la red.

Recomendaciones

- En el lenguaje de Matlab es necesario evitar programaciones que contengan varios ciclos “for” anidados o que éstos tengan un número muy alto de repeticiones, ya que se añade tiempo de ejecución innecesario, produciendo un programa poco óptimo.
- Los tiempos de ejecución de los algoritmos de optimización son de suma importancia, dado que al ejecutarlos en el programa global éste podría tardar de varios minutos a varios días e incluso semanas. Calibrar estos algoritmos con escenarios que tengan una dificultad considerable de convergencia es una buena opción, de éste modo se tendría un algoritmo que resolvería de mejor manera problemas menos complejos.
- Las trazas obtenidas de los simuladores de red tienen datos de paquetes perdidos, para los cuales se tiene el tiempo de salida desde el origen, pero no el tiempo de llegada a su destino, razón por la cual no se deben tener en cuenta al momento de realizar los cálculos de algunos parámetros de desempeño de una red como Retardo y Jitter.
- En el lenguaje de Matlab es necesario evitar programaciones que contengan varios ciclos “for” anidados o que éstos tengan un número muy alto de repeticiones, ya que se añade tiempo de ejecución innecesario, produciendo un programa poco óptimo.
- Los tiempos de ejecución de los algoritmos de optimización son de suma importancia, dado que al ejecutarlos en el programa global éste podría tardar de varios minutos a varios días e incluso semanas. Calibrar estos algoritmos con escenarios que tengan una dificultad considerable de convergencia es una buena

opción, de éste modo se tendrá un algoritmo que resolverá de mejor manera problemas menos complejos.

- Las trazas obtenidas de los simuladores de red tienen datos de paquetes perdidos, para los cuales se tiene el tiempo de salida desde el origen, pero no el tiempo de llegada a su destino, razón por la cual no se deben tener en cuenta al momento de realizar los cálculos de algunos parámetros de desempeño de una red como Retardo y Jitter.

ANEXO A

CÓDIGOS: CREADOR ÓPTIMO DE TOPOLOGÍAS USANDO RADIOENLACES PARA TERRENOS MONTAÑOSOS

Código buscarindice: encuentra la coordenada ingresada dentro de la base de datos que se encuentre añadida en forma de vector.

```
function indice = buscarindice (punto, vector)
punto = roundn(punto, -4);
vector = roundn(vector, -4);
indice = find(vector == punto);
if isempty (indice) % En caso de que no encuentre el punto que buscaba
    indice = find(vector == punto+0.0001);
end
if isempty (indice)
    indice = find(vector == punto-0.0001);
end
if isempty(indice)
    indice=find(vector==punto+0.0002);
end
if isempty(indice)
    indice=find(vector==punto-0.0002);
end
if ~isempty(indice) % Si no está vacía que tome solo el primer valor
    indice=indice(1);
end
```

Código extraerdatos: realiza un corte del mapa en forma rectangular de la base de datos que se tenga.

```
function [XI, YI, ZI] = extraerdatos(lat1, lon1, lat2, lon2, interp)
% [XI, YI, ZI] = extraerdatos(1.2877, -77.4059, 1.1494, -77.3639, 20); % Volcán
load MAPA;
lat1 = roundn(lat1, -4); % Aproxima a 4 decimales
lat2 = roundn(lat2, -4);
lon1 = roundn(lon1, -4);
lon2 = roundn(lon2, -4);
% Con los puntos se procede a extraer el mapa
ilat1 = buscarindice(lat1, LATITUD);
ilat2 = buscarindice(lat2, LATITUD);
ilon1 = buscarindice(lon1, LONGITUD);
ilon2 = buscarindice(lon2, LONGITUD);
mapa = MAPA(ilat1:ilat2, ilon1:ilon2);
x = LONGITUD(ilon1:ilon2);
y = LATITUD(ilat1:ilat2);
% Interpolación
ax = x(1);
bx = x(end);
res = 30/interp;
nx = length(x)*res;
ny = length(y)*res;
ay = y(1);
by = y(end);
XI = linspace(ax,bx,nx);
YI = linspace(ay,by,ny)';
if length(YI)*length(XI) > 2900000
    warndlg('El numero de puntos excede lo permitido')
    return;
end
ZI = interp2(x, y, mapa, XI, YI);
```

Código criteriolineavista: realiza el criterio de línea de vista entre dos puntos. Retorna: el perfil de elevación en dos y tres dimensiones, la zona Fresnel más la recta trazada en los extremos para poder ser graficada más adelante y las torres necesarias a los extremos.

```

function [matrizperfil, matrizperfil2d, torresnecesarias, zlinea, zfresnel] = criteriolineavista(x, y, z, p1, p2, frec)
if p1(1) == p2(1)
    if p1(1) < length(x)
        p1(1) = p1(1)+1;
    else
        p1(1) = p1(1)-1;
    end
end

% Encontrar la diagonal del perfil
m = (p1(2)-p2(2))/(p1(1)-p2(1));
b = p1(2)-m*p1(1);
np = round(abs((p2-p1)))+1;

% Copias para diferenciar que punto es mayor
p11 = p1;
p22 = p2;
invertido = 0;
if np(1) > np(2) % Entonces recorrido por X
    if p1(1) > p2(1)
        p2 = p11;
        p1 = p22;
        invertido = 1;
    end

    xvector = linspace(p1(1),p2(1),np(1));
    yvector = round(m*xvector+b);
else % Sino recorrido por Y
    if p1(2) > p2(2)
        p2 = p11;
        p1 = p22;
        invertido = 1;
    end

    yvector = linspace(p1(2), p2(2), np(2));
    xvector = round((yvector-b)/m);
end

% Buscando las alturas
for k=1:length(xvector)
    zbuscado(k,:) = [z(yvector(k), xvector(k))];

```

```

end
matrizperfil = [xvector yvector zbuscado];
% Perfil encontrado
matrizperfil2d = [linspace(1, length(matrizperfil(:, 1)), length(matrizperfil(:, 1)))' matrizperfil(:, 3)];
% Buscando opciones de línea de vista
capa = 0;
landa = 299.792458/frec; % Frec. en MHz
opciones = [ ];
% Para encontrar las alturas adecuadas por encima de la curva del perfil for metros1 = 10:25
for metros2 = 10:25
    pvista1 = [matrizperfil2d(1, :)];
    pvista2 = [matrizperfil2d(end, :)];
    pvista1(2) = pvista1(2)+metros1;
    pvista2(2) = pvista2(2)+metros2;
    mvista = (pvista1(2)-pvista2(2))/(pvista1(1)-pvista2(1));
    bvista = pvista1(2)-mvista*pvista1(1);
    yvista = mvista*matrizperfil2d(:,1)+bvista;
    % Zona fresnel
    d1 = linspace(1, length(matrizperfil2d(:, 1)), length(matrizperfil2d(:, 1)))';
    d2 = linspace(length(matrizperfil2d(:, 1)), 1, length(matrizperfil2d(:, 1)))';
    r = sqrt(landa*d1.*d2./(d1+d2));
    yfresnel = yvista-r;
    lvista = [matrizperfil2d(:, 1), yvista, yfresnel];
    % Criterio de línea de vista
    cLOS=find((yfresnel-matrizperfil2d(:,2)) <= 0);
    if isempty(cLOS) % Hay línea de vista
        capa = capa+1;
        opciones = [opciones; metros1, metros2];
        lvistaopciones(:, :, capa) = lvista;
    end
end
end
if capa == 0 % No hay línea de vista
    torresnecesarias = [200000, 200000, 400000];
    zlinea = [ ];
    zfresnel = [ ];
else
    % Criterio de selección de las opciones
La suma de las alturas de las torres necesarias mínima
(esto tiene un problema: 2 3 sería mejor que 5 0)
    sumatorres = opciones(:, 1)+opciones(:, 2);

```

```
minsumatorres = min(sumatorres);
op = find(sumatorres == minsumatorres);
if invertido == 0;
    torresnecesarias = [opciones(op(1), :) minsumatorres];
else
    torresnecesarias = [opciones(op(1), 2) opciones(op(1), 1) minsumatorres];
end
zlinea = lvistaopciones(:, 2, op(1));
zfresnel = lvistaopciones(:, 3, op(1));
end
```

Código de combinaciones: encuentra las combinaciones posibles entre los nodos que se añadan en el programa. Esta función soporta combinaciones de 3 a 6 nodos. Se entiende que a medida que aumentan los nodos existan más combinaciones posibles lo que causa que el gasto computacional aumente notoriamente (para el caso de 5 y 6 nodos dependiendo del área geográfica el programa puede tardar varios días).

```

function [combinaciones] = combinaciones(puntos)
np = length(puntos(:, 1));
switch np
  case 3 % PARA TRES NODOS
    p1 = puntos(1, :);
    p2 = puntos(2, :);
    p3 = puntos(3, :);
    A = [];
    B = [];
    for k=1:3
      for kk=1:3
        if kk ~= k
          a = bitset(uint8(0), k); % Realiza cambios de bit según la posición k
          a = bitset(a, kk);
          buscar = find(B==a);
          if isempty(buscar)
            B = [B; a];
            A = [A; k kk];
          end
        end
      end
    end
    j = 0;
    B = [];
    for k=1:length(A(:, 1))
      M = zeros(3);
      for kk=1:length(A(1,:))
        switch A(k, kk)
          case 1
            M(2) = 1;
            M(4) = 1;
          case 2
            M(3) = 1;
            M(7) = 1;
          case 3

```

```

        M(6) = 1;
        M(8) = 1;
    end
end
suma = sum(M);
buscar = find(suma==0);
if isempty(buscar) % Si no hay ceros es topología árbol
    B = [B; A(k, :)];
    J = j+1;
    matriztop(:, :, j) = M;
end
end
for k=1:length(B(:,1))
    m = [];
    for kk=1:length(B(1, :))
        switch B(k, kk)
            case 1
                m = [m; p1 p2];
            case 2
                m = [m; p1 p3];
            case 3
                m = [m; p2 p3];
        end
    end
    combinaciones(:, :, k) = m;
end
case 4 % PARA CUATRO NODOS
    p1 = puntos(1, :);
    p2 = puntos(2, :);
    p3 = puntos(3, :);
    p4 = puntos(4, :);
    A = [];
    B = [];
    for k=1:6
        for kk=1:6
            if kk~=k
                for kkk=1:6
                    if (kkk~=kk) && (kkk~=k)
                        a = bitset(uint8(0), k); % Realiza cambios de bit según la posición k
                        a = bitset(a, kk);
                        a = bitset(a, kkk);
                    end
                end
            end
        end
    end
end

```

```

        buscar = find(B==a);
        if isempty(buscar)
            B = [B; a];
            A = [A; k kk kkk];
        end
    end
end
end
end
end
j = 0;
B = [];
for k=1:length(A(:, 1))
    M = zeros(4);
    for kk=1:length(A(1, :))
        switch A(k, kk)
            case 1
                M(2) = 1;
                M(5) = 1;
            case 2
                M(3) = 1;
                M(9) = 1;
            case 3
                M(4) = 1;
                M(13) = 1;
            case 4
                M(7) = 1;
                M(10) = 1;
            case 5
                M(8) = 1;
                M(14) = 1;
            case 6
                M(12) = 1;
                M(15) = 1;
        end
    end
end
suma = sum(M);
buscar = find(suma==0);
if isempty(buscar) % Si no hay ceros es topología árbol
    B = [B; A(k, :)];
    j = j+1;
end
end
end
end
end
end

```



```

        matriztop(:, :, j) = M;
    end
end
for k=1:length(B(:, 1))
    m = [];
    for kk=1:length(B(1, :))
        switch B(k, kk)
            case 1
                m = [m; p1 p2];
            case 2
                m = [m; p1 p3];
            case 3
                m = [m; p1 p4];
            case 4
                m = [m; p2 p3];
            case 5
                m = [m; p2 p4];
            case 6
                m = [m; p3 p4];
        end
    end
    combinaciones(:, :, k) = m;
end
case 5 % PARA CINCO NODOS
    p1 = puntos(1, :);
    p2 = puntos(2, :);
    p3 = puntos(3, :);
    p4 = puntos(4, :);
    p5 = puntos(5, :);
    A = [];
    B = [];
    for k=1:10
        for kk=1:10
            if kk~=k
                for kkk=1:10
                    if (kkk~=kk) && (kkk~=k)
                        for kkkk=1:10
                            if (kkkk~=k) && (kkkk~=kk) && (kkkk~=kkk)
                                a = bitset(uint32(0), k); % Realiza cambios de bit según la posición k
                                a = bitset(a, kk);
                                a = bitset(a, kkk);
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end

```



```

        M(14) = 1;
        M(18) = 1;
    case 9
        M(15) = 1;
        M(23) = 1;
    case 10
        M(20) = 1;
        M(24) = 1;
    end
end
suma = sum(M);
buscar = find(suma==0);
if isempty(buscar) % Si no hay ceros es topología árbol
    B = [B; A(k, :)];
    j = j+1;
    matriztop(:, :, j) = M;
end
end
for k=1:length(B(:, 1))
    m = [];
    for kk=1:length(B(1, :))
        switch B(k, kk)
            case 1
                m = [m; p1 p2];
            case 2
                m = [m; p1 p3];
            case 3
                m = [m; p1 p4];
            case 4
                m = [m; p1 p5];
            case 5
                m = [m; p2 p3];
            case 6
                m = [m; p2 p4];
            case 7
                m = [m; p2 p5];
            case 8
                m = [m; p3 p4];
            case 9
                m = [m; p3 p5];
            case 10

```

```

        m = [m; p4 p5];
    end
end
combinaciones(:, :, k) = m;
end
case 6 % PARA SEIS NODOS
    p1 = puntos(1, :);
    p2 = puntos(2, :);
    p3 = puntos(3, :);
    p4 = puntos(4, :);
    p5 = puntos(5, :);
    p6 = puntos(6, :);
    A = [];
    B = [];
    for k=1:15
        for kk=1:15
            if kk~=k
                for kkk=1:15
                    if (kkk~=kk) && (kkk~=k)
                        for kkkk=1:15
                            if (kkkk~=k) && (kkkk~=kk) && (kkkk~=kkk)
                                for kkkkk=1:15
                                    if (kkkkk~=k) && (kkkkk~=kk) && (kkkkk~=kkk) && (kkkkk~=kkkk)
                                        a = bitset(uint32(0), k); % Realiza cambios de bit según la posición
                                        if
                                            k
                                        a = bitset(a, kk);
                                        a = bitset(a, kkk);
                                        a = bitset(a, kkkk);
                                        a = bitset(a, kkkkk);
                                        buscar = find(B==a);
                                        if isempty(buscar)
                                            B = [B; a];
                                            A = [A; k kk kkk kkkk kkkkk];
                                        end
                                    end
                                end
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end

```

```

    end
end
j = 0;
B = [];
for k=1:length(A(:, 1))
    M = zeros(6);
    for kk=1:length(A(1, :))
        switch A(k, kk)
            case 1
                M(2) = 1;
                M(7) = 1;
            case 2
                M(3) = 1;
                M(13) = 1;
            case 3
                M(4) = 1;
                M(19) = 1;
            case 4
                M(5) = 1;
                M(25) = 1;
            case 5
                M(6) = 1;
                M(31) = 1;
            case 6
                M(9) = 1;
                M(14) = 1;
            case 7
                M(10) = 1;
                M(20) = 1;
            case 8
                M(11) = 1;
                M(26) = 1;
            case 9
                M(12) = 1;
                M(32) = 1;
            case 10
                M(16) = 1;
                M(21) = 1;
            case 11
                M(17) = 1;
                M(27) = 1;

```

```

    case 12
        M(18) = 1;
        M(33) = 1;
    case 13
        M(23) = 1;
        M(28) = 1;
    case 14
        M(24) = 1;
        M(34) = 1;
    case 15
        M(30) = 1;
        M(35) = 1;
    end
end
suma = sum(M);
buscar = find(suma==0);
if isempty(buscar) % Si no hay ceros es topología árbol
    B = [B; A(k, :)];
    j = j+1;
    matriztop(:, :, j) = M;
end
end
for k=1:length(B(:, 1))
    m = [ ];
    for kk=1:length(B(1, :))
        switch B(k, kk)
            case 1
                m = [m; p1 p2];
            case 2
                m = [m; p1 p3];
            case 3
                m = [m; p1 p4];
            case 4
                m = [m; p1 p5];
            case 5
                m = [m; p1 p6];
            case 6
                m = [m; p2 p3];
            case 7
                m = [m; p2 p4];
            case 8

```

```
        m = [m; p2 p5];
    case 9
        m = [m; p2 p6];
    case 10
        m = [m; p3 p4];
    case 11
        m = [m; p3 p5];
    case 12
        m = [m; p3 p6];
    case 13
        m = [m; p4 p5];
    case 14
        m = [m; p4 p6];
    case 15
        m = [m; p5 p6];
    end
end
combinaciones(:, :, k) = m;
end
end
```

Código SABuscarRepetidores: Es una función que busca repetidores a través de la metaheurística aplicada Simulated Annealing.

```

function [pr] = SABuscarRepetidores(p1, p2, frec)
load DATOS
% Mandando datos a la función objetivo
fid1 = fopen('mandodatos.m', 'w');
fprintf(fid1, 'function [p1, p2, frec] = mandodatos\n\n');
fprintf(fid1, 'p1=['];
fprintf(fid1, '%d ', p1);
fprintf(fid1, '];\n');
fprintf(fid1, 'p2=['];
fprintf(fid1, '%d', p2);
fprintf(fid1, '];\n');
fprintf(fid1, 'frec=');
fprintf(fid1, '%d', frec);
fprintf(fid1, ';\n');
fclose(fid1);
% Configuración algoritmo de búsqueda
dist = @annealingfast; % Step length equals the current temperature, and direction is uniformly random
temp = @temperatureboltz; % t0/log(k)
T_inicio = 80;
L_calentar = 50;
x0 = round((p1+p2)/2);
LB = [1 1];
UB = [limitex, limitey];
options = saoptimset('AnnealingFcn', dist, 'HybridFcn', @patternsearch, 'TemperatureFcn', temp, 'Initial-
Temperature', T_inicio, 'ReannealInterval', L_calentar, 'Display', 'iter');
[pr, fval, exitflag, output] = simulannealbnd(@buscar1rep, x0, LB, UB, options)
% Comprobación
pr = abs(round(pr));
pr1 = pr(1:2);
[matrizperfil3dp1r1, matrizperfil2dp1r1, torresnecesarias1r1, zvistap1r1, zfresnel1r1] = criteriolineadevista(x, y, z,
p1, pr1, frec);
[matrizperfil3dr1p2, matrizperfil2dr1p2, torresnecesarias1p2, zvistar1p2, zfresnel1p2] = criteriolineadevista(x, y, z,
pr1, p2, frec);
if (torresnecesarias1r1(3) <= 50) && (torresnecesarias1p2(3) <= 50)
    pr = [pr 0 0 0 0];
else
    pr = [-1 -1 0 0 0 0];
end

```



```

% Dos repetidores
if pr(1)==-1
    % Configuración algoritmo de búsqueda
    dist = @annealingfast; % Step length equals the current temperature, and direction is uniformly
    random
    temp = @temperatureboltz; % t0/log(k)
    T_inicio = 80;
    Lcalentar = 50;
    x0 = [(p1+p2)/3 2*(p1+p2)/3];
    LB = [1 1 1 1];
    UB = [limitex, limitey, limitex, limitey];
    options = saoptimset('AnnealingFcn', dist, 'HybridFcn', @patternsearch, 'TemperatureFcn', temp, 'Initial-
    Temperature', T_inicio, 'ReannealInterval', Lcalentar, 'Display', 'iter');
    [pr, fval, exitflag, output] = simulannealbnd(@buscar2rep, x0, LB, UB, options)
    % Comprobación
    pr = abs(round(pr));
    pr1 = pr(1:2);
    pr2 = pr(3:4);
    [matrizperfil3dp1r1, matrizperfil2dp1r1, torresnecesarias1r1, zvistap1r1, zfresnel1r1] = criteriolineavista(x, y,
    z, p1, pr1, frec);
    [matrizperfil3dr1r2, matrizperfil2dr1r2, torresnecesarias1r2, zvistar1r2, zfresnel1r2] = criteriolineavista(x, y,
    z, pr1, pr2, frec);
    [matrizperfil3dr2p2, matrizperfil2dr2p2, torresnecesarias2p2, zvistar2p2, zfresnel2p2] = criteriolineavista(x, y,
    z, pr2, p2, frec);
    if (torresnecesarias1r1(3) <= 50) && (torresnecesarias1r2(3) <= 50) && (torresnecesarias2p2(3) <= 50)
        pr = [pr 0 0];
    else
        pr = [-1 -1 0 0 0 0];
    end
end
% Tres repetidores
if pr(1)==-1
    % Configuración algoritmo de búsqueda
    dist = @annealingboltz; % Step length equals the square root of temperature, and direction is uni-
    formly random.
    temp = @temperatureboltz; % t0/log(k)
    T_inicio = 80;
    Lcalentar = 50;
    x0 = round([(p1+p2)/4 2*(p1+p2)/4 3*(p1+p2)/4]);
    LB = [1 1 1 1 1 1];
    UB = [limitex, limitey, limitex, limitey, limitex, limitey];

```

```

options = saoptimset('AnnealingFcn', dist, 'HybridFcn', @patternsearch, 'TemperatureFcn', temp, 'Initial-
Temperature', T_inicio, 'ReannealInterval', L_calentar, 'Display', 'iter');
[pr, fval, exitflag, output] = simulannealbnd(@buscar3rep, x0, LB, UB, options)
% Comprobación
pr = abs(round(pr));
pr1 = pr(1:2);
pr2 = pr(3:4);
pr3 = pr(5:6);
[matrizperfil3dp1r1, matrizperfil2dp1r1, torresnecesariasr1r1, zvistar1r1, zfresnelr1r1] = criteriolineadevista(x, y,
z, pr1, pr1, frec);
[matrizperfil3dr1r2, matrizperfil2dr1r2, torresnecesariasr1r2, zvistar1r2, zfresnelr1r2] = criteriolineadevista(x, y,
z, pr1, pr2, frec);
[matrizperfil3dr2r3, matrizperfil2dr2r3, torresnecesariasr2r3, zvistar2r3, zfresnelr2r3] = criteriolineadevista(x, y,
z, pr2, pr3, frec);
[matrizperfil3dr3p2, matrizperfil2dr3p2, torresnecesariasr3p2, zvistar3p2, zfresnelr3p2] = criteriolineadevista(x, y,
z, pr3, p2, frec);
if (torresnecesariasr1r1(3) <= 50) && (torresnecesariasr1r2(3) <= 50) && (torresnecesariasr2r3(3) <= 50) &&
(torresnecesariasr3p2(3) <= 50)
    pr = [pr];
else
    pr = [-1 -1 0 0 0 0];
end
end
end

```

Código GSSBuscarRepetidores: Es una función que busca repetidores a través de la metaheurística aplicada Búsqueda de Patrones.

```

function [pr] = GSSBuscarRepetidores(p1, p2, frec)
load 'DATOS'
% Mandando datos a la función objetivo
fid1 = fopen('mandodatos.m', 'w');
fprintf(fid1, 'function [p1, p2, frec] = mandodatos\n\n');
fprintf(fid1, 'p1=['];
fprintf(fid1, '%d', p1);
fprintf(fid1, '];\n');
fprintf(fid1, 'p2=['];
fprintf(fid1, '%d', p2);
fprintf(fid1, '];\n');
fprintf(fid1, 'frec=');
fprintf(fid1, '%d', frec);
fprintf(fid1, ';\n');
fclose(fid1);
% Configuración algoritmo de búsqueda
x0 = round((p1+p2)/2);
mesh_exp = 14;
mesh_cont = 0.9;
met_bus = @MADSPositiveBasisNp1;
mesh_inicio = round(sqrt((p1(1)-x0(1))^2 + (p1(2)-x0(2))^2));
LB = [1 1];
UB = [limitex, limitey];
options = psoptimset('PollMethod', 'GSSPositiveBasis2N', 'SearchMethod', met_bus, 'CompletePoll', 'on',
'CompleteSearch', 'on', 'MeshExpansion', mesh_exp, 'MeshContraction', mesh_cont, 'Display', 'iter', 'Initial-
MeshSize', mesh_inicio, 'MaxIter', 300);
[pr fval exitflag output] = patternsearch(@buscar1rep, x0, [], [], [], [], LB, UB, [], options);
% Comprobación
pr = abs(round(pr));
pr1 = pr(1:2);
[matrizperfil3dp1r1, matrizperfil2dp1r1, torresnecesarias1r1, zvistap1r1, zfresnel1r1] = criteriolineadevista(x, y, z,
p1, pr1, frec);
[matrizperfil3dr1p2, matrizperfil2dr1p2, torresnecesarias1p2, zvistar1p2, zfresnel1p2] = criteriolineadevista(x, y, z,
pr1, p2, frec);
if (torresnecesarias1r1(3) <= 50) && (torresnecesarias1p2(3) <= 50)
    pr = [pr 0 0 0 0];
else
    pr = [-1 -1 0 0 0 0];

```

```

end
% Dos repetidores
if pr(1)==-1
    % Configuración algoritmo de búsqueda
    x0 = round([(p1+p2)/3 2*(p1+p2)/3]);
    mesh_exp = 2;
    mesh_cont = 0.9;
    met_bus = @MADSPositiveBasisNp1;
    mesh_inicio = round(sqrt((p1(1)-p2(1))^2 + (p1(2)-p2(2))^2));
    LB = [1 1 1 1];
    UB = [limitex, limitey, limitex, limitey];
    options=psoptimset('PollMethod', 'GSSPositiveBasis2N', 'SearchMethod', met_bus, 'CompletePoll', 'on',
'CompleteSearch', 'on', 'MeshExpansion', mesh_exp, 'MeshContraction', mesh_cont, 'Display', 'iter', 'Initial-
MeshSize', mesh_inicio, 'MaxIter', 300); [pr fval exitflag output] = patternsearch(@buscar2rep, x0, [], [], [], [
], LB, UB, [], options);
    % Comprobación
    pr = abs(round(pr));
    pr1 = pr(1:2);
    pr2 = pr(3:4);
    [matrizperfil3dp1r1, matrizperfil2dp1r1, torresnecesarias1r1, zvistap1r1, zfresnel1r1] = criteriolineavista(x, y,
z, p1, pr1, frec);
    [matrizperfil3dr1r2, matrizperfil2dr1r2, torresnecesarias1r2, zvistar1r2, zfresnel1r2] = criteriolineavista(x, y,
z, pr1, pr2, frec);
    [matrizperfil3dr2p2, matrizperfil2dr2p2, torresnecesarias2p2, zvistar2p2, zfresnel2p2] = criteriolineavista(x, y,
z, pr2, p2, frec);
    if (torresnecesarias1r1(3) <= 50) && (torresnecesarias1r2(3) <= 50) && (torresnecesarias2p2(3) <= 50)
        pr = [pr 0 0];
    else
        pr = [-1 -1 0 0 0 0];
    end
end
end
% Tres repetidores
if pr(1)==-1
    x0 = round([(p1+p2)/4 2*(p1+p2)/4 3*(p1+p2)/4]);
    mesh_exp = 16;
    mesh_cont = 0.7;
    met_bus = @MADSPositiveBasisNp1;
    mesh_inicio = round(sqrt((p1(1)-p2(1))^2 + (p1(2)-p2(2))^2));
    LB = [1 1 1 1 1 1];
    UB = [limitex, limitey, limitex, limitey, limitex, limitey];
    options = psoptimset('PollMethod', 'GSSPositiveBasis2N', 'SearchMethod', met_bus, 'CompletePoll',

```

```

'on', 'CompleteSearch', 'on', 'MeshExpansion', mesh_exp, 'MeshContraction', mesh_cont, 'MeshAccelerator', 'on', 'MeshRotate', 'on', 'Display', 'iter', 'InitialMeshSize', mesh_inicio, 'MaxIter', 500);
[pr fval exitflag output] = patternsearch(@buscar3rep, x0, [], [], [], [], LB, UB, [], options);
% Comprobación
pr = abs(round(pr));
pr1 = pr(1:2);
pr2 = pr(3:4);
pr3 = pr(5:6);
[matrizperfil3dp1r1, matrizperfil2dp1r1, torresnecesarias1r1, zvistap1r1, zfresnel1r1] = criteriolineadevista(x, y, z, p1, pr1, frec);
[matrizperfil3dr1r2, matrizperfil2dr1r2, torresnecesarias1r2, zvistar1r2, zfresnel1r2] = criteriolineadevista(x, y, z, pr1, pr2, frec);
[matrizperfil3dr2r3, matrizperfil2dr2r3, torresnecesarias2r3, zvistar2r3, zfresnel2r3] = criteriolineadevista(x, y, z, pr2, pr3, frec);
[matrizperfil3dr3p2, matrizperfil2dr3p2, torresnecesarias3p2, zvistar3p2, zfresnel3p2] = criteriolineadevista(x, y, z, pr3, p2, frec);
if (torresnecesarias1r1(3) <= 50) && (torresnecesarias1r2(3) <= 50) && (torresnecesarias2r3(3) <= 50) && (torresnecesarias3p2(3) <= 50)
    pr = [pr];
else
    pr = [-1 -1 0 0 0 0];
end
end

```

Código buscar1rep: Es la función objetivo para un repetidor.

```
function [minimizar] = buscar1rep(pr)
load DATOS
[p1, p2, frec] = mandodatos;
pr1 = abs(round(pr));
[matrizperfil3dp1r1, matrizperfil2dp1r1, torresnecesariasp1r1, zvistap1r1, zfresnelr1] = criteriolineadevista(x, y, z,
p1, pr1, frec);
[matrizperfil3dr1p2, matrizperfil2dr1p2, torresnecesariasr1p2, zvistar1p2, zfresnelr1p2] = criteriolineadevista(x, y, z,
pr1, p2, frec);
% Criterio de optimización
disp1r1 = ((p1(1)-pr1(1))^2 + (p1(2)-pr1(2))^2)^0.5;
disr1p2 = ((p2(1)-pr1(1))^2 + (p2(2)-pr1(2))^2)^0.5;
% Comparación
comp = [disp1r1; disr1p2];
minimizar = max(comp) + 10*(torresnecesariasp1r1(3) + torresnecesariasr1p2(3));
```

Código buscar2rep: Es la función objetivo para dos repetidores.

```
function [minimizar] = buscar2rep(pr)
load DATOS
[p1, p2, frec] = mandodatos; pr = abs(round(pr));
pr1 = pr(1:2);
pr2 = pr(3:4);
[matrizperfil3dp1r1, matrizperfil2dp1r1, torresnecesariasp1r1, zvistap1r1, zfresnelr1r1] = criteriolineavista(x, y, z,
p1, pr1, frec);
[matrizperfil3dr1r2, matrizperfil2dr1r2, torresnecesariasr1r2, zvistar1r2, zfresnelr1r2] = criteriolineavista(x, y, z, pr1,
pr2, frec);
[matrizperfil3dr2p2, matrizperfil2dr2p2, torresnecesariasr2p2, zvistar2p2, zfresnelr2p2] = criteriolineavista(x, y, z,
pr2, p2, frec);
% Criterio de optimización
disp1r1 = ((p1(1)-pr1(1))^2 + (p1(2)-pr1(2))^2)^0.5;
disr1r2 = ((pr1(1)-pr2(1))^2 + (pr1(2)-pr2(2))^2)^0.5;
disr2p2 = ((pr2(1)-p2(1))^2 + (pr2(2)-p2(2))^2)^0.5;
% Comparación
comp = [disp1r1; disr1r2; disr2p2];
minimizar = max(comp) + 10*(torresnecesariasp1r1(3) + torresnecesariasr1r2(3) + torresnecesariasr2p2(3));
```

Código buscar3rep: Es la función objetivo para tres repetidores.

```
function [minimizar] = buscar3rep(pr)
load Datos
[p1, p2, frec] = mandodatos;
pr = abs(round(pr));
pr1 = pr(1:2);
pr2 = pr(3:4);
pr3 = pr(5:6);
[matrizperfil3dp1r1, matrizperfil2dp1r1, torresnecesariasp1r1, zvistap1r1, zfresnelr1r1] = criteriolineavista(x, y, z,
p1, pr1, frec);
[matrizperfil3dr1r2, matrizperfil2dr1r2, torresnecesariasr1r2, zvistar1r2, zfresnelr1r2] = criteriolineavista(x, y, z, pr1,
pr2, frec);
[matrizperfil3dr2r3, matrizperfil2dr2r3, torresnecesariasr2r3, zvistar2r3, zfresnelr2r3] = criteriolineavista(x, y, z, pr2,
pr3, frec);
[matrizperfil3dr3p2, matrizperfil2dr3p2, torresnecesariasr3p2, zvistar3p2, zfresnelr3p2] = criteriolineavista(x, y, z,
pr3, p2, frec);
% Criterio de optimización
disp1r1 = ((p1(1)-pr1(1))^2 + (p1(2)-pr1(2))^2)^0.5;
disr1r2 = ((pr1(1)-pr2(1))^2 + (pr1(2)-pr2(2))^2)^0.5;
disr2r3 = ((pr2(1)-pr3(1))^2 + (pr2(2)-pr3(2))^2)^0.5;
disr3p2 = ((pr3(1)-p2(1))^2+(pr3(2)-p2(2))^2)^0.5;
% Comparación
comp = [disp1r1; disr1r2; disr2r3; disr3p2];
minimizar = max(comp) + 10*(20*torresnecesariasp1r1(3) + torresnecesariasr1r2(3) + torresnecesariasr2r3(3) +
20*torresnecesariasr3p2(3));
```


Código mandodatos: Es una función creada por el código de optimización (GSS-BuscarRepetidores y SABuscarRepetidores), para que ésta sea llamada en las funciones objetivo debido a que dichas funciones solo deben tener como entrada las variables a optimizar. Los valores adjuntos cambian a medida que el programa transcurre, exceptuando el valor de frecuencia el cual es ingresado por el usuario permaneciendo constante.

```
function [p1, p2, frec] = mandodatos
p1 = [1393 319];
p2 = [2007 938];
frec = 5000;
```

Código Topología: Es la función que aplica la búsqueda de repetidores a los enlaces que la requieran, explorando todas las topologías tipo árbol que existan. En caso que exista una topología ideal, es ésta función quien la encuentra.

```

function [TOPOLOGIAS] = Topologia(puntos, frec, metodo)
load DATOS
topenl = combinaciones(puntos);
nenl = length(puntos(:, 1))-1;
j = 0;
for k=1:length(topenl(1, 1, :))
    conteo1 = 0;
    for kk=1:length(topenl(:,1,1))
        p1p2 = topenl(kk, :, k);
        p1 = p1p2(1:2);
        p2 = p1p2(3:4);
        [matrizperfil3d12, matrizperfil2d12, torresnecesarias12, zvista12, zfresnel12] = criteriolineadevista(x, y, z, p1,
p2, frec);
        if torresnecesarias12(3) <= 50
            conteo1 = conteo1+1;
        end
    end
    contador1(k,:) = conteo1; % Cuenta enLOS en cada topologia
    if conteo1 == nenl % Existe topología sin repetidores
        j = j+1;
        topologia_ideal(:, :, j) = topenl(:, :, k);
    end
end
if j ~= 0 % Topología ideal
    TOPOLOGIAS = topologia_ideal;
else % Busca repetidor en las topologias con más enlaces con LOS
    mejorestop = find(contador1==max(contador1));
    for k=1:length(mejorestop)
        conteo2 = 0;
        top = [];
        for kk=1:length(topenl(:, 1, 1))
            p1p2 = topenl(kk, :, mejorestop(k));
            p1 = p1p2(1:2);
            p2 = p1p2(3:4);
            [matrizperfil3d12, matrizperfil2d12, torresnecesarias12, zvista12, zfresnel12] = criteriolineadevista(x, y, z,
p1, p2, frec);
            if torresnecesarias12(3) <= 50

```

```

pr1 = [0 0 0 0 0];
conteo2 = conteo2+1;
else
switch metodo
case 1
pr1 = GSSBuscarRepetidores(p1, p2, frec);
case 2
pr1 = SABuscarRepetidores(p1, p2, frec);
end
if pr1(1) ~= -1 % Si búsqueda exitosa
conteo2 = conteo2+1;
for j=1:2:length(pr1)-1 % Evaluando repetidor común
p1c = pr1(j:j+1);
if (p1c(1) ~= 0) && (p1c(2) ~= 0)
for jj=1:length(puntos(:, 1))
p2c = puntos(jj, :);
if (p2c(1) ~= p1(1)) && (p2c(2) ~= p1(2)) && (p2c(1) ~= p2(1)) && (p2c(2) ~=
p2(2))

[matrizperfil3d12, matrizperfil2d12, torresnecesarias12, zvista12, zfresnel12] = cri-
teriolineadevista(x, y, z, p1c, p2c, frec);
if torresnecesarias12 <= 50
conteo2 = conteo2+1;
end
end
end
end
end
end
end
end
end
top = [top; p1 pr1 p2];
end
contador2(k, :) = conteo2;
topLOS(:, :, k) = top;
end
mejorestop = find(contador2 > 0);
if isempty(mejorestop)
TOPOLOGIAS = [];
else
for k=1:length(mejorestop)
TOPOLOGIAS(:, :, k) = topLOS(:, :, mejorestop(k));
end

```

end
end

Código GraficasTopologias: Es una función encargada de mostrar los resultados gráficamente. Además, despliega una información importante de la gráfica presente en el “Command Window”, esto es: la altura de torres necesarias y distancia de cada enlace, y las coordenadas de todos los vértices que se encuentren en el grafo.

```

function [COORDTOP] = GraficasTopologias(TOPOLOGIAS, frec)
load DATOS
if isempty(TOPOLOGIAS)
    msgbox('No se encontraron topologías posibles.', 'Aviso', 'warn');
    COORDTOP = [];
else
    % Pasando los datos de posición a coordenadas
    for k=1:length(TOPOLOGIAS(1, 1, :))
        for f=1:length(TOPOLOGIAS(:, 1, 1))
            for c=1:2:length(TOPOLOGIAS(1, :, 1)) - 1
                if (TOPOLOGIAS(f, c, k) ~= 0) && (TOPOLOGIAS(f, c, k) ~= -1)
                    COORDTOP(f, c:c+1, k) = [yy(TOPOLOGIAS(f, c+1, k)) xx(TOPOLOGIAS(f, c, k))];
                else
                    COORDTOP(f, c:c+1, k) = TOPOLOGIAS(f, c:c+1, k);
                end
            end
        end
    end
    end
    % TOPOLOGIAS IDEALES
    if length(TOPOLOGIAS(1, :, 1)) == 4
        for k=1:length(TOPOLOGIAS(1, 1, :))
            if k ~= 1
                continuar = input('Presione s para continuar o cualquier otra tecla para cancelar', 's');
                if continuar == 's'
                    close(figure(1))
                else
                    break
                end
            end
        end
        clc
        str = sprintf('Topología número = %d de %d', k, length(TOPOLOGIAS(1, 1, :)))
        COORDENADAS = COORDTOP(:, :, k)
        figure(1)
        mesh(x, -y, z)
        title('Topología ideal', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 16);
        hold on
    end
end

```

```

for kk=1:length(TOPOLOGIAS(:, 1, 1))
    p1p2 = TOPOLOGIAS(kk, :, k);
    p1 = p1p2(1:2);
    p2 = p1p2(3:4);
    [matrizperfil3d12, matrizperfil2d12, torresnecesarias12, zvista12, zfresnel12] = criteriolineadevista(x,
y, z, p1, p2, frec);
    % plot3(matrizperfil3d12(:, 1), -matrizperfil3d12(:, 2), matrizperfil3d12(:, 3), 'w')
    % plot3(matrizperfil3d12(:, 1), -matrizperfil3d12(:, 2), zvista12, 'r')
    plot3(matrizperfil3d12(:, 1), -matrizperfil3d12(:, 2), zfresnel12, 'g', 'LineWidth', 2)
    % Datos de interés
    distancia = 111.2766*sqrt((xx(p1(1)) - xx(p2(1)))^2 + (yy(p1(2)) - yy(p2(2)))^2);
    datos_enlaces(kk, :) = [yy(p1(2)) xx(p1(1)) yy(p2(2)) xx(p2(1)) distancia torresnecesarias12(1:2)];
end
datos_enlaces
end
else
% TOPOLOGIAS CON REPETIDORES
for k=1:length(TOPOLOGIAS(1, 1, :))
    if k ~= 1
        continuar = input('Presione s para continuar ', 's');
        if continuar == 's'
            close.figure(1)
        else
            break
        end
    end
end
clc
str = sprintf('Topología número = %d de %d ', k, length(TOPOLOGIAS(1, 1, :)))
COORDENADAS = COORDTOP(:, :, k)
datos_enlaces = [];
datos_enlaces_opcionales = [];
figure(1)
mesh(x, -y, z)
title('Topología encontrada', 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 16);
hold on
for kk=1:length(TOPOLOGIAS(:, 1, 1))
    % LOS
    if TOPOLOGIAS(kk, 3, k) ~= -1
        for kkk=1:2:length(TOPOLOGIAS(1, :, 1)) - 3
            p1 = TOPOLOGIAS(kk, kkk:kkk+1, k);
            if (p1(1) ~= 0) && (p1(2) ~= 0)

```

```

p2 = TOPOLOGIAS(kk, kkk+2:kkk+3, k);
if (p2(1)==0) && (p2(2)==0)
    p2 = TOPOLOGIAS(kk, end-1:end, k);
end
[matrizperfil3d12, matrizperfil2d12, torresnecesarias12, zvista12, zfresnel12] = criteriolinea-
devista(x, y, z, p1, p2, frec);
    % plot3(matrizperfil3d12(:, 1), -matrizperfil3d12(:, 2), matrizperfil3d12(:, 3),
'w', 'LineWidth', 2
    % plot3(matrizperfil3d12(:, 1), -matrizperfil3d12(:, 2), zvista12, 'r', 'LineWidth',
2)
plot3(matrizperfil3d12(:, 1), -matrizperfil3d12(:, 2), zfresnel12, 'r', 'LineWidth', 2)
    % Datos de interés
distancia = 111.2766*sqrt((xx(p1(1)) - xx(p2(1)))^2 + (yy(p1(2)) - yy(p2(2)))^2);
datos_enlaces = [datos_enlaces; yy(p1(2)) xx(p1(1)) yy(p2(2)) xx(p2(1)) distancia torresnecesarias12(1:2)];
end
end
% REP COMUN
for j=3:2:length(TOPOLOGIAS(1, :, 1)) - 3
    p1 = TOPOLOGIAS(kk, j:j+1, k);
    if (p1(1) ~= 0) && (p1(2) ~= 0)
        for jj=1:2:length(puntos(:, 1))
            p2 = puntos(jj, :);
            if (p2(1) ~= TOPOLOGIAS(kk, 1, k)) && (p2(2) ~= TOPOLOGIAS(kk, 2, k)) &&
(p2(1) ~= TOPOLOGIAS(kk, end-1,k)) && (p2(2) ~= TOPOLOGIAS(kk, end ,k))
                [matrizperfil3d12, matrizperfil2d12, torresnecesarias12, zvista12, zfresnel12] = cri-
teriolineadevista(x, y, z, p1, p2, frec);
                    if torresnecesarias12 <= 50
                        plot3(matrizperfil3d12(:, 1), -matrizperfil3d12(:, 2), zfresnel12, 'y', 'LineWidth',
2)
                            % Datos de interés
distancia = 111.2766*sqrt((xx(p1(1)) - xx(p2(1)))^2 + (yy(p1(2)) - yy(p2(2)))^2);
datos_enlaces_opcionales = [datos_enlaces_opcionales; yy(p1(2)) xx(p1(1)) yy(p2(2))
xx(p2(1)) distancia torresnecesarias12(1:2)];
                                end
                                    end
                                        end
                                            end
                                                end
                                                    % NLOS
else
    p1 = TOPOLOGIAS(kk, 1:2, k);

```

```

        p2 = TOPOLOGIAS(kk, end-1:end ,k);
        [matrizperfil3d12, matrizperfil2d12, torresnecesarias12, zvista12, zfresnel12] = criteriolineadevis-
ta(x, y, z, p1, p2, frec);
        plot3(matrizperfil3d12(:, 1), -matrizperfil3d12(:, 2), matrizperfil3d12(:, 3), 'w', 'LineWidth', 1)
    end
end
datos_enlaces
datos_enlaces_opcionales
end
end
end

```


Código Datos: Es una interfaz que tiene el usuario para añadir las coordenadas de los sitios de interés y de los extremos del mapa que los contengan. Al ejecutarlo muestra una gráfica que ayuda al usuario a verificar que se trate de los lugares deseados

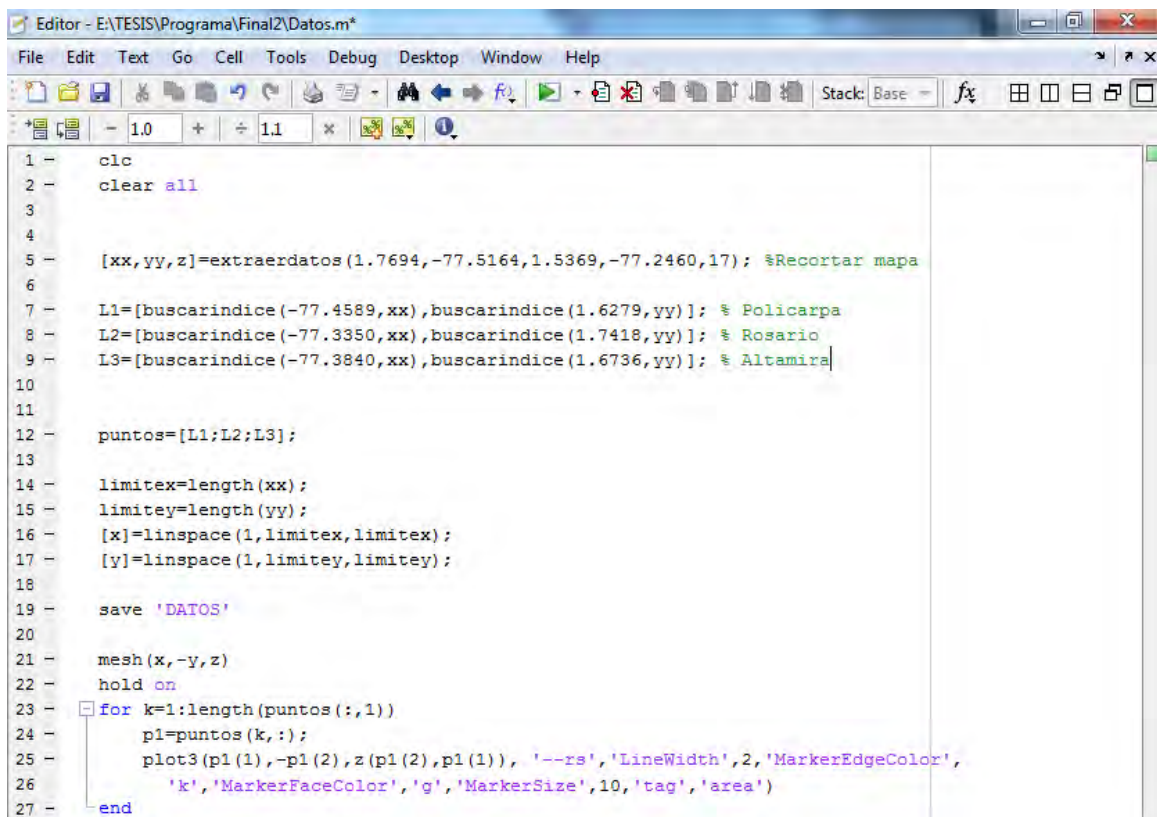
```
clc
clear all
[xx, yy, z] = extraerdatos(1.7694, -77.5164, 1.5369, -77.2460, 17); %Recortar mapa
L1 = [buscarindice(-77.4589, xx), buscarindice(1.6279, yy)]; % Policarpa
L2 = [buscarindice(-77.3350, xx), buscarindice(1.7418, yy)]; % Rosario
L3 = [buscarindice(-77.3840, xx), buscarindice(1.6736, yy)]; % Altamira
puntos = [L1; L2; L3];
limitex = length(xx);
limitey = length(yy);
[x] = linspace(1, limitex, limitex);
[y] = linspace(1, limitey, limitey);
save 'DATOS'
mesh(x, -y, z)
hold on
for k=1:length(puntos(:, 1))
    p1 = puntos(k, :);
    plot3(p1(1), -p1(2), z(p1(2), p1(1)), '--rs', 'LineWidth', 2, 'MarkerEdgeColor', 'k', 'MarkerFaceColor',
'g', 'MarkerSize', 10, 'tag', 'area')
end
```

Código Programa: Ejecuta las funciones que realizan el proceso del algoritmo en su totalidad.

```
clc
clear all
load DATOS
frec = 5000; % Mhz
metodo = 1; % 1 búsqueda de patrones 2 simulated annealing
TOPOLOGIAS = Topologia(puntos, frec, metodo);
[COORDTOP] = GraficasTopologias(TOPOLOGIAS, frec);
```

ANEXO B

TUTORIAL: CREADOR ÓPTIMO DE TOPOLOGÍAS USANDO RADIOENLACES PARA TERRENOS MONTAÑOSOS



```
1 - clc
2 - clear all
3
4
5 - [xx,yy,z]=extraerdatos(1.7694,-77.5164,1.5369,-77.2460,17); %Recortar mapa
6
7 - L1=[buscarindice(-77.4589,xx),buscarindice(1.6279,yy)]; % Policarpa
8 - L2=[buscarindice(-77.3350,xx),buscarindice(1.7418,yy)]; % Rosario
9 - L3=[buscarindice(-77.3840,xx),buscarindice(1.6736,yy)]; % Altamira
10
11
12 - puntos=[L1;L2;L3];
13
14 - limitex=length(xx);
15 - limitey=length(yy);
16 - [x]=linspace(1,limitex,limitex);
17 - [y]=linspace(1,limitey,limitey);
18
19 - save 'DATOS'
20
21 - mesh(x,-y,z)
22 - hold on
23 - for k=1:length(puntos(:,1))
24 -     p1=puntos(k,:);
25 -     plot3(p1(1),-p1(2),z(p1(2),p1(1)),'--rs','LineWidth',2,'MarkerEdgeColor',
26 -         'k','MarkerFaceColor','g','MarkerSize',10,'tag','area')
27 - end
```

Figura 35: Primer archivo que debe ejecutar el usuario.

En la línea 4 de la figura 35 se observa la función “extraerdatos”, para que ésta se ejecute correctamente se deberá escribir las coordenadas del Punto 1 y 2 en el orden latitud y luego longitud (ver figura 36), y posteriormente un valor de resolución.



Figura 36: Ubicación de los puntos extremos del mapa para el recorte del mismo.

Las variables L1, L2 y L3 corresponden a los lugares que se deseen añadir dentro del mapa. Dichas variables se deben encontrar separadas por “;” dentro de la variable “puntos”. Tal y como lo muestra la figura 35.

Nota: Recordar que el programa soporta un máximo de 6 lugares, ya que el añadir más dentro del mismo puede hacer que el gasto computacional se incremente demasiado cuando se trate de topologías en donde no hay línea de vista con ningún punto, haciendo que el programa tarde varias semanas.

Una vez ejecutado el programa mostrará una gráfica similar a la figura 37.

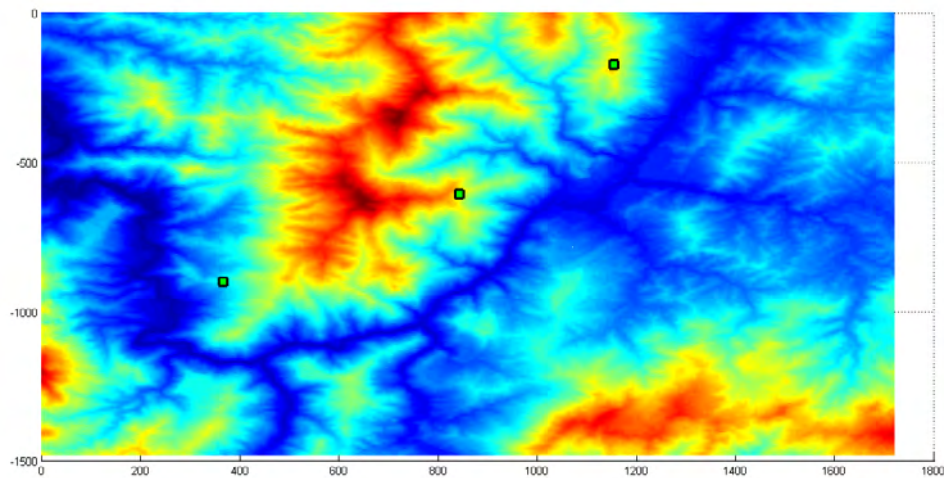


Figura 37: Ejemplo de recorte de mapa con lugares situados en el mismo.

En caso de que el usuario esté de acuerdo con el mapa graficado, deberá ejecutar la siguiente sección del programa la cual es mostrada en la figura 38.

```

1 -   clc
2 -   clear all
3
4 -   load DATOS
5
6 -   frec=5000; %Mhz
7 -   metodo=1; %1 busqueda de patrones 2 simulated annealing
8 -   TOPOLOGIAS=Topologia(puntos,frec,metodo);
9 -   [COORDTOP]=GraficasTopologias(TOPOLOGIAS,frec);
10

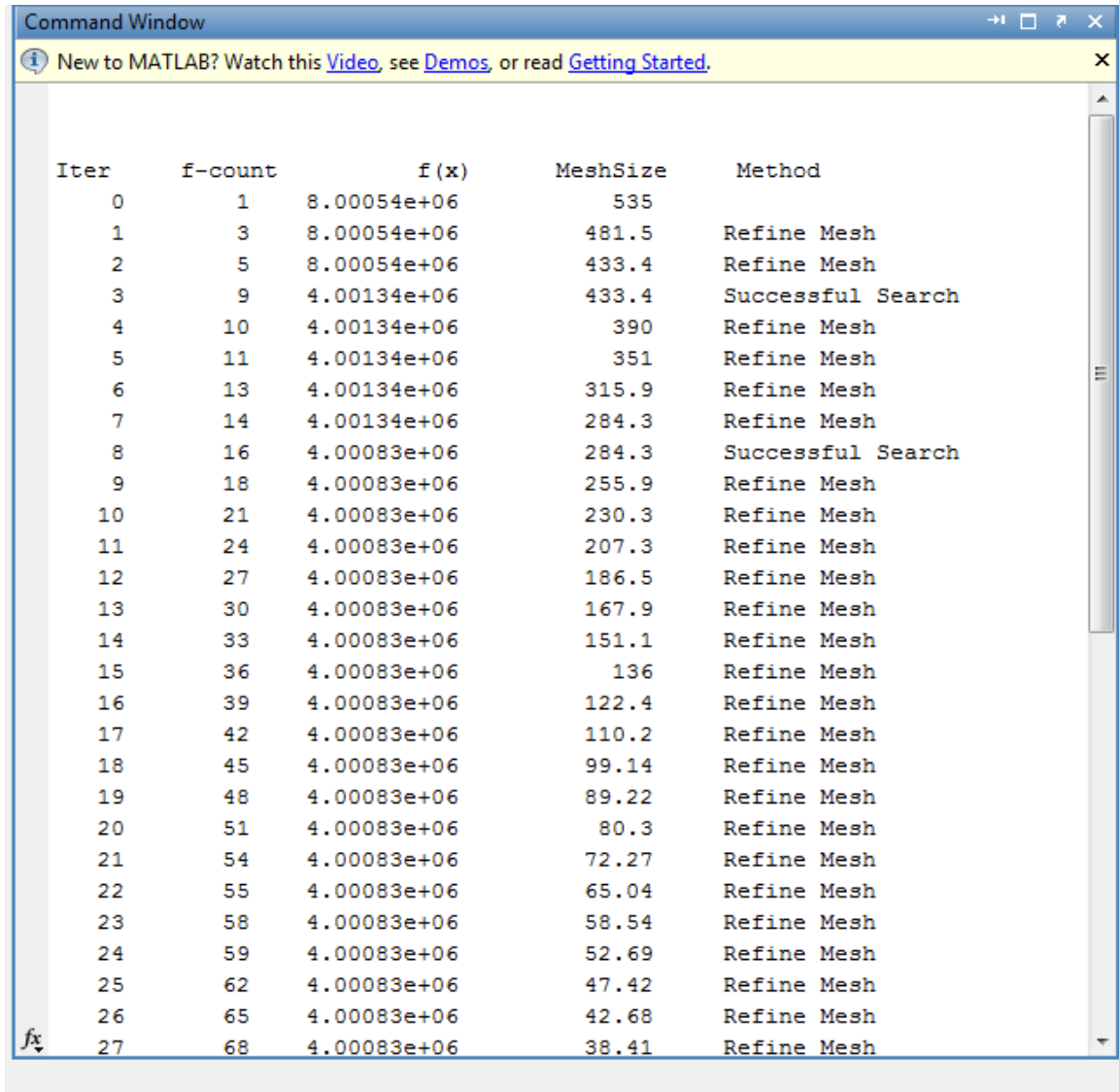
```

Figura 38: Segunda interfaz con el usuario. Aquí es donde se ejecuta el programa en su totalidad.

En esta segunda interfaz el usuario deberá ingresar el valor de frecuencia que desee para el diseño de los radioenlaces modificando el valor de la variable “frec”, notar que dicho valor debe ser escrito en MHz. Además, el usuario puede escoger el tipo de metaheurística que desee aplicar para la optimización (1 para búsqueda de patrones

y 2 para simulated annealing).

Cuando el usuario ejecute este programa se visualizará algo similar a la figura 39 en el “Command window”.



The screenshot shows a MATLAB Command Window with a yellow header bar containing the text: "New to MATLAB? Watch this [Video](#), see [Demos](#), or read [Getting Started](#)." Below the header, a table displays the results of an optimization process over 27 iterations. The table has five columns: Iter, f-count, f(x), MeshSize, and Method. The f(x) values decrease from 8.00054e+06 at iteration 0 to 4.00083e+06 at iteration 27. The MeshSize decreases from 535 to 38.41. The Method column shows "Refine Mesh" for most iterations and "Successful Search" at iterations 3, 8, and 27.

Iter	f-count	f(x)	MeshSize	Method
0	1	8.00054e+06	535	
1	3	8.00054e+06	481.5	Refine Mesh
2	5	8.00054e+06	433.4	Refine Mesh
3	9	4.00134e+06	433.4	Successful Search
4	10	4.00134e+06	390	Refine Mesh
5	11	4.00134e+06	351	Refine Mesh
6	13	4.00134e+06	315.9	Refine Mesh
7	14	4.00134e+06	284.3	Refine Mesh
8	16	4.00083e+06	284.3	Successful Search
9	18	4.00083e+06	255.9	Refine Mesh
10	21	4.00083e+06	230.3	Refine Mesh
11	24	4.00083e+06	207.3	Refine Mesh
12	27	4.00083e+06	186.5	Refine Mesh
13	30	4.00083e+06	167.9	Refine Mesh
14	33	4.00083e+06	151.1	Refine Mesh
15	36	4.00083e+06	136	Refine Mesh
16	39	4.00083e+06	122.4	Refine Mesh
17	42	4.00083e+06	110.2	Refine Mesh
18	45	4.00083e+06	99.14	Refine Mesh
19	48	4.00083e+06	89.22	Refine Mesh
20	51	4.00083e+06	80.3	Refine Mesh
21	54	4.00083e+06	72.27	Refine Mesh
22	55	4.00083e+06	65.04	Refine Mesh
23	58	4.00083e+06	58.54	Refine Mesh
24	59	4.00083e+06	52.69	Refine Mesh
25	62	4.00083e+06	47.42	Refine Mesh
26	65	4.00083e+06	42.68	Refine Mesh
27	68	4.00083e+06	38.41	Refine Mesh

Figura 39: Command window en el transcurso del programa.

Una vez el programa finalice su ejecución de optimización, se mostrará una grafica (la primera topología encontrada) y junto con ella se visualizará una información de la misma en el “Command window”, como lo muestran las figuras 40 y 41 respectivamente.

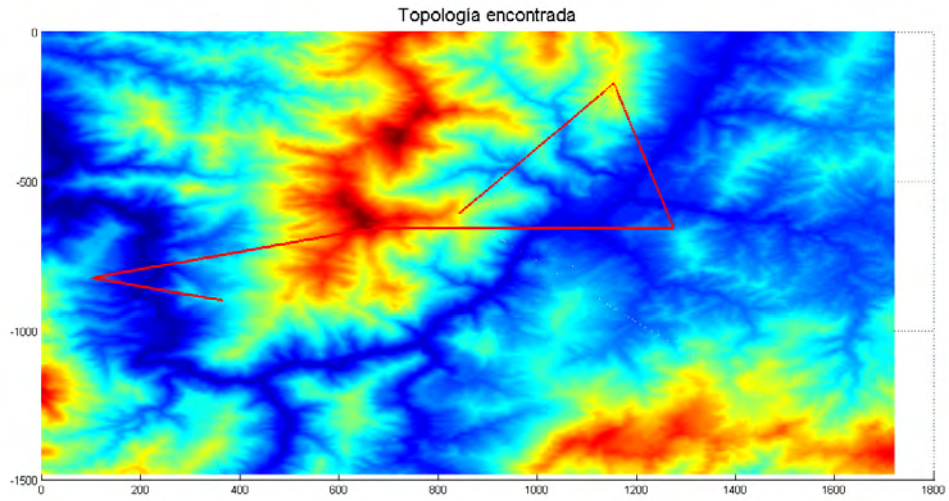


Figura 40: Topología encontrada por el programa.

```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.

str =

Topología número = 1 de 3

COORDENADAS =

Columns 1 through 7

    1.6279   -77.4589    1.6398   -77.5002    1.6658   -77.4115    1.6658
    1.7419   -77.3350         0         0         0         0         0
    1.5695   -77.2815   -1.0000   -1.0000         0         0         0

Columns 8 through 10

   -77.3160    1.7419   -77.3350
         0    1.6737   -77.3840
         0    1.6737   -77.3840

datos_enlaces =

    1.6279   -77.4589    1.6398   -77.5002    4.7940   10.0000   10.0000
    1.6398   -77.5002    1.6658   -77.4115   10.2906   10.0000   10.0000
    1.6658   -77.4115    1.6658   -77.3160   10.6294   10.0000   10.0000
    1.6658   -77.3160    1.7419   -77.3350    8.7217   10.0000   10.0000
    1.7419   -77.3350    1.6737   -77.3840    9.3373   25.0000   23.0000

datos_enlaces_opcionales =

    []

fx Presione s para continuar o cualquier otra tecla para cancelar

```

Figura 41: Información de la gráfica de la topología encontrada.

La forma de interpretar la información de la figura 41 se encuentra adjunta en las tablas 48 y 49.

Resultados por enlace

Tabla 48: Coordenadas

P1		Rep1		Re2		Rep3		P2	
Lat.	Long.	Lat.	Long.	Lat.	Long.	Lat.	Long.	Lat.	Long.
1,628	-77,459	1,640	-77,500	1,666	-77,412	1,666	-	1,742	-77,335
							77,316		
1,742	-77,335	0	0	0	0	0	0	1,674	-77,384

*P1 y P2 representan los extremos del enlace; Rep1, Rep2 y Rep3 son los repetidores necesarios para enlazar dichos extremos, si algunos de éstos valores poseen coordenadas iguales a cero implica que no son necesarios y si son iguales a -1 significa que la búsqueda aplicada no fue satisfactoria.

Tabla 49: datos_enlaces

Lugar 1		Lugar 2		Distancia entre lugares Km	Altura de Torres (m)	
Lat.	Long.	Lat.	Long.		Lugar 1	Lugar 2
1,6279	-77,4589	1,6398	-77,5002	4,7940	10	10
1,6398	-77,5002	1,6658	-77,4115	10,2906	10	10
1,6658	-77,4115	1,6658	-77,3160	10,6294	10	10
1,6658	-77,3160	1,7419	-77,3350	8,7217	10	10
1,7419	-77,3350	1,6737	-77,3840	9,3373	25	23

Recordar que los enlaces opcionales son representados con líneas amarillas, debido a que el ejemplo no tuvo ningún enlace de éstos, la matriz datos_enlaces_opcionales se encuentra vacía, en caso contrario se mostrará algo similar a la tabla 49.

ANEXO C

CÓDIGOS DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN NS-2

Este es el código utilizado para simular la denominada “Red de Estudio” con los parámetros ya descritos en la respectiva sección.

```
set ns [new Simulator]; # Se crea el objeto simulador
set nf [open example3.nam w]; # Abre el archivo 'example3.nam' para escritura y le da el identificador de archivo 'nf'
set f [open RedEstudio.tr w]
$ns trace-all $f
$ns namtrace-all $nf; # Le decimos al objeto simulador que creamos el anterior archivo para escribir en este archivo
todos los datos de simulación que van a ser relevantes para nam.

# El siguiente paso es agregar un procedimiento llamado 'finish' que cierra los archivos de rastreo e inicia el
visualizador nam.

proc finish {
global ns nf
$ns flush-trace
close $nf
exec nam example3.nam &
exit 0
}

# Creación de la topología

# Con el for que sigue se crean los nodos correspondientes a los lugares:

# n0(0): ParqueSoft (Servidor)
# n0(1): Tescual
# n0(2): Vipri
# n0(3): Mocondino
# n0(4): Repetidor
# n0(5): Cabrera

for set i 0 $i < 6 incr i {
```

```

    set n0($i) [$ns node]
}

# Ahora se enlazan los lugares anteriormente creados según la topología de la red de estudio

# $ns simplex-link $n0(i) $n0([expr ($i+1) %6]) 1Mb <bandwidth> <delay> <queue_type>

$ns duplex-link $n0(0) $n0(1) 82Mb 10ms DropTail; # ParqueSoft - Tescual
$ns duplex-link $n0(1) $n0(2) 75Mb 10ms DropTail; # Tescual - Vipri
$ns duplex-link $n0(2) $n0(3) 37Mb 10ms DropTail; # Vipri - Mocondino
$ns duplex-link $n0(3) $n0(4) 55Mb 10ms DropTail # Mocondino - Repetidor
$ns duplex-link $n0(4) $n0(5) 96Mb 10ms DropTail; # Repetidor - Cabrera

set n1 [$ns node]; # Se crea el nodo "Buesaquillo"
$ns duplex-link $n1 $n0(3) 85Mb 10ms DropTail; # Configuración del enlace Buesaquillo - Mocondino

set n2 [$ns node]; # Creamos el nodo "San Fernando"
$ns duplex-link $n2 $n0(3) 97Mb 10ms DropTail; # Configuración del enlace San Fernando - Mocondino

set n3 [$ns node]; # Creación del nodo "La Laguna"
$ns duplex-link $n3 $n0(4) 95Mb 10ms DropTail; # Enlace La Laguna - Repetidor

# El siguiente for crea los nodos correspondientes a los diferentes usuarios:

for set i 0 $i < 20 incr i {
    set n4($i) [$ns node] # Crea los nodos de Mocondino
    set n5($i) [$ns node] # Crea los nodos de Buesaquillo
    set n6($i) [$ns node] # Crea los nodos de San Fernando
    set n7($i) [$ns node] # Crea los nodos de Cabrera
    set n8($i) [$ns node] # Crea los nodos de La Laguna
}

# El for que sigue enlaza y configura los diferentes enlaces creados

for set i 0 $i < 20 incr i {
    $ns duplex-link $n4($i) $n0(3) 100Mb 10ms DropTail
    $ns duplex-link $n5($i) $n1 100Mb 10ms DropTail
    $ns duplex-link $n6($i) $n2 100Mb 10ms DropTail
    $ns duplex-link $n7($i) $n0(5) 100Mb 10ms DropTail
    $ns duplex-link $n8($i) $n3 100Mb 10ms DropTail
}

# Generación del Tráfico TCP

```

set nd 20; # Establece el número de computadores de la red cableada a los cuales envía tráfico usando el protocolo TCP.

set signo "\$"

```
for set i 0 $i < $nd incr i {
    set tcp($i) "tcp$i"
    set ftp($i) "ftp$i"
    set sink($i) "sink$i"

    # Se crea un Agente TCP y lo asocia al nodo de ParqueSoft n0(0)
    set tcp$i [new Agent/TCP/Reno];
    $ns attach-agent $n0(0) [expr ($signo$tcp($i))];
    [expr ($signo$tcp($i))] set window_ 500;
    [expr ($signo$tcp($i))] set fid_ 1;

    # Se crea Agentes Sink y se los asocia a los nodos de destino $n4(0)
    set sink$i [new Agent/TCPSink];
    $ns attach-agent $n4($i) [expr ($signo$sink($i))];

    # Asocia las fuentes de tráfico con los agentes Sink
    $ns connect [expr ($signo$tcp($i))] [expr ($signo$sink($i))];

# Crea aplicaciones FTP y se los asocia a los agentes TCP
    set ftp$i [new Application/FTP];
    [expr ($signo$ftp($i))] attach-agent [expr ($signo$tcp($i))];
    [expr ($signo$tcp($i))] set packetSize_ 1500
    set ftp($i) "ftp$i";
    $ns at 5 "$signo$ftp($i) start";
    $ns at 65 "$signo$ftp($i) stop";
}
```

```
for set i 20 $i < [expr ($nd + 20)] incr i {
    set tcp($i) "tcp$i"
    set ftp($i) "ftp$i"
    set sink($i) "sink$i"

    set tcp$i [new Agent/TCP/Reno]

    # Crea un Agente TCP y lo asocia al nodo de ParqueSoft n0(0)
    $ns attach-agent $n0(0) [expr ($signo$tcp($i))]
    [expr ($signo$tcp($i))] set window_ 500
    [expr ($signo$tcp($i))] set fid_ 2

    # Crea los Agentes Sink TCP y los asocia a los nodos n5($i)
    set sink$i [new Agent/TCPSink]
    $ns attach-agent $n5([expr ($i-20)]) [expr ($signo$sink($i))]
    #Connect the traffic sources with the traffic sinks
    $ns connect [expr ($signo$tcp($i))] [expr ($signo$sink($i))]
    #Crea las aplicaciones FTP y las asocia a los agentes
```

```

set ftp$i [new Application/FTP]
[expr ($signo$ftp($i))] attach-agent [expr ($signo$tcp($i))]
[expr ($signo$tcp($i))] set packetSize_ 1500
set ftp($i) "ftp$i"
$ns at 5 "$signo$ftp($i) start"
$ns at 65 "$signo$ftp($i) stop"
}

for set i 40 $i < [expr ($nd + 40)] incr i {
set tcp($i) "tcp$i"
set ftp($i) "ftp$i"
set sink($i) "sink$i"
set tcp$i [new Agent/TCP/Reno]
$ns attach-agent $n0(0) [expr ($signo$tcp($i))]
[expr ($signo$tcp($i))] set window_ 500
[expr ($signo$tcp($i))] set fid_ 3
set sink$i [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n6([expr ($i - 40)]) [expr ($signo$sink($i))]
$ns connect [expr ($signo$tcp($i))] [expr ($signo$sink($i))]
set ftp$i [new Application/FTP]
[expr ($signo$ftp($i))] attach-agent [expr ($signo$tcp($i))]
[expr ($signo$tcp($i))] set packetSize_ 1500
set ftp($i) "ftp$i"
$ns at 5 "$signo$ftp($i) start"
$ns at 65 "$signo$ftp($i) stop"
}

for set i 60 $i < [expr ($nd + 60)] incr i {
set tcp($i) "tcp$i"
set ftp($i) "ftp$i"
set sink($i) "sink$i"
set tcp$i [new Agent/TCP/Reno]
$ns attach-agent $n0(0) [expr ($signo$tcp($i))]
[expr ($signo$tcp($i))] set window_ 500
[expr ($signo$tcp($i))] set fid_ 4
set sink$i [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n7([expr ($i - 60)]) [expr ($signo$sink($i))]
$ns connect [expr ($signo$tcp($i))] [expr ($signo$sink($i))]
set ftp$i [new Application/FTP]
[expr ($signo$ftp($i))] attach-agent [expr ($signo$tcp($i))]
[expr ($signo$tcp($i))] set packetSize_ 1500
set ftp($i) "ftp$i"
}

```

```

$ns at 5 "$signo$ftp($i) start"
$ns at 65 "$signo$ftp($i) stop"
}

for set i 80 $i < [expr ($nd + 80)] incr i {
    set tcp($i) "tcp$i"
    set ftp($i) "ftp$i"
    set sink($i) "sink$i"
    set tcp$i [new Agent/TCP/Reno]
    $ns attach-agent $n0(0) [expr ($signo$tcp($i))]
    [expr ($signo$tcp($i))] set window_ 500
    [expr ($signo$tcp($i))] set fid_ 5
    set sink$i [new Agent/TCPSink]
    $ns attach-agent $n8([expr ($i - 80)]) [expr ($signo$sink($i))]
    $ns connect [expr ($signo$tcp($i))] [expr ($signo$sink($i))]
    set ftp$i [new Application/FTP]
    [expr ($signo$ftp($i))] attach-agent [expr ($signo$tcp($i))]
    [expr ($signo$tcp($i))] set packetSize_ 1500
    set ftp($i) "ftp$i"
    $ns at 5 "$signo$ftp($i) start"
    $ns at 65 "$signo$ftp($i) stop"
}

$ns at 70.0 "finish"; # Le dice al objeto simulador que ejecute el procedimiento 'finish' pasados 70.0 segundos del
tiempo de simulación.

# El comando 'at' de NS nos permite programar diferentes eventos durante la simulación.

$ns run; # Comienza la simulación.

```

La simulación de tráfico tcp con distribución de Pareto para la “Red de Estudio” se realiza de forma análoga a la mostrada en el anterior código pero utilizando las siguientes líneas de código dentro del for que permite enviar tráfico a varios usuarios:

```
set p$i [new Application/Traffic/Pareto]
[expr ($signo$p($i))] set packetSize_ 1500
[expr ($signo$p($i))] set burst_time_ 500ms
[expr ($signo$p($i))] set idle_time_ 500ms
[expr ($signo$p($i))] set rate_ 200k
[expr ($signo$p($i))] set shape_ 1.5
```

ANEXO D

ANÁLISIS DE LAS TRAZAS GENERADAS POR NS-2 MEDIANTE UN CÓDIGO DESARROLLADO EN MATLAB

Una vez que hemos obtenido las trazas de la simulación con NS-2 debemos “traducir” esas miles de líneas de texto plano en datos y gráficos que nos permita analizarlas más fácilmente. Para realizar esto se empleó el siguiente código creado en Matlab:

```
clc;
clear all;
close all;
NombreArchivo = 'Red_Estudio';
nL = 5;
nPC = 8;
origen = 0;
t_simulacion = 60;
r = 'D:\Alvaro\Matlab.R2012a.Portable\'; % Ruta del archivo
confinL = num2str(nL); % nL como string para incluirlo en el nombre del archivo de salida (.txt)
confinPC = num2str(nPC); % nPC como string para incluirlo en el nombre del archivo de salida (.txt)
RutaRes = strcat(r, NombreArchivo, '_', confinL, 'L', confinPC, 'PC', '.txt');
ext = char('.tr');
ruta = strcat(r, NombreArchivo, ext);
fprintf('Ruta Origen:\n %s\n', ruta)
fprintf('nL = %i. \n', nL);
fprintf('nPC = %i. \n', nPC);
fprintf('\n\tCALCULO DE TROUGHPUT, DELAY, JITTER Y PÉRDIDA DE PAQUETES\n')
fprintf('\tCargando traza actual')
fid = fopen(ruta);
n = textscan(fid, '%s %*[\n]');
fclose(fid);
rowHeading = 'caracterIniLinea';
ln1 = cell2struct(n, rowHeading, 1);
```



```

ln2 = ln1.caracterIniLinea;
lineasTot = size(ln2, 1);
nn = nL*nPC;
id_paq = zeros(1, nn);
t_in = zeros(1, nn);
t_out = zeros(1, nn);
tam_paq = zeros(1, nn);
Destinos = zeros(1, nn);
enviados = zeros(1, nn);
recibidos = zeros(1, nn);
drop = zeros(1, nn);
progA = 0;
pnc = 0;
for i = 1:nL
    for j = 1:nPC
        Destinos(j + ((i - 1)*nPC)) = ((i - 1)*20) + 8 + j;
    end end tcp = true; % ¿El protocolo es TCP?
fid = fopen(ruta); % Se abre el archivo .tr
linea = fgetl(fid); % Se lee la primera línea del archivo
delimitador = find(linea == ' '); % calcular delimitador
cont=0; % Contador de líneas leídas
% Mientras no se llegue al final del archivo, se lee línea por línea
clc;
cmi = 0;
while linea ~= -1
    orig = str2double(linea(delimitador(2) + 1 : delimitador(3) - 1));
    ipDest = str2double(linea( delimitador(9) + 1 : delimitador(10) - 1)); % Se determina la ip destino
    dest = str2double(linea(delimitador(3) + 1 : delimitador(4) - 1));
    idp = str2double(linea(delimitador(11) + 1 : end)); % Se obtiene el identificador del paquete
    prof = find(Destinos == ipDest);
    Des = Destinos(prof);
    pnc = 0;
    if isempty(find(id_paq == idp))
        pnc=1; % identifica un paquete que no se ha contado
    end
    if (linea(1) == '+' ) && (orig == 0) && (pnc == 1)
        if isempty(prof)
            else
                enviados(prof) = enviados(prof) + 1;
                id_paq(enviados(prof), prof) = idp;
                t_in(enviados(prof), prof) = str2double(linea(delimitador(1) + 1:delimitador(2) - 1));

```

```

        end
    end
    if (Des == dest)
        dd = 1;
    else
        dd = 0;
    end
    if (linea(1) == 'r') && (dd == 1) % Si el paquete es recibido
        recibidos(prof) = recibidos(prof) + 1;
        columna_id_paq = id_paq(:, prof)
        index = find(columna_id_paq == idp);
        t_out(index, prof) = str2double(linea(delimitador(1) + 1 : delimitador(2) - 1));
        tam_paq(index, prof) = str2double(linea(delimitador(5) + 1 : delimitador(6) - 1));
        if tcp
            tam_paq(index, prof) = tam_paq(index, prof) - 40;
        end
    end
    linea = fgetl(fid); % Lee la siguiente línea del archivo .tr
    delimitador = find(linea == ' '); % calcular delimitador
    cont = cont + 1;
end
for i=1:length(Destinos)
    if tam_paq(1, i) == 0;
        t_in(1, i) = 0;
        t_out(1, i) = 0;
        id_paq(1, i) = 0;
    end
end
fclose(fid);
format short eng
for i = 1:length(Destinos)
    t_inCol = t_in(:, i); % La columna i-ésima de los tiempos de entrada
    t_outCol=t_out(:, i);
    [t_inCorr, t_outCorr] = correccionTiempos(t_inCol, t_outCol);
    recibidos(i) = length(t_outCorr)
    if isempty(t_outCorr)
        caudal(i) = NaN;
        Delay(i) = NaN;
        Jitter(i) = NaN;
    else
        caudal(i) = sum(8*tam_paq(:, i) / t_simulacion);
    end
end

```

```

d = t_outCorr - t_inCorr;
Delay(i) = sum((d) / length(d))*1000; % Delay [ms]
del1 = d(2:end);
del2 = d(1:end - 1);
dif = abs(del1 - del2);
N = length(dif);
Jitter(i) = (sum(dif) / N)*1000; % Jitter [ms]
end
perdidos(i) = enviados(i) - recibidos(i);
porcentajeperdida(i) = (perdidos(i) / enviados(i))*100;
end
%% Guardado de los resultados en el Archivo de texto
clc;
dt=fopen(RutaRes, 'w');
fclose(dt);
nLs=num2str(nL); % Número de lugares como string
nPCs=num2str(nPC); % Número de PC's como string
dt = fopen(RutaRes, 'a');
for i = 1:length(Destinos)
    fprintf(dt, 'Nodo Destino: %i \n', Destinos(i));
    fprintf (dt, 'El número de paquetes que entran en cola: %i. \n', enviados(i));
    fprintf (dt, 'Número de paquetes perdidos: %i. \n', perdidos(i));
    pp=num2str(porcentajeperdida(i));
    fprintf (dt, 'Pérdida de paquetes: %s. \n', pp);
    fprintf (dt, 'Throughput: %f[bps]. \n', caudal(i));
    fprintf (dt, 'Delay promedio: %f[ms]. \n', Delay(i));
    fprintf (dt, 'Jitter: %f[ms]. \n', Jitter(i));
end
fclose(dt);

```

El anterior código llama a la siguiente función para poder hacer la respectiva corrección del vector que contiene los tiempos de salida del paquete desde el origen y los tiempos de llegada de cada paquete a su destino ya que al presentarse paquetes perdidos, el simulador registra los tiempos de salida del paquete pero no el de llegada, haciendo que los tiempos de llegada de estos paquetes sean igual a cero y por lo tanto sean erróneo, razón por la cual no se deben tener en cuenta dichos paquetes.

```
function [t_inCorr, t_outCorr] = correccionTiempo (t_in, t_out)
if length(t_in) < length(t_out) % Igualar los tamaños de los vectores
    t_out = t_out(1:length(t_in));
elseif length(t_in) > length(t_out)
    t_in = t_in(1:length(t_out));
end
err = find(t_out == 0);
if isempty(err)
    t_inCorr = t_in;
    t_outCorr = t_out;
else
    t_inCorr = [ ];
    t_outCorr = [ ];
    if err(1) == 1
        else
            t_inCorr = [t_inCorr; t_in(1:err(1) - 1)];
            t_outCorr = [t_outCorr; t_out(1:err(1) - 1)];
        end
        for i = 1:length(err) - 1
            ini = err(i) + 1;
            fin = err(i + 1) - 1;
            if ini > fin
                else
                    t_inCorr = [t_inCorr; t_in(ini:fin)];
                    t_outCorr = [t_outCorr; t_out(ini:fin)];
                end
            end
        end
        if err(end) < length(t_out)
            t_inCorr = [t_inCorr; t_in(err(end) + 1:length(t_in))];
            t_outCorr = [t_outCorr; t_out(err(end) + 1:length(t_out))];
        end
    end
end
```

ANEXO E

ENCUESTA

Esta encuesta se realiza con el objetivo de recolectar información que permita analizar la demanda del servicio de Internet y determinar la factibilidad de crear una empresa dedicada a ofrecer este servicio en los municipios de Ancuya, Linares, Samaniego y Sandoná.

1. ¿Cuál es el estrato socioeconómico al que pertenece su vivienda?
 - a.) 1
 - b.) 2
 - c.) 3

2. ¿Cuál es aproximadamente el monto de ingresos mensuales en su hogar?
 - a.) 0 a 1 smmlv
 - b.) 1 a 2 smmlv
 - c.) 2 a 3 smmlv
 - d.) 3 a 4 smmlv
 - e.) Más de 4 smmlv

3. ¿Qué concepto le merece el servicio de Internet?
 - a.) Muy bueno
 - b.) Bueno
 - c.) Regular

- d.) Malo
- e.) Muy malo

4. ¿Con qué frecuencia se utiliza el servicio de Internet en su hogar?

- a.) Siempre
- b.) Casi siempre
- c.) A veces
- d.) Casi nunca
- e.) Nunca

5. ¿Cuál es el nivel de satisfacción obtenido por el uso del servicio de Internet, si lo ha utilizado en el municipio?

- a.) Muy bueno
- b.) Bueno
- c.) Regular
- d.) Malo
- e.) Muy malo

6. ¿En el momento de adquirir y/o elegir una empresa prestadora del servicio de Internet, que factores le generarían mayor influencia para escogerla?

- a.) Marca
- b.) Calidad del servicio
- c.) Precio
- d.) Rapidez en la navegación

7. ¿Qué tan interesado(a) estaría usted en adquirir el servicio de Internet?

- a.) Muy interesado(a)
- b.) Interesado(a)
- c.) Más o menos interesado(a)
- d.) Poco interesado(a)
- e.) Nada interesado(a)

ANEXO F

GESTIÓN DE LA RED PILOTO NARIÑO VIVE DIGITAL

La gestión de la “red de estudio” (ubicada en el corredor oriental de la ciudad de Pasto) se realiza empleando el modelo FCAPS, el cual está dado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT compuesta de cinco áreas como: gestión de fallas, configuración, contabilidad, rendimiento y seguridad

En el nivel de gestión de fallos, se solucionó inconvenientes presentados en el funcionamiento de la red como: cambio de los conectores RJ45 que habían sido mal instalados y alineación de las antenas parabólicas de los enlaces punto a punto para mejorar la potencia de la señal recibida.

En el nivel de configuración, se actualizó el firmware (software) de los APs, se configuraron las direcciones IP, su modo de operación (estación o puente) y se establecieron los canales de las celdas y enlaces punto a punto.

El nivel de contabilidad o nivel de asignación no se tiene en cuenta debido a que el programa Nariño Vive Digital es el encargado de administrar los recursos financieros.

En el nivel de seguridad se cambió la contraseña de acceso a la configuración de los AP y se habilitó seguridad WPA en los mismos con el fin de brindar mayor seguridad en la red.

REFERENCIAS

- [1] The United Nations Information Technology Service (UNITEs), *ICT for Development and the Digital Divide* [en línea].
<<http://www.unites.org/ictdev.htm>> [Citado el 3 de Septiembre de 2011]
- [2] Departamento Nacional de Planeación, *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014* [en línea].
<<https://www.dnp.gov.co/PND/PND20102014.aspx>> [Citado el 3 de Septiembre de 2011]
- [3] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, *Más de 141.000 millones para el desarrollo de las TIC en Nariño* [en línea].
<<http://www.mintic.gov.co/index.php/mn-news/1716-mas-de-141000-millones-para-el-desarrollo-de-las-tic-en-narino>> [Citado el 12 de Septiembre de 2011]
- [4] Universidad de Nariño, *Perfil Profesional del programa de Ingeniería Electrónica* [en línea].
<<http://pregrado.udenar.edu.co/?p=180>> [Citado el 3 de septiembre de 2011]
- [5] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, República de Colombia, *Boletín trimestral de las TIC Conectividad Cifras segundo trimestre de 2011*. [en línea].
<<http://www.mintic.gov.co/index.php/mn-news/343-20110826boletintrimestral>> [Citado el 3 de septiembre de 2011]
- [6] Internet World Stats, *Usage and Population Statistics* [en línea].
<<http://www.internetworldstats.com/>> [Citado el 3 de septiembre de 2011]

- [7] Grupo de Telecomunicaciones Rurales Pontificia Universidad Católica del Perú, *Redes Inalámbricas para Zonas Rurales* [en línea].
<<http://www.ehas.org/uploads/file/difusion/libros/redes-inlambricas-para-zonas-rurales.pdf>> [Citado el 2 de Octubre de 2011]
- [8] *Las bondades del plan Nacional de fibra óptica* [en línea].
<<http://www.colombiadigital.net/opinion/columnistas/conexion/item/1385-las-bondades-del-plan-nacional-de-fibra-%C3%B3ptica.html>> [Citado el 5 de Noviembre de 2011]
- [9] NASA, *Shuttle Radar Topography Mision* [en línea].
<<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>> [Citado el 3 de Octubre de 2011]
- [10] José P. Alvarado, *Investigación: Zonas de Fresnel*, Universidad Mesoamericana [en línea].
<<http://es.scribd.com/doc/55774691/zonas-de-fresnel>> [Citado 23 de Noviembre de 2011]
- [11] Theodore Rappaport, *Wireless Communications*, Segunda edición, Prentice Hall.
- [12] E. Talbi, *Metaheuristics: From Design to Implementation*, ser. Wiley Series on Parallel and Distributed Computing. John Wiley & Sons, 2009.
- [13] T. Kolda, R. Lewis and V. Torczon. *A generating set direct search augmented Lagrangian algorithm for optimization with a combination of general and linear constraints*. Technical Report SAND2006-5315, Sandia National Laboratories, August 2006.
- [14] A. Asencio, E. Quevedo y R. López, *Grafos* [en línea].
<http://www.iuma.ulpgc.es/users/jmiranda/docencia/programacion/Tema9_ne.pdf> [Citado el 25 de Noviembre de 2011]

- [15] W. R. Stevens, *TCP/IP illustrated, volume 1: The protocols*, Reading, Massachusetts. Addison, 1994.
- [16] A. S. Tanenbaum, *Redes de computadoras*. Pearson educación, 2003.
- [17] NS-3 project, *ns-3 tutorial (release ns-3.15)* [en línea].
<<http://www.nsnam.org/docs/release/3.15/tutorial/singlehtml/index.html>>
[Citado el 5 Julio de 2012]
- [18] Mark Claypool, *OTcl: The User Language* [en línea].
<<http://nile.wpi.edu/NS/otcl.html>> [Citado el 9 Julio de 2012]
- [19] Python Software Foundation, *About Python* [en línea].
<<http://www.python.org/about/>> [Citado el 12 de Julio de 2012]
- [20] Wireshark Foundation, *About Wireshark* [en línea].
<<http://www.wireshark.org/about.html>> [Citado el 30 de Agosto de 2012]
- [21] Nsnam, *NS-3* [en línea].
<<http://www.nsnam.org/>> [Citado el 19 de Julio de 2012]
- [22] Nsnam, *PyViz* [en línea].
<<http://www.nsnam.org/wiki/index.php/PyViz>> [Citado el 4 de Agosto de 2012]
- [23] S. McCanne y S. Floyd, *ns - Simulador de red* [en línea].
<<http://ee.lbl.gov/ns/man.html>> [Citado el 23 de Agosto de 2012]
- [24] M. Greis, *ns tutorial* [en línea].
<<http://www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial/>> [Citado el 15 de Enero de 2013]
- [25] J. Chung and M. Claypool, *Ns by example* [en línea].
<<http://nile.wpi.edu/NS/>> [Citado el 2 de Febrero de 2013]

- [26] M. Ciampa, *Security+ guide to network security fundamentals*. Course Technology Ptr, 2011
- [27] WolframMathworld, *Pareto Distribution* [en línea].
<<http://mathworld.wolfram.com/ParetoDistribution.html>> [Citado el 20 de Febrero de 2013]
- [28] Mathworks, *Matlab: El lenguaje del cálculo técnico* [en línea].
<<http://www.mathworks.com/products/matlab/>> [Citado en Octubre de 2012]
- [29] WiTech, *Technical Economic Analysis* [en línea].
<<http://www.4gbusinesscase.com/>> [Citado el 13 de Septiembre de 2012]
- [30] Centro de Empresas e Innovación de Ciudad Real, *Guía para la elaboración de un estudio de mercado* [en línea].
<<http://www.redinamiza.com/documentos/guia-para-la-elaboracion-de-un-estudio-de-mercado>> [Citado en Octubre 11 de 2012]
- [31] DANE, *Censo General 2005* [en línea].
<<http://www.dane.gov.co/>> [Citado el 16 de Octubre de 2012]
- [32] M. Torres, K. Paz, *Tamaño de una muestra para una investigación de mercado*, Universidad Rafael Landívar [en línea].
<<http://www.slideshare.net/martinjorgechacon/tamao-de-una-muestra-para-una-investigacion-de-mercado>> [Citado el 27 de octubre de 2012]
- [33] Sistemas Palacios [en línea].
<<http://www.sistemaspalacios.com/index.php/quienes-somos>> [Citado el 20 de Agosto 2012]

- [34] DANE, *Segundo informe trimestral de penetración de Internet en los departamentos y municipios de Colombia* [en línea].
<<http://www.dane.gov.co/>> [Citado el 3 de Noviembre de 2012]
- [35] Página oficial del municipio de Ancuya (Nariño) [en línea].
<<http://www.ancuya-narino.gov.co/>> [Citado el 15 de Noviembre de 2012]
- [36] Página oficial del municipio de Linares (Nariño) [en línea].
<<http://www.linares-narino.gov.co/>> [Citado el 15 de Noviembre de 2012]
- [37] Página oficial del municipio de Samaniego (Nariño) [en línea].
<<http://www.samaniego-narino.gov.co/>> [Citado el 15 de Noviembre de 2012]
- [38] Página oficial del municipio de Sandoná (Nariño) [en línea].
<<http://www.sandona-narino.gov.co/>> [Citado el 15 de Noviembre de 2012]
- [39] Andreas Molisch, *Wireless Communications*, segunda edición, Wiley, 2011.
- [40] B. Fette, R. Aiello Ph.D, D. Dobkin, *RF and Wireless Technologies*, Newnes, 2008.
- [41] Cisco, *Equipos Cisco* [en línea].
<<http://www.cisco.com/>> [Citado el 29 de Noviembre de 2012]
- [42] Ubiquiti, Equipos Ubiquiti [en línea].
<<http://www.ubnt.com/>> [Citado el 29 de Noviembre de 2012]
- [43] Lorena Garrido Pérez, *Despliegue EGSM en zonas específicas*, Universidad Carlos III de Madrid, Julio de 2009, pp. 79-80.
- [44] D. Anderson, D. Sweeney y T. Williams, *Estadística para administración y economía*, Cengage Learning Editores, 2004.

- [45] Jhon B. Anderson, *Digital Transmission Engineering*, segunda edición, IEEE series on Digital & Mobile Communication, 2006, pp. 258-261.
- [46] C. Lusthaus, M. Adrien, G. Anderson, F Carden y G Montalván, *Evaluación Organizacional*, Banco Internacional de Desarrollo y Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, 2002.
- [47] Joaquín Rodríguez Valencia, *Administración de pequeñas y medianas empresas*, Quinta edición, Cengage Learning Editores, 2002.
- [48] Julio Gómez Castaño, *Gestión de Redes con Software Libre*, FRISOL, 2012 [en línea].
<<https://juanpablojp1.files.wordpress.com/2012/05/gestionredes.pdf>> [Citado el 1 de Abril de 2013]
- [49] Nassir Sapag Chain, *Proyectos de inversión: formulación e inversión*, Pearson Educación, 2007.
- [50] Marcial Córdoba Padilla, *Formulación y Evaluación de Proyectos*, ECOE EDICIONES, 2006.
- [51] International Telecommunication Union, *Recommendation ITU-T Y.1541: Network performance objectives for IP-based services*.