



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

TRABAJO DE TITULACIÓN:

Propuesta tecnológica, previa a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

Estudio, diseño e implementación de una red HETNETS que permita la gestión de servicios de una red 5G en los servicios de telecomunicaciones sobre el protocolo MPLS en el recinto Manantial de Colonche.

AUTORES:

MUÑOZ RODRÍGUEZ ERICK JORDÁN  
TOMALÁ QUINDE TANIA TAMARA

PROFESOR TUTOR:

ING. JUAN FERNANDO ARROYO, MSC.

LA LIBERTAD – ECUADOR

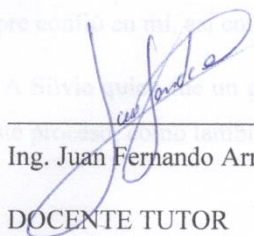
**2022**

## DEDICATORIA

### APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación denominado: "Estudio, diseño e implementación de una red HETNETS que permita la gestión de servicios de una red 5G en los servicios de telecomunicaciones sobre el protocolo MPLS en el recinto Manantial de Colonche". Elaborado por los estudiantes Erick Jordán Muñoz Rodríguez y Tania Tamara Tomalá Quinde, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo a los estudiantes para que inicie los trámites legales correspondientes.

La Libertad, 31 de Octubre del 2022

  
Ing. Juan Fernando Arroyo Pizarro, MSc.

DOCENTE TUTOR

Tania T. Tomalá Q.

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de titulación a mis padres que son y serán mi principal motivo de superación, les agradezco el inculcarme la importancia de la educación y apoyarme en cada etapa de mi formación profesional, culminar esta etapa de mi vida sé que los hace muy feliz y orgullosos.

A mis hermanos y familiares que siempre me han motivado, aconsejado y apoyado, todos han sido parte de cada etapa de mi vida, este logro se los dedico.

***Erick Jordán Rodríguez M.***

Este trabajo de titulación va dedicado a DIOS, a mis padres, hermanos, quienes con paciencia y motivación me impulsaron a seguir adelante a pesar de cualquier obstáculo, sobre todo a mi madre querida Alba Quinde quien estuvo día a día durante mi trayectoria académica, y siempre confió en mí, así como también a mi padre Segundo.

A Silvia quien fue un gran apoyo moral y económicamente, que me permitió llevar a cabo este proceso, como también sus palabras emotivas y consejos.

***Tania T Tomalá Q.***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la bendición de tener a mi familia unida, de contar con padres maravillosos que me han enseñado el valor de esforzarse por sus sueños, el no rendirme a pesar de los obstáculos, muchas gracias.

A mi tía Jessica Muñoz que siempre he contado con su ayuda cuando lo he necesitado, sus consejos y recomendación si los he tomado en cuenta, lo que ha logrado es motivo de inspiración para mí, espero que Dios me permita restituir lo mucho que me ha brindado.

A los docentes de la carrera de electrónica y telecomunicaciones que he tenido el placer conocer y presenciar la forma de impartir sus conocimientos.

***Erick J. Muñoz R.***

Agradezco a DIOS por ser mi guía y acompañarme el día a día, brindándome sus dones como es la sabiduría, fortaleza, entendimiento y salud, para culminar mis metas propuestas.

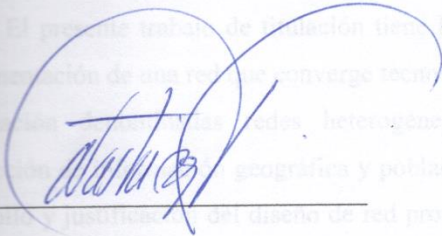
A mis padres por su apoyo incondicional, comprensión, amor y valores que ayudaron a trazar mi camino. A mis hermanos, por su apoyo incondicional, a Silvia que desde que tengo uso de razón me ha apoyado en todo, y no obstante reconocer su colaboración para el desarrollo de este trabajo.

A la institución no gubernamental PLAN INTERNACIONAL por el apoyo económico durante toda la carrera, sin duda alguna fue un granito de arena muy importante para llegar a cumplir esta meta como es incorporarme profesionalmente.

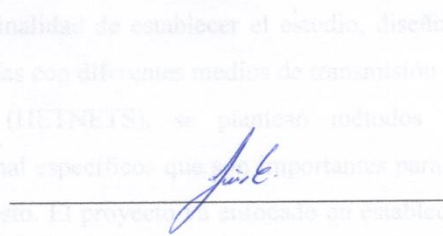
A mis amigos, compañeros y futuros colegas, a Zully porque sin el equipo que formamos, no estaríamos hasta este punto, a Bryan, Junior y Erick gracias infinitas por toda ayuda y aportación de buena voluntad brindada en el transcurso de la carrera.

***Tania T. Tomalá Q.***

## TRIBUNAL DE GRADO



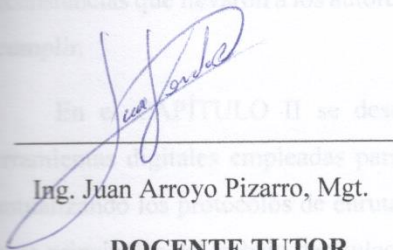
Ing. Washington Torres Guin, Mgt.



Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, Mgt.

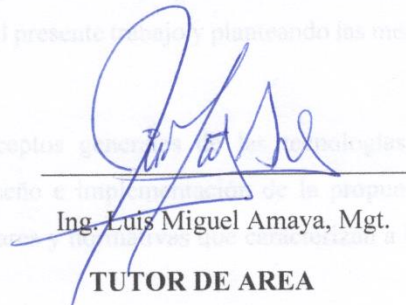
**DECANO DE FACULTAD**

**DIRECTOR DE CARRERA**



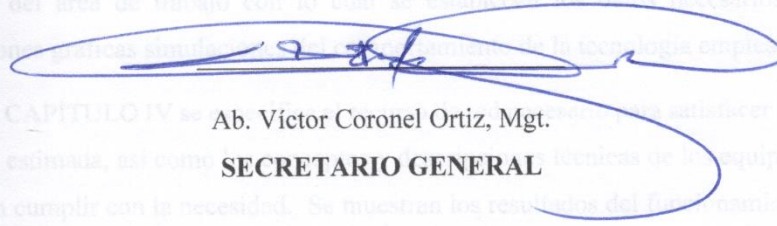
Ing. Juan Arroyo Pizarro, Mgt.

**DOCENTE TUTOR**



Ing. Luis Miguel Amaya, Mgt.

**TUTOR DE AREA**



Ab. Víctor Coronel Ortiz, Mgt.

**SECRETARIO GENERAL**

## **RESUMEN**

El presente trabajo de titulación tiene la finalidad de establecer el estudio, diseño e implementación de una red que converge tecnologías con diferentes medios de transmisión de información denominadas redes heterogéneas (HETNETS), se plantean métodos de recolección de información geográfica y poblacional específicos que son importantes para el desarrollo y justificación del diseño de red propuesto. El proyecto va enfocado en establecer una solución económica que satisfaga la creciente demanda de servicios de telecomunicaciones estableciendo el estándar de comunicación inalámbrica 802.11ad como el backbone de la red y la tecnología de redes ópticas con capacidad gigabit (GPON) como red de acceso que es representada en AUTOCAD digitalizando a escala real la zona de trabajo y representado en está, los componentes y elementos que se consideran la mejor alternativa para el caso expuesto.

En el CAPÍTULO I se establece la estructura general de la propuesta, describiendo las circunstancias que llevaron a los autores a desarrollar el presente trabajo y planteando las metas a cumplir.

En el CAPÍTULO II se describen los conceptos generales de las tecnologías y herramientas digitales empleadas para realizar el diseño e implementación de la propuesta puntualizando los protocolos de enrutamiento, estándares y normativas que caracterizan a los temas principales del trabajo de titulación.

Dentro del CAPÍTULO III encontramos las técnicas y métodos de recolección de información del área de trabajo con lo cual se establecen los datos necesarios para las representaciones gráficas simulaciones del comportamiento de la tecnología empleada.

En el CAPÍTULO IV se especifica el recurso de red necesario para satisfacer la muestra de abonados estimada, así como los conceptos y descripciones técnicas de los equipos activos que permiten cumplir con la necesidad. Se muestran los resultados del funcionamiento de los equipos dentro de la zona de estudio y el diseño e implementación de la estructura de soporte (mástil); en este capítulo se describe el diseño de la red de planta externa en el software AUTOCAD.

Finalmente, en el CAPÍTULO V se detalla el esquema de red final junto con las conexiones y configuraciones necesarias para cada equipo involucrado en la red garantizando el correcto funcionamiento del sistema.

## **ABSTRACT**

The purpose of this degree work is to establish the study, design and implementation of a network that converges technologies with different means of information transmission called heterogeneous networks (HETNETS), specific geographic and population information collection methods are proposed, which are important for the development and justification of the proposed network design. The project is focused on establishing an economic solution to meet the growing demand for telecommunications services by establishing the 802.11ad wireless communication standard as the backbone of the network and GPON technology as the access network, which is represented in AUTOCAD by digitizing the work area on a real scale and representing the components and elements that are considered the best alternative for the case presented.

CHAPTER I establishes the general structure of the proposal, describing the circumstances that led the authors to develop the present work and setting out the goals to be achieved.

CHAPTER II describes the general concepts of the technologies and digital tools used for the design and implementation of the proposal, pointing out the routing protocols, standards and regulations that characterize the main topics of the degree work.

In CHAPTER III we find the techniques and methods for collecting information from the work area, which establishes the necessary data for the graphical representations and simulations of the behavior of the technology used.

CHAPTER IV specifies the network resource necessary to satisfy the estimated subscriber sample, as well as the concepts and technical descriptions of the active equipment to meet the need. The results of the operation of the equipment within the study area and the design and implementation of the support structure (mast) are shown; in this chapter the design of the outside plant network in AUTOCAD software is described.

Finally, in CHAPTER V the final network scheme is detailed along with the necessary connections and configurations for each equipment involved in the network guaranteeing the correct operation of the system.

## INDICE DE CONTENIDO **DECLARACIÓN**

Erick Jordán Muñoz Rodríguez y Tania Tamara Tomalá Quinde, egresados de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, libre y voluntariamente declaramos que el contenido del presente trabajo de tesis “*Estudio, diseño e implementación de una red HETNETS que permita la gestión de servicios de una red 5G en los servicios de telecomunicaciones sobre el protocolo MPLS en el recinto Manantial de Colonche*”, previa a la obtención del título de tercer nivel, ha sido desarrollada bajo una investigación compleja, respetando los derechos intelectuales conforme a las citas, referencias que constan dentro del trabajo antes mencionado. Correspondientemente este es exclusivamente nuestro y nos responsabilizamos de su veracidad del contenido; la propiedad intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

### INDICE DE ABREVIATURAS

### CAPÍTULO I GENERALIDADES DE LA PROPUESTA

1.1	INTRODUCCIÓN	19
1.2	ANTECEDENTES	20
1.3	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	22
1.4	OBJETIVO DEL PROYECTO	24
1.4.1	OBJETIVO GENERAL	24
1.4.2	OBJETIVO ESPECÍFICOS	24
1.5	RESULTADOS ESPERADOS	25
1.6	JUSTIFICACIÓN	26
1.7	METODOLOGÍA	29

Erick J. Muñoz Rodríguez.

AUTOR

### CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA PROPUESTA

2.2	MARCO CONCEPTUAL	32
2.2.1	SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES	32
2.2.2	COMUNICACIONES ALámbricas	33
2.2.3	COMUNICACIONES ÓPTICAS	37
2.2.4	FIBRA ÓPTICA	37
2.2.5	REDES DE FIBRA ÓPTICA	40

Tania T. Tomalá Quinde.

AUTOR



## ÍNDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TRIBUNAL DE GRADO	5
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
DECLARACIÓN	3
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	15
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	17
CAPITULO I GENERALIDADES DE LA PROPUESTA	19
<b>1.1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>19</b>
<b>1.2 ANTECEDENTES</b>	<b>20</b>
<b>1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>22</b>
<b>1.4 OBJETIVO DEL PROYECTO</b>	<b>24</b>
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	24
1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	24
<b>1.5 RESULTADOS ESPERADOS</b>	<b>25</b>
<b>1.6 JUSTIFICACIÓN</b>	<b>26</b>
<b>1.7 METODOLOGÍA</b>	<b>29</b>
CAPITULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA PROPUESTA	32
<b>2.1 MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>32</b>
2.1.1 SISTEMA DE TELECOMUNICACIÓN	32
2.1.2 COMUNICACIONES ALÁMBRICAS	33
2.1.3 COMUNICACIONES ÓPTICAS	37
2.1.4 FIBRA ÓPTICA	37
2.1.5 REDES DE FIBRA ÓPTICA	40
2.1.6 RED ÓPTICA PASIVAS GIGABIT	43

2.1.7	NORMATIVAS UIT PARA REDES ÓPTICAS PASIVAS	46
2.1.8	RED HETNET	50
2.1.9	ESTÁNDARES EN TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS	51
2.1.10	ENLACES WIFI DE VARIOS KILÓMETROS VS WIMAX	68
2.1.11	PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO	70
2.1.12	SERVICIOS 5G	74
<b>2.2</b>	<b>FUNDAMENTOS DE SOFTWARES</b>	<b>76</b>
2.2.1	RADIO MOBILE	76
2.2.2	LINKPLANNER	80
2.2.3	GNS3	82
2.2.4	eNSP	87
2.2.5	AUTOCAD	89
<b>CAPITULO III</b>	<b>TÉCNICAS Y MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN</b>	
90		
<b>3.1</b>	<b>ENTREVISTA Y ENCUESTAS</b>	<b>90</b>
<b>3.2</b>	<b>ESTUDIO DE CAMPO</b>	<b>97</b>
3.2.1	EVALUACIÓN DE DEMANDA DE USUARIOS	99
<b>3.3</b>	<b>RADIOENLACE EN RADIO MOBILE</b>	<b>100</b>
3.3.1	FRECUENCIAS EXTREMADAMENTE ALTAS	101
3.3.2	SUPER ALTA FRECUENCIA	107
<b>3.4</b>	<b>RADIOENLACE EN LINKPLANNER</b>	<b>110</b>
3.4.1	FRECUENCIAS EXTREMADAMENTE ALTAS	110
3.4.2	SUPER ALTA FRECUENCIA	112
3.4.3	CONCLUSIONES GENERALES DE SOFTWARE	112
<b>3.5</b>	<b>EMULACIÓN DE UNA RED EMPLEANDO IP/MPLS</b>	<b>113</b>
<b>CAPITULO IV</b>	<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN</b>	<b>132</b>
<b>4.1</b>	<b>CÁLCULO DE USUARIOS VS ANCHO DE BANDA</b>	<b>132</b>
<b>4.2</b>	<b>DISEÑO DE LA RED</b>	<b>133</b>
4.2.1	RB3011UiAS-RM	134
4.2.2	WIRELESS WIRE DISH (RBLHGG-60adkit)	134
4.2.3	RB4011iGS+5HacQ2HnD-IN	135
4.2.4	UFIBER OLT-4	136
<b>4.3</b>	<b>ENLACE COLONCHE-REPETIDOR</b>	<b>137</b>

<b>4.4</b>	<b>ENLACE REPETIDOR-MANANTIAL DE COLONCHE</b>	<b>144</b>
4.4.1	CONCLUSIÓN DE PRUEBA DE CAMPO	148
<b>4.5</b>	<b>DISEÑO MÁSTIL 4 M</b>	<b>149</b>
4.5.1	IMPLEMENTACIÓN	153
<b>4.6</b>	<b>RED DE PLANTA EXTERNA</b>	<b>154</b>
4.6.1	DISEÑO EN AUTOCAD	156
<b>4.7</b>	<b>OBLIGACIONES LEGALES</b>	<b>160</b>
<b>CAPITULO V CONFIGURACIÓN DE RED</b>		<b>162</b>
<b>5.1</b>	<b>RB3011 UiAS-RM</b>	<b>163</b>
5.1.1	SEGURIDAD	166
5.1.2	MPLS	167
<b>5.2</b>	<b>RBLHGG-60ad 1</b>	<b>169</b>
5.2.1	SEGURIDAD	172
<b>5.3</b>	<b>RBLHGG-60ad 2</b>	<b>172</b>
5.3.1	SEGURIDAD	173
<b>5.4</b>	<b>RBLHGG-60ad 3</b>	<b>174</b>
5.4.1	SEGURIDAD	176
<b>5.5</b>	<b>RBLHGG-60ad 4</b>	<b>176</b>
5.5.1	SEGURIDAD	178
<b>5.6</b>	<b>RB4011iGS</b>	<b>178</b>
5.6.1	SEGURIDAD	180
5.6.2	MPLS	181
5.6.3	CONTROL DE USUARIO POR DHCP SERVER	183
5.6.4	COLAS PARA GESTIONAR REUSÓ	188
<b>5.7</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b>	<b>191</b>
5.7.1	CÁLCULO DE VAN, TIR, (B/C) Y EL PRI	197
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>201</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>202</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>211</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Elementos del proceso de comunicación.	32
Figura 2.- Tipos de medios de transmisión.	33
Figura 3.- Cable Par trenzado no blindado (UTP).	35
Figura 4.- Cable trenzado con pantalla global (FTP).	35
Figura 5.- Cable par trenzado apantallado o blindado (STP).	36
Figura 6.- Estructura del cable coaxial.	36
Figura 7.- Fibra óptica constituida por tres partes principales.	38
Figura 8.- Propagación del haz de luz en la fibra monomodo.	38
Figura 9.- Propagación de los haces de luz de la fibra multimodo según el tipo.	39
Figura 10.- Diagrama de arquitectura FTTx.	41
Figura 11.- Arquitectura de red de fibra óptica hasta el hogar.	41
Figura 12.- Arquitectura de fibra hasta la acera.	42
Figura 13.- Arquitectura FTTN.	42
Figura 14.- Arquitectura FTTA.	42
Figura 15.- Arquitectura FTTB.	43
Figura 16.- Arquitectura de la red GPON.	43
Figura 17.- Terminal de línea óptica.	44
Figura 18.- Esquema ODN.	44
Figura 19.- Splitter.	45
Figura 20.- Terminal de red óptico (ONT).	45
Figura 21.- Capa de adaptación ATM.	48
Figura 22.- Capa de adaptación GEM.	48
Figura 23.- Multiplexación por división de onda.	48
Figura 24.- Tipos de servicios GPON.	49
Figura 25.- Arquitectura HETNET.	50
Figura 26.- Estructuras de las capas de IEEE 802.11.	54
Figura 27.- Canales de la banda 2,4 GHz.	55
Figura 28.- Canales de la banda 5 GHz.	56
Figura 29.- Sistema MIMO-SDM OFDM.	59
Figura 30.- Canales usados en el estándar 802.11ac.	60
Figura 31.- Técnicas de colimación.	61
Figura 32.- Estructura del BI.	63

Figura 33.- Red AD-HOC. _____	63
Figura 34.- Conjunto de servicios básicos en una red 802.11. _____	63
Figura 35.- Estructura de paquetes. _____	64
Figura 36.- Barrido sectorial de nivel (SLS). _____	65
Figura 37.- Refinamiento de haz (BRP). _____	65
Figura 38. - Funciones de coordinación MAC. _____	66
Figura 39.- Esquema CSMA/CA. _____	66
Figura 40. - Esquema básico EDCA. _____	67
Figura 41.- Esquema básico EDCA. _____	67
Figura 42.- Asignación dinámica de canales. _____	68
Figura 43. - Antena omnidireccional. _____	69
Figura 44.- Antena sectorial. _____	69
Figura 45.- Antena direccional. _____	70
Figura 46.- Métrica de salto protocolo RIP. _____	71
Figura 47.- Métrica costo protocolo OSPF. _____	71
Figura 48.- Encabezado de paquetes del protocolo EIGRP. _____	72
Figura 49.- Esquema MPLS. _____	73
Figura 50.- Esquema básico de una red MPLS. _____	74
Figura 51.- Pantalla principal del software radio mobile. _____	76
Figura 52.- Radio mobile - mapa mundial. _____	76
Figura 53.- Parámetros de red. _____	77
Figura 54.- Propiedades del mapa. _____	77
Figura 55.- Propiedades de imagen. _____	78
Figura 56.- Propiedades de las unidades (Nodos). _____	78
Figura 57.- Parámetros de la red. _____	79
Figura 58.- Topología de red. _____	79
Figura 59.- Propiedades de los miembros en la red. _____	80
Figura 60.- Propiedades de red (sistemas). _____	80
Figura 61.- Interfaz principal de inicio del software LINKPLANNER. _____	81
Figura 62.- Opciones principales del software LINKPLANNER. _____	81
Figura 63.- Barra de herramientas del proyecto. _____	81
Figura 64.- Interfaz de trabajo del software LINKPLANNER. _____	82
Figura 65.- Símbolo GNS3. _____	82
Figura 66.- Ventana principal de GNS3. _____	84

Figura 67.- Barra de herramientas. _____	84
Figura 68.- Barra de menú. _____	85
Figura 69.- Menú "edit". _____	85
Figura 70.- Ventana preferencia de GNS3. _____	85
Figura 71.- Menú "view". _____	86
Figura 72.- Menú "control". _____	86
Figura 73.- Menu "annotate". _____	86
Figura 74.- Menú "tools". _____	86
Figura 75.- Menú "help". _____	87
Figura 76.- Ventana principal de eNSP. _____	87
Figura 77.- Entorno de trabajo eNSP. _____	88
Figura 78.- Configuración de enrutador eNSP. _____	88
Figura 79.- Módulos para enrutador eNSP. _____	88
Figura 80.- Interfaz de línea de comando eNSP. _____	89
Figura 81.- Ventana de ejecución AutoCAD. _____	89
Figura 82.- Inicio de interfaz AutoCAD. _____	89
Figura 83.- UTM Geo Map. _____	97
Figura 84.- Manantial de Colonche. _____	97
Figura 85.- Mapa radio mobile. _____	101
Figura 86.- RBLHGG-60 ad. _____	101
Figura 87.- Parámetros del enlace 60 GHz. _____	102
Figura 88.- Sistema de radioenlace 60 GHz. _____	102
Figura 89.- Diseño de patrón de radiación. _____	103
Figura 90.- Patrón de radiación LHG60GHz. _____	104
Figura 91.- Topología de diseño a radio mobile. _____	104
Figura 92.- Parámetros del enlace 60 GHz. _____	104
Figura 93.- Configuración de estilo de resultados. _____	105
Figura 94.- Enlace Colonche-Manantial. _____	106
Figura 95.- Umbral de receptor enlace 1,35 km. _____	106
Figura 96.- Enlace Manantial Colonche con repetidor. _____	107
Figura 97.- RBLHG-5nD. _____	107
Figura 98.- Parámetros enlace 5 GHz. _____	108
Figura 99.- Sistema de radioenlace 5 GHz. _____	108
Figura 100.- Propiedades del enlace 5 GHz. _____	109

Figura 101.- Resultados del enlace 5 GHz.	109
Figura 102.- Elementos del enlace en LINKPLANNER.	110
Figura 103.- Enlace Cambium Networks.	111
Figura 104.- Resultados enlace 60 GHz.	111
Figura 105.- Enlace 5.4 GHz.	112
Figura 106.- Diagrama de red MPLS.	114
Figura 107.- Configuraciones de túneles UDP.	115
Figura 108.- Asignación de IP (Mikrotik-2).	116
Figura 109.- Asignación de IP (Mikrotik-4).	116
Figura 110.- Asignación de IP (Mikrotik-5).	116
Figura 111.- Asignación de IP (Mikrotik-1).	116
Figura 112.- Asignación de IP (Mikrotik-3).	116
Figura 113.- Asignación de IP (R1).	117
Figura 114.- Configuraciones AR3260.	117
Figura 115.- Asignación de IP (AR3260-AR).	118
Figura 116.- Asignación de interfaz Loopback (Mikrotik-2).	119
Figura 117.- Asignación de interfaz Loopback (Mikrotik-4).	119
Figura 118.- Asignación de interfaz Loopback (Mikrotik-1).	119
Figura 119.- Asignación de interfaz Loopback (Mikrotik-5).	119
Figura 120.- Asignación de interfaz Loopback (Mikrotik-3).	119
Figura 121.- Asignación de interfaz Loopback (R1).	120
Figura 122.- Asignación de interfaz Loopback (AR3260-AR).	120
Figura 123.- Protocolo OSPF (Mikrotik-2).	120
Figura 124.- Protocolo OSPF (Mikrotik-4).	120
Figura 125.- Protocolo OSPF (Mikrotik-5).	121
Figura 126.- Protocolo OSPF (Mikrotik-1).	121
Figura 127.- Protocolo OSPF (Mikrotik-3).	121
Figura 128.- Protocolo OSPF (R1).	121
Figura 129.- Protocolo OSPF (AR3260-AR).	122
Figura 130.- Tabla de enrutamiento (Mikrotik-2).	122
Figura 131.- Tabla de enrutamiento (R1).	123
Figura 132.- Tabla de enrutamiento (AR3260-AR).	123
Figura 133.- Protocolo de distribución de etiquetas (Mikrotik-2).	124
Figura 134.- Protocolo de distribución de etiquetas (Mikrotik-4).	124

Figura 135.- Protocolo de distribución de etiquétalas (Mikrotik-5).	124
Figura 136.- Protocolo de distribución de etiquétalas (Mikrotik-3).	124
Figura 137.- Protocolo de distribución de etiquétalas (Mikrotik-1).	124
Figura 138.- Protocolo de distribución de etiquétalas (R1).	125
Figura 139.- Protocolo de distribución de etiquétalas (AR3260-AR).	125
Figura 140.- Información de vecinos del LDP (Mikrotik-2).	126
Figura 141.- Información de vecinos del LDP (Mikrotik-4).	126
Figura 142.- Información de vecinos del LDP (Mikrotik-1).	126
Figura 143.- Información de vecinos del LDP (Mikrotik-3).	126
Figura 144.- Información de vecinos del LDP (Mikrotik-5).	127
Figura 145.- Información de vecinos del LDP (R1).	127
Figura 146.- Información de vecinos del LDP (AR3260-AR).	128
Figura 147.- Tabla de asignación de etiquetas (Mikrotik-2).	128
Figura 148.- Tabla de asignación de etiquetas (Mikrotik-4).	129
Figura 149.- Tabla de asignación de etiquetas (Mikrotik-1).	129
Figura 150.- Tabla de asignación de etiquetas (R1).	129
Figura 151.- Tabla de asignación de etiquetas (AR3260-AR).	130
Figura 152.- Ruta Mikrotik-2 a Mikrotik-3 usando etiquetas.	131
Figura 153.- Ruta Mikrotik-2 a Mikrotik-3 usando etiquetas.	131
Figura 154.- Diagrama de red final (Colonche-Manantial de Colonche).	133
Figura 155.- Router RB3011.	134
Figura 156.- Wireless Wire Dish.	135
Figura 157.- RB4011.	136
Figura 158.- UFiber OLT-4.	136
Figura 159.- Antenas con localización en colonche.	138
Figura 160.- Diagrama de la primera zona de fresnel.	139
Figura 161.- Perfil de elevación del enlace Colonche- Repetidor.	140
Figura 162.-Radioenlace en radio mobile.	140
Figura 163: Perfil de elevación de los puntos involucrados.	142
Figura 164.- Antena con localización en el punto de repetición.	142
Figura 165.- Resultados del enlace inalámbrico Colonche-Repetidor.	143
Figura 166.- Antena con localización en el punto de repetición.	144
Figura 167.- Perfil de elevación del enlace repetidor- Manantial de Colonche.	145
Figura 168.- Perfil de elevación de los puntos involucrados.	146



Figura 169.- Antena con localización en el punto de repetición. _____	147
Figura 170.- Resultados del enlace inalámbrico M. Colonche-Repetidor. _____	148
Figura 171.- Set secciones de mástiles. _____	150
Figura 172.- Modelo del soporte del mástil. _____	150
Figura 173.- Medidas del soporte/base del mástil. _____	150
Figura 174.- Abrazadera para sujeción de retenida. _____	150
Figura 175.- Guardacabos. _____	150
Figura 176.- Nudo de hierro meneable. _____	151
Figura 177.- Cable de retenida. _____	151
Figura 178.- Tensor galvanizado. _____	151
Figura 179.- Taquete expansor. _____	151
Figura 180.- Taquete expansivo. _____	152
Figura 181.- Recomendaciones de instalación de mástil. _____	152
Figura 182.- Medidas de base para los opresores. _____	153
Figura 183.- Esquema de instalación de mástil. _____	153
Figura 184.- Instalación de mástil sobre laboratorio de Telecomunicaciones. _____	153
Figura 185.- Manantial de Colonche. _____	154
Figura 186.- Ubicación de central. _____	154
Figura 187.- Establecimiento de un espacio de trabajo. _____	156
Figura 188.- Ubicación de elementos pasivos. _____	156
Figura 189.- Trazar de rutas y calles correspondiente a la zona de estudio. _____	157
Figura 190.- Cambio de extensión de archivo en Google Earth. _____	157
Figura 191.- Planimetría de manantial de colonche. _____	157
Figura 192.- Ubicación de poste existentes y nuevos. _____	159
Figura 193.- Splitter de 1er y 2do Nivel. _____	159
Figura 194.- Ubicación de empalmes (sangrado). _____	160
Figura 195.- Red de distribución GPON. _____	160
Figura 196.- Esquema de la red HETNETS. _____	162
Figura 197.- Interfaz gráfica del software WinBox. _____	162
Figura 198.- Identificador del router RB3011 UiAS-RM. _____	163
Figura 199.- Etiquetas de las interfaces del router administrativo. _____	163
Figura 200.- Asignación de dirección IP al puerto. _____	164
Figura 201.- Configuraciones del servidor alternativo DNS. _____	164
Figura 202.- Asignación de dirección IP manual. _____	165

Figura 203.- Crear "New NAT Rule".	166
Figura 204.- Lista de usuarios.	166
Figura 205.- Establecer credenciales de acceso al router.	167
Figura 206.- Asignación de dirección de Loopback.	167
Figura 207.- Habilitar protocolo OSPF.	168
Figura 208.- Enlaces adyacente protocolo OSPF.	168
Figura 209.- Habilitación del protocolo de distribución de etiquetas.	169
Figura 210.- Identificación del puerto.	169
Figura 211.- Interfaz winbox LHG-60ad.	169
Figura 212.- Interfaz de inicio de WinBox.	170
Figura 213.- Establecimiento del puente (Bridge).	170
Figura 214.- Dirección IP asignado del bridge anterior.	170
Figura 215.- Configuración del modo inalámbrico.	171
Figura 216.- Establecer ruta del puerto de enlace del router.	171
Figura 217.- Configuración bridge.	172
Figura 218.- Dirección IP al bridge.	172
Figura 219.- Configuración de estación cliente.	173
Figura 220.- Establecer ruta del puerto de enlace del router.	173
Figura 221.- Configuración bridge.	174
Figura 222.- Dirección IP al bridge.	174
Figura 223.- Configuración del modo inalámbrico.	175
Figura 224.- Establecer ruta del puerto de enlace del router.	175
Figura 225.- Configuración bridge.	176
Figura 226.- Dirección IP al bridge.	176
Figura 227.- Configuración de estación cliente.	177
Figura 228.- Establecer ruta del puerto de enlace del router.	177
Figura 229.- Interfaz de inicio de WinBox.	178
Figura 230.- Identificar mediante etiquetas las funciones de puertos.	179
Figura 231.- Dirección IP del puerto IP.	179
Figura 232.- Lista de usuarios.	180
Figura 233.- Personalizar acceso al router.	180
Figura 234.- Creación del loopback.	181
Figura 235.- Habilitar protocolo OSPF.	181
Figura 236.- Habilitar protocolo OSPF.	182

Figura 237.- Habilitar protocolo de distribución de etiquetas. _____	182
Figura 238.- Identificación del puerto. _____	183
Figura 239.- Interfaz de creación de VLANs. _____	184
Figura 240.- Interfaz de asignación de dirección IP VLANs. _____	184
Figura 241.- Etiquetas VLANs. _____	185
Figura 242.- Crear lista de direcciones. _____	185
Figura 243.- Activar el ARP. _____	186
Figura 244.- Crear Gateway y DNS para cada VLANs. _____	186
Figura 245.- Configuración de direcciones Pool. _____	187
Figura 246.- Asignación de dirección IP. _____	188
Figura 247.- Gestión de recursos para usuarios. _____	188
Figura 248.- Estructura de una cola dinámica. _____	189
Figura 249.- Cola dinámica para usuario estándar. _____	189
Figura 250.- Dispositivos conectados. _____	190
Figura 251.- Estructura jerárquica de HTB. _____	190
Figura 252.- Queue list según el servicio. _____	191
Figura 253.- Diseño alternativo de red de distribución. _____	203
Figura 254.- Puerto de gestión VLANs. _____	204
Figura 255.- Interfaz de acceso EdgeSwitch. _____	204
Figura 256.- Menú VLAN Edge Switch. _____	205
Figura 257.- VLANs creadas (ID: 10/20/49). _____	205
Figura 258.- Concesión de función a puertos ethernet. _____	206
Figura 259.- Asignación de dirección IP. _____	206

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Características de WISPs que operan en Manantial de Colonche. _____	27
Tabla 2.- Categoría de cable UTP. _____	34
Tabla 3.- Características de la norma ITU-T 984.1. _____	46
Tabla 4.- Resumen de estándares inalámbrico. _____	52
Tabla 5.- Grupos de trabajo IEEE. _____	53
Tabla 6.- Banda 2,4GHz según región UIT-R. _____	54
Tabla 7.- Lista de canales en la banda 2,4 GHz. _____	55
Tabla 8.- Lista de canales en la banda 5 GHz. _____	57
Tabla 9.- Canales de la banda 60 GHz. _____	62
Tabla 10.- Banda 60GHz según región UIT-R. _____	62
Tabla 11.- WIFI vs WIMAX. _____	68
Tabla 12.- Tabla comparativa RIP, OSPF, EIGRP. _____	70
Tabla 13.- Consumo estimado de ancho de banda según la actividad. _____	75
Tabla 14.- Coordenadas de elementos pasivos (postes) de la comunidad. _____	99
Tabla 15.- Niveles de calidad de recepción. _____	105
Tabla 16.- Tabla de direccionamiento. _____	114
Tabla 17.- Recursos de red en función de los tipos de usuarios. _____	133
Tabla 18.- Características del router RB3011. _____	134
Tabla 19.- Características del producto Wireless Wire Dish. _____	135
Tabla 20.- Características del Router RB4011. _____	136
Tabla 21.- Características OLT UFiber. _____	137
Tabla 22.- Tecnologías de transmisión. _____	149
Tabla 23.- Comparación de cables aéreos de fibra óptica. _____	155
Tabla 24.- Símbolos del diseño de red de planta externa. _____	158
Tabla 25.- Presupuesto en equipos. _____	192
Tabla 26.- Presupuesto de mástil. _____	192
Tabla 27.- Presupuesto de red de distribución. _____	193
Tabla 28.- Presupuesto en mano de obra. _____	193
Tabla 29.- Inversión inicial. _____	194
Tabla 30.- Presupuesto de inversión total. _____	194
Tabla 31.- Tipo de servicios. _____	195
Tabla 32.- Ingreso año I. _____	195

Tabla 33.- Ingreso año 2.	196
Tabla 34.- Ingreso año 3.	196
Tabla 35.- Ingreso año 4.	196
Tabla 36.- Ingreso año 5.	196
Tabla 37.- Flujo neto efectivo.	197
Tabla 38.- Flujo de efectivo / periodo de recuperación.	200

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ARPANET	<b>Red de agencia de proyectos de investigación avanzada</b>
CDMA	<b>Acceso múltiple por división de código</b>
GSM	<b>Sistema global de comunicación móvil</b>
NGN	<b>Red de próxima generación</b>
ITU	<b>Unión internacional de telecomunicaciones</b>
IETF	<b>Grupo de trabajo de ingeniería de internet</b>
FTTH	<b>Fibra hasta la casa</b>
PLCP	<b>Procedimiento de convergencia de la capa física</b>
IEEE	<b>Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos</b>
PMD	<b>Dependiente de medio físico</b>
WLAN	<b>Red inalámbrica local</b>
FCC	<b>Comisión federal de comunicaciones</b>
FHSS	<b>Espectro ensanchado por salto de frecuencia</b>
U-NII	<b>Infraestructura nacional de información no licenciada</b>
DSSS	<b>Espectro extendido de secuencia directa</b>
OFDM	<b>Multiplexación por división ortogonal de la frecuencia</b>
QoS	<b>Calidad de servicio</b>
HCF	<b>Coaxial de fibra híbrida</b>
RSNA	<b>Sociedad radiológica de américa del norte</b>
TKIP	<b>Protocolo de integridad de clave temporal</b>
AES	<b>Estándar de cifrado avanzado</b>
WPA2	<b>Acceso Wi-Fi protegido 2</b>
IAPP	<b>Protocolo de acceso de inter operatividad entre puntos</b>
SSID	<b>Identificador de conjunto de servicios</b>
ERO	<b>Oficina europea de radiocomunicaciones</b>
TCP	<b>Control de potencia de transmisión</b>
DFS	<b>Selección de frecuencia dinámica</b>
MIMO	<b>Múltiples entradas, múltiples salidas</b>
SDM	<b>Multiplexación por división espacial</b>
LOS	<b>Línea de visión</b>
NLOS	<b>Sin línea de visión</b>

FCC	<b>Comisión federal de comunicaciones</b>
PHY	<b>Capa física</b>
MAC	<b>Control de acceso al medio</b>
PBSS	<b>Conjunto de servicios básicos personal</b>
BI	<b>Intervalo beacon</b>
BHI	<b>Cabecera de intervalos beacon</b>
PCP	<b>Protocolo de cadena de paquetes</b>
STF	<b>Campo corto de entrenamiento</b>
CEF	<b>Campo de estimación de canal</b>
CRC	<b>Comprobación redundante cíclica</b>
AGC	<b>Control de ganancia automático</b>
SLS	<b>Fase de barrido a nivel del sector</b>
DTI	<b>Interfaz de troncal digital</b>
TDMA	<b>Acceso múltiple por división de tiempo</b>
MAN	<b>Red de área metropolitana</b>
LAN	<b>Red de área local</b>
WIMAX	<b>Interoperabilidad mundial para acceso por microondas</b>
WISP	<b>Proveedor de servicios de internet inalámbrico</b>
CPE	<b>Equipo local del cliente</b>
UTM	<b>Gestión unificada de amenazas</b>
SIG	<b>Sistema de información geográfica</b>
EHF	<b>Frecuencias extremadamente altas</b>
QAM	<b>Modulación de amplitud en cuadratura</b>
MPLS	<b>Cambio de etiquetas multiprotocolo</b>
GNS3	<b>Simulación gráfica de redes</b>
eNPS	<b>Plataforma de simulación de redes empresariales</b>
UDP	<b>Protocolo de datagramas de usuario</b>
OSPF	<b>Abrir primero la ruta más corta</b>
RIP	<b>Protocolo de información de enrutamiento</b>
BGP	<b>Protocolo de puerta de enlace fronteriza</b>
LDP	<b>Protocolo de distribución de etiquetas</b>
ARP	<b>Protocolo de resolución de direcciones</b>

# **CAPITULO I GENERALIDADES DE LA PROPUESTA**

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

La industria de las telecomunicaciones es uno de los sectores que más cambio a nivel global presenta con el pasar del tiempo y siendo el mercado de acceso a internet el de mayor crecimiento según el estudio “Digital transformation for 2020 and beyond” [1]. En los últimos años los avances tecnológicos móviles junto con el impacto de la pandemia covid-19 han demostrado la importancia de estar conectados a través de redes de telecomunicaciones y como la infraestructura ayuda a reducir la brecha digital [2].

El cambio del comportamiento de los consumidores por pandemia ha causado el aumento en la demanda de herramientas digitales con los cuales se pretende continuar con las actividades económicas, sociales y educativas de forma remota, sin embargo son pocas las redes de bandas anchas implementadas que han logrado cumplir con los requerimientos de sus abonados, en Ecuador esta información es reflejada con el 38,93% de reclamos por servicio de acceso a internet presentadas a la agencia de regulación y control de las telecomunicaciones (ARCOTEL) en el año 2021 (Anexo1), por otro lado, se ha puesto en evidencia que aún existe una considerable parte de la población mundial que no tiene acceso a servicios de telecomunicaciones o no cuenta con servicios de calidad, siendo el sector rural el más afectado. El estudio “conectividad rural en América Latina y el Caribe” refleja que al menos el 37% de la población de América Latina no cuenta con acceso a servicios de internet [3].

En sectores rurales de la provincia de Santa Elena, la tecnología de acceso inalámbrico de banda ancha ha sido la solución estratégica para empresas proveedoras de servicio de internet (ISP), pero muchos planes de banda ancha no han sido lo suficiente para realizar las actividades requeridas, la expansión de la capacidad de servicio mediante la combinación de tecnologías de acceso es el concepto de redes HETNETS que promete mejorar la eficiencia de los servicios [4]. En el presente trabajo se estudia la novedosa tecnología inalámbrica 802.11ad aprobada por la IEEE en el 2012 [5], y que junto con la tecnología GPON se pretende lograr valores de ancho de bandas que satisfagan la creciente demanda de los usuarios.

Este trabajo procura dar a conocer la situación actual de la infraestructura de telecomunicación desplegada en el sector rural de la comuna Manantial de Colonche y exponer una solución viable de bajo costo y eficiente que incorpora el mecanismo de transporte de paquetes a través de conmutación de etiquetas (MPLS).



## 1.2 ANTECEDENTES

Las redes de comunicación desde sus primeros estudios y diseños de pequeñas estructuras de conexiones físicas y siendo una de las primeras “ARPANET” dándose a conocer en 1969 como un enlace entre 3 universidades en California (Estados Unidos). El objetivo de este tipo de enlaces es proporcionar el canal por el cual se permita el intercambio de información entre usuarios o abonados que formen parte de la red, la necesidad de utilizar diversos servicios de telecomunicaciones y móviles para acortar distancia, tiempo y que los abonados usen herramientas tecnológicas que favorezcan su libertad de expresión, fácil acceso a conocimiento, medio de comunicación, interacción, para organización social y entretenimiento como: redes sociales, servicios virtuales, escuchar música, ver videos (contenido de alta calidad), televisión digital [6]; todos estos beneficios han acelerado la adaptación de usuarios y que estos puedan acceder a este tipo de servicios mediante terminales como: los smartphone o tablet.

La evolución de la tecnología móvil desde sus inicios en los años 70 ha tenido como consecuencia cambios en las infraestructuras del sistema donde la velocidad, frecuencia y costos del servicio se han puntualizado más; esta evolución ha sido detallada según las siglas de generación de la tecnología móvil como son:

La primera generación (1G) tuvo auge entre 1970 y 1980, esta se basaba en un conjunto de celdas o células interconectadas que producían una zona de cobertura sobre la cual dispositivos de recepción (celulares) podían brindar el servicio de solo voz con una velocidad entre 1 - 2,4 kbps, empleaba tecnología analógica con una frecuencia entre 800 - 900 MHz.

La segunda generación (2G) surge en 1980 y empleaba tecnología digital con una velocidad entre 14 kbps a 64 kbps, con esta nueva generación las bandas de frecuencia eran GSM (850 – 1900 MHz) y CDMA (825 – 849 MHz), se aumentó servicios de mensajes simples (SMS), roaming internacional, espera, retención y bloqueos de llamadas.

En la tercera generación (3G) establecida en el año 2000 se enfocó en el aumento de la tasa de datos para poder incrementar la capacidad de voz, datos y dar soporte a los altos requerimientos de las aplicaciones, para ello se empleó un método de agrupación de datos denominado conmutación de paquetes con lo cual se transmiten los paquetes a través de una red digital, esta nueva generación se garantizaba velocidades entre 384 – 2 Mbps a una frecuencia de 8 - 2,5 GHz.

La cuarta generación (4G) inicio en el 2010 y su sistema se encuentra totalmente en protocolo de internet (IP) y su objetivo principal es proporcionar altas velocidades (0,1 - 1 Gbps) permitiendo así mayor calidad, capacidad, seguridad y servicios de bajo costo. Esta nueva generación mejoro considerablemente frente a sus antecesoras y dio inicio a servicios como: telefonía IP, acceso móvil web, videoconferencias, televisión 3D, computación en la nube, tv móvil de alta definición, entre otros [7].

En el 2015 se define la tecnología de la quinta generación (5G) como una arquitectura inalámbrica abierta y todo el enrutamiento se sigue basando en direcciones IP, esta nueva generación ofrece aumentar la velocidad de conexión (1 - 10 Gbps), disminución de latencia hasta 1 milisegundo y aumento del número de dispositivos conectados empleando las frecuencias entre 3 - 300 GHz [8].

### 1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La demanda del ancho de banda por los usuarios en la actualidad es cada vez más exigente, esto provocado por el surgimiento de nuevos servicios (redes privadas virtuales (RPV), telefonía IP, televisión de HD, televisión por suscripción, videoconferencia y juegos en línea) y terminales móviles de última generación (teléfonos inteligentes, tabletas, computadoras portátiles, etc.), hacen que las arquitecturas de redes convencionales no brinden la flexibilidad y garantía de calidad y para ello es necesario que las infraestructuras de comunicación soporten los servicios de las redes de siguiente generación (NGN) en la cual se ofrece una convergencia tecnológica de servicio multimedia (voz, datos y video) logrando una mayor variedad e integración de servicios ofrecidos [9], lo que proponemos es una novedosa solución tecnológica en cuestión de infraestructura de telecomunicaciones con mayor capacidad, eficiencia en el consumo de recursos y con bajo costo de despliegue de la red. La solución es reconocida por el programa de investigación e innovación horizonte (5GAuRA) financiado por Unión Europea y definido como un enfoque prometedor hacia el éxito de la era red 5G [10].

Una red de comunicación HETNETS permite mejorar la eficiencia espectral de una determinada área geográfica empleando nodos de acceso con diferentes características de potencia de transmisión y área de radiofrecuencia, dichos nodos funcionan como estaciones bases de baja potencia (1,5 - 2 W) denominadas como pequeñas celdas que son colocadas dentro del área de cobertura de una macro celda las cuales usan potencias altas (5 – 40 W) [11]. Este tipo de redes requieren de una etapa de diseño y planeación compleja de gran costo en donde las *small cells* surgen para cubrir áreas en donde existe una deficiencia o falta de cobertura provocada por la macro celda.

El diseño de la red se divide en 2 partes, la primera fase consiste de una red alámbrica (FO) no mayor a 1 km que enlace la central de acceso a internet con el nodo que transmitirá hacia la comuna Manantial de Colonche, esta forma de diseño se la realiza con el propósito de brindar una escalabilidad que consta en conectar más nodos a la central permitiendo el acceso a otras comunidades e incluso a la propia parroquia Colonche. La ubicación de los nodos, así como el medio de transmisión permite garantizar la línea de vista y la menor pérdida por atenuación hacia el nodo. El enlace inalámbrico que se origina en la parroquia Colonche y la capacidad del dispositivo transmisor será de tipo macro celda según su cobertura mayor a 4,2 km y la potencia del dispositivo que permitirá enlazar a un nodo ubicado en la comuna Manantial de Colonche.

Se pretende que el radioenlace supere el Gbps en ancho de banda empleando bandas de frecuencias no licenciada destinadas al servicio fijo y asignadas por los distintos organismos de normalización y administración nacionales e internacionales como la UIT [12]. Para la gestión de datos se emplea una solución tecnológica de red efectiva, escalable y rápida definido por el Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet (IETF) en el documento RFC-3031 como multiprotocolo de conmutación de etiquetas (MPLS) soporta cualquier tipo de tráfico y cualquier tipo de protocolo (IPv4, IPv6, DHCP, PPP) está trabaja en la capa de enlace de datos y la capa de red del modelo OSI. MPLS es creada para acelerar el tráfico en las redes identificando cada paquete con etiquetas sin analizar la procedencia logrando disminuir la latencia al eliminar procesos de análisis realizados en la capa de red, otra característica importante de MPLS es la reestructuración del uso del protocolo de puerta de enlace frontera BGP, por lo tanto, en las redes tradicionales se necesita habilitar un protocolo externo en cada ruteador para que estos puedan interactuar con otros sistemas autónomos situación que se evita en MPLS pero si se necesitan del protocolo de distribución en los routers borde de red (LER). MPLS brinda beneficios de optimización de flujo de tráfico, ingeniería de tráfico y calidad del servicio (QoS) [13].

Como segunda parte de la red HETNET se establece el diseño de una Red óptica pasiva con capacidad de gigabit aplicada a una conexión de red fibre to the home (FTTH), esta tiene una capacidad de soportar altas velocidades de transmisión y proporciona una estructura de tramas escalables con velocidades entre 622 Mbps a 2.5 Gbps. La arquitectura GPON inicia desde el nodo ubicado en la comuna Manantial de Colonche de donde la fibra pasa por medio de la terminal de línea óptica (OLT), dispositivo donde se analiza el funcionamiento de cobertura de la macro celda y capacidad de datos que recepta. La OLT da inicio a la derivación por medio de divisores de fibra hasta llegar al punto de conexión con la terminal de red óptica (ONT) [14]. El diseño de la red de planta externa se realiza mediante una distribución aérea cumpliendo con las recomendaciones de la normativa IUT-T G.984.x y plasmada de manera digital en el software AUTOCAD.

## **1.4 OBJETIVO DEL PROYECTO**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Estudio, diseño e implementación de una red HETNETS empleando en la distribución, conexiones de banda ancha fija de la arquitectura de red FTTH, utilizando el método de gestión de red (MPLS) que garantice el soporte de servicios 5G y aumentar la cobertura en zonas donde la señal no exista o no sea suficiente.

### **1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS**

- Realizar estudios de campo que permita recopilar información relevante para el desarrollo del proyecto y que brinden datos importantes para fortalecer la justificación del desarrollo de la propuesta tecnológica establecida.
- Establecer beneficios técnicos que ofrece la implementación de una red HETNETS en la comuna Manantial de Colonche.
- Emplear el análisis estratégico benchmarking enfocados en throughput y costos que los WISP ofrecen actualmente a los usuarios en la comunidad de estudio.
- Cumplir con las recomendaciones de UIT-R P.530-17 que se encuentra vigente sobre datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistema terrenales con visibilidad directa.
- Analizar los factores y métodos de conmutación y enrutamiento de paquete relevantes que interviene en el protocolo MPLS, describiendo sus componentes globales, reenvió, sus protocolos de distribución y aplicaciones potenciales en la red HETNETS sobre la red 5G.
- Emular el funcionamiento de la red MPLS usando software de definición de redes por computadora.
- Desarrollar el diseño de la red de planta externa cumpliendo con las recomendaciones de la Normativa UIT-T G.984.x que se encuentra vigente sobre redes GPON plasmada en el software AUTOCAD y usando símbolos y terminologías usados para la normalización de una red FTTH.
- Analizar la tasa de transmisión que nos ofrecerá esta implementación a fin de brindar más servicios de última tecnología NGN.
- Analizar el funcionamiento de los protocolos involucrados en la tasa de transmisión (downstream/upstream) en la OLT.
- Establecer presupuesto para gasto de capital (CAPEX) y gastos de operaciones (OPEX) para la implementación del proyecto.

## **1.5 RESULTADOS ESPERADOS**

La propuesta tecnológica planteado tiene como objetivo diseñar una red HETNETS para servicios de red 5G mediante la utilización de protocolos MPLS en la comuna Manantial de Colonche. A la final de su desarrollo se espera presentar:

- El despliegue del diseño de la red externa con las recomendaciones de la normativa ITU-T G.984.x mediante el software AUTOCAD.
- Análisis de los factores que intervienen dentro del protocolo MPLS en la red HETNETS.
- Aspecto, variable y relaciones que deben incorporarse para la ambientalización de la propuesta tecnología de la red heterogénea en la parroquia Colonche.
- Presupuesto para gasto de capital y gasto de operaciones de todo el diseño de la red HENETS de la parroquia Colonche.
- Demostrar que la infraestructura de una red HETNETS aplicadas, son las formas más viables para mejorar la cobertura, calidad y capacidad de una red.
- Demostrar la compatibilidad de la red con otras tecnologías de última generación con equipos empleados.
- Capacidad de optimizar de forma dinámica la conectividad de la red.

## 1.6 JUSTIFICACIÓN

La comuna “MANATIAL DE COLONCHE” está ubicada en la provincia de Santa Elena perteneciente al territorio Ecuatoriano y conformada por cuatro sectores (Las Palmitas, Las Lomas y Manantial zona 1 y 2), esta comunidad de aproximadamente 3840 habitantes y 2480 hectáreas en donde sus miembros en gran mayoría se dedican a la agricultura poseen viviendas en un 80% habitadas por familias de 5 - 6 personas y existen casos en donde 2 familias convive en una vivienda (8 - 10 personas) [15].

El presente trabajo se encuentra orientado a la zona 1 de esta comunidad debido a que cuenta con las condiciones ideales para el estudio. El número de población y familias fue proporcionada por el presidente de la comuna en la entrevista que nos brindó (481 habitantes/146 familias) ya que no cuenta con datos de censos realizados. La comunidad cuenta con comités de agua potable, instituciones educativas, deportivas, funerarias, asociaciones de jóvenes y la situación de acceso a esta comuna es estable y pavimentado en la vía Colonche – Bambil Collao. La situación socioeconómica de la comunidad según estudios de estudiantes de la Universidad Estatal de Península de Santa Elena (UPSE) realizado en el 2018 refleja tres indicadores, la primera es el creciente movimiento migratorio de la población hacia ciudades más desarrolladas con el objetivo de mejorar su calidad de vida, el segundo indicador es la necesidad básica insatisfecha que se posee en la comunidad y el ultimo indicador es el alto grado de analfabetismo (9,22 según censo poblacional 2010) debido a que no cuentan con un buen sistema académico [16]. En relación al servicio de telecomunicaciones la comunidad presenta limitaciones para acceder a un servicio de calidad que satisfagan los requerimientos que con el pasar del tiempo ser vuelven más exigentes, el desinterés de los ISP de implementar infraestructuras a la vanguardia de la tecnología actual es debido a los altos costos de inversión y la dificultad de acceso que provoca el espacio geográfico [17].

La comuna Manantial de Colonche se encuentra a 4,31 km de la parroquia Colonche (infraestructura de fibra óptica existente) y la inversión de un enlace de esta magnitud es estimable a los valores del enlace “CNT-EP Jubones – CNT-EP Sumaypamba” de distancia 4,22 km con costo estimado de \$41.778,67 según el proyecto “Estudio y diseño de una red de fibra óptica para el transporte de aplicaciones triple play en el trayecto Cuenca-Girón-Pasaje” [18]. Para analizar las actuales redes de telecomunicación es necesario separarlas en la red troncal, red de acceso y las terminales de los usuarios: la situación de la red troncal es considerada de capacidad casi ilimitada esto debido a los numerosos tendidos de cables submarinos existentes en todo el mundo (overbuilding) y a la tecnología de multiplexado denso

por división en longitudes de onda (DWDM) que permite transmitir numerosas longitudes de ondas en la misma fibra [19].

En Ecuador tenemos alcance a los cables submarinos SAM-1, PAN-AM, SPSC, PCCS, AURORA cable system [20]. La red de acceso ha mostrado un crecimiento lento y es en ese caso en donde se produce *bottle-neck* o cuello de botella situación descrita cuando la infraestructura de la red de acceso no es capaz de aprovechar los recursos de la red troncal. La solución de cambiar la infraestructura a una más eficiente crece de manera poco acelerada y las empresas se enfocan en los clientes más rentables en donde el tiempo retorno de inversión es corto.

El acceso a los servicios de telecomunicaciones en la comunidad de Manantial de Colonche se la hace mediante proveedores de servicio de internet inalámbrico (WISP) “SalinasNet” y “ManantialNet”, el diseño de este tipo de redes consiste en establecer un centro de operación de red (NOC) en donde se contrata un servicio de datos establecidos a un ISP y es de la NOC de donde se proporciona acceso a estaciones base ubicadas estratégicamente mediante enlaces Punto a Punto (PTP), a su vez en estas estaciones base se encuentran antenas sectoriales que proporcionan enlace inalámbrico a cada radio del equipo local del cliente (CPE) [21]. Esta infraestructura se escala mediante repetidores para llegar a más comunidades, actualmente los servicios que ofrecen estos WISP según su planes y tasa de transmisión real se muestran en la tabla 1:

Parámetros de análisis		SalinasNet	ManantialNet
		Costo	
Planes	5 Mbps	\$25	\$23
	7 Mbps	\$35	
	10 Mbps	\$45	
	Test de velocidad (Download/ Upload)		
Test de velocidad (Planes básicos)	Usuario 1	4,76 Mbps/3,74 Mbps	2,44 Mbps/2,19 Mbps
	Usuario 2	4,61 Mbps/4,01	6,50 Mbps/2,32 Mbps
	Usuario 3		3,89 Mbps/2,12 Mbps

Tabla 1.- Características de WISPs que operan en Manantial de Colonche.  
Tabla elaborada por el Autor

Los costos de los planes son expuestos en las páginas oficiales de los proveedores y tasa de transmisión real es determinada usando la herramienta web “Speedtest” herramienta web que permite analizar la trasmisión de datos entre un dispositivo y un servidor de prueba usando la conexión a internet, los test de velocidad están adjuntado en el Anexo 2. El principal



problema de los WISPs es el crecimiento acelerado provocado por la necesidad de ampliar su zona de cobertura para satisfacer a nuevos clientes, sus configuraciones no se encuentran desarrolladas bajo un protocolo de crecimiento de red que garantice la calidad del servicio a sus usuarios, esta mala gestión provoca la inconformidad de los clientes mostrada en la encuesta (Anexo 3) [22].

La tecnología avanza de manera significativa provocando que tengamos más áreas o zonas donde el servicio de comunicaciones es requerido y no llegue o inclusive sea inexistente, la demanda de los consumidores es indispensable en el diseño de una red de acceso [22]. Una de las soluciones que se plantean en enlaces de larga distancia es la comunicación inalámbrica, tecnología que usa el espacio libre para propagarse y emplea recursos esenciales de costo finito en comparación a las redes cableadas. La principal característica en los enlaces inalámbricos es la frecuencia, de esta depende particularidades físicas y técnicas que orientan a un área específica de aplicación, por ejemplo, frecuencias bajas (900 MHz) son empleadas para broadcasting (radiodifusión) debido a la tolerancia de obstáculos presenta la ventaja de no necesitar licencia para su uso y desventaja como niveles de ruidos altos. Por otro lado, mientras más alta es las frecuencias esta es menos susceptible al ruido, mayor tasa de transmisión y presenta desventajas como menor distancia de propagación y menos niveles de penetración a obstáculos [23].

El análisis realizado por el Banco Interamericano de desarrollo sobre el impacto de las infraestructuras digitales en periodos de crisis sanitaria (Covid-19), refleja que ampliar el acceso a la banda ancha en el hogar puede promover a beneficios sociales, inclusión e incremento del producto interno bruto (PIB). Durante las fuertes medidas de movilidad restringida tomadas para contrarrestar la propagación de la enfermedad, el acceso a las telecomunicaciones permitió continuar con la producción de servicios sociales, comerciales, medicas, y laborales en general, acciones que ayudaron a disminuir las pérdidas en el PIB (se calcula que cada país ha salvado entre un 20 y 25 % del PIB) [2].

La tecnología 5G ofrece una amplia gama de servicios inalámbricos a los consumidores a través de diversas plataformas de acceso permitiendo la conectividad ultrarrápida con muy baja latencia a múltiples dispositivos, tiene el objetivo optimizar los niveles de campos electromagnéticos. La existencia de nuevas tecnologías induce el incremento exponencial de la cantidad de datos en los dispositivos y las redes HETNETS son importantes para los operadores móviles y una forma de cubrir eficientemente el incremento exponencial de tráfico.

## 1.7 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la siguiente propuesta tecnológica se consideró las siguientes metodologías:

- **INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA**

Se efectúa búsqueda y revisión de fuentes bibliográficas, artículos e informes sobre el estudio y diseño de una red HETNETS enfocados a la zona de estudio. Se considera la revisión de trabajos similares al tema propuesto, artículos referentes a las redes 5G, HETNETS y MPLS; posteriormente se realiza una integración de información con el fin de establecer conceptos fundamentales para el desarrollo del tema propuesto.

- **INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA**

Se aplica el método descriptivo que se basa en el fundamento teórico que describen el problema y la recopilación de información; esta metodología o enfoque aborda un problema en específico y en base a ello se buscará una solución con innovación tecnológica existente que permitirá lograr las metas propuestas.

- **INVESTIGACIÓN APLICADA**

Se aplica la técnica de prueba y error con los equipos que se establecen como solución al problema planteado, esta metodología se aplica para comprobar principalmente la tasa de velocidad en el que se hace énfasis y de esta manera se garantiza el funcionamiento y corrección de problemas que se puedan presentar en la implementación de los equipos.

A continuación, se describen técnicas e instrumentos de investigación empleados para el desarrollo del trabajo:

### ***Observación directa***

La técnica de observación son procedimientos que se utiliza el investigador para presencias directamente el fenómeno que estudia, sin actuar sobre el esto es sin realizar cualquier tipo de operación que permita manipular a continuación se definen las técnicas que serán utilizadas en el proyecto.

### ***Entrevista***

La entrevista es una investigación cualitativa, es decir, una técnica para la recolección de información y datos, la cual es realizada a partir de una conversación cuyas orientaciones responden a propósitos concretos del estudio.

### ***Encuesta:***

Es una actividad de recopilación de datos a través de un banco de pregunta con la finalidad de comprobar si lo que se advierte es realmente evidente y no hipótesis básicas. En consecuencia, debe ser totalmente genuino y tratar de no poner normas propias o hechas.

A continuación, se puntualizan las fases en donde se aplicarán los métodos anteriormente detallados:

### **Fase 1: Estudio sobre estándar inalámbrico IEEE 802.11, protocolo MPLS y normativa para redes ópticas UIT-T G.984.**

Planeación tiene el objetivo de organizar y documentar la parte inicial del trabajo con un análisis preliminar. En este apartado se especificará a detalle la información esencial para el desarrollo del diseño como definición de términos e información de estudio de campo.

### **Fase 2: Estudio de propagación, emulación del protocolo MPLS y diseño de una red distribución óptica.**

Radio mobile y LINKPLANNER permiten tener una predicción de la propagación de onda de radio según las características de los equipos (potencia, sensibilidad, antena, entre otros) frente al perfil geográfico del lugar de estudio. Empleando en conjunto softwares de emulación y simulación (GNS3 y eNSP) se analiza los procesos de configuración y compatibilidad del protocolo MPLS en diferentes enrutadores y el diseño gráfico se realiza en AutoCAD detallando la ubicación de los elementos activos y pasivos que conforman la red.

### **Fase 3: Instalación y verificación de los equipos**

Resultados constara con las pruebas realizadas para comprobar el rendimiento de la red inalámbrica (que se encuentren dentro del alcance económico), y de esta forma determinar el grado de cumplimiento con respecto a los objetivos planteado dentro del proyecto finalizando con la entrega de documentación del proyecto.

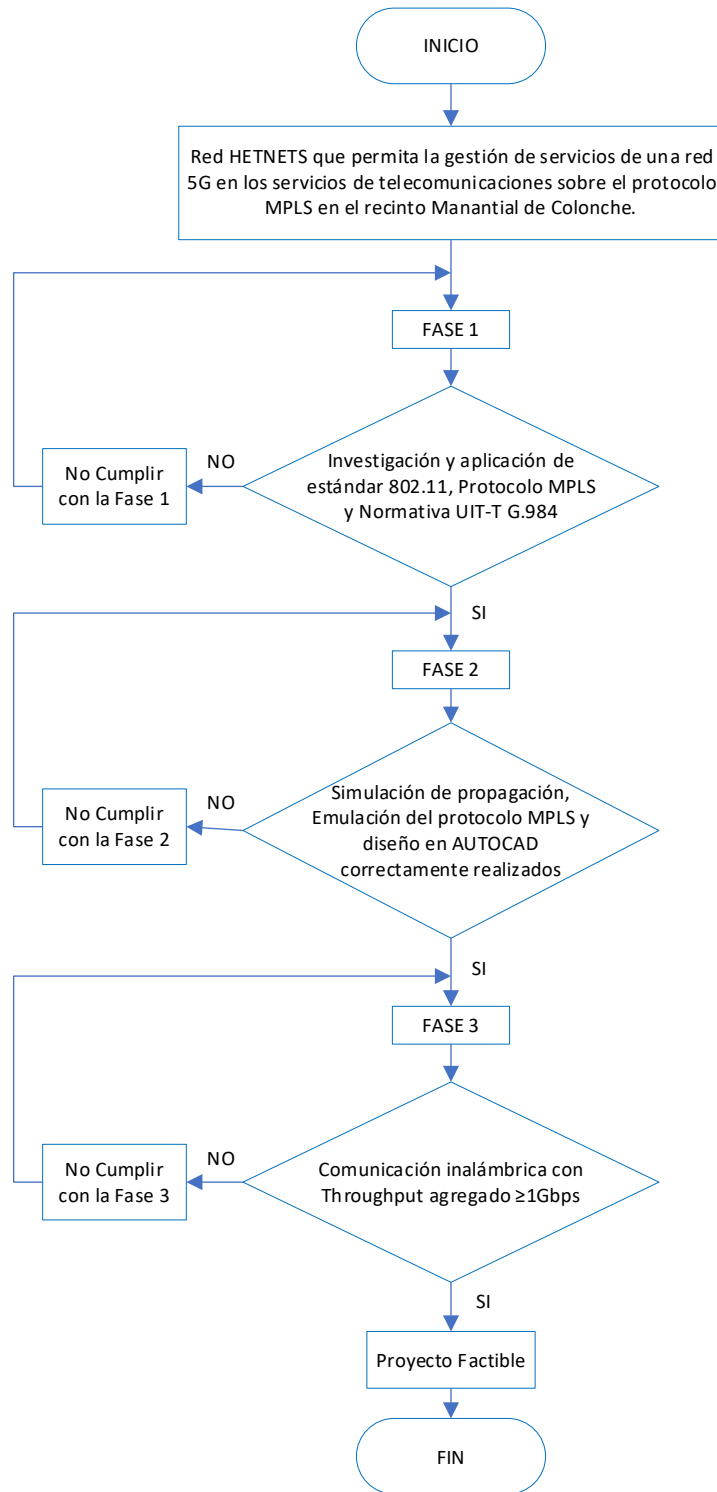


Diagrama de Flujo 1.- Fase aplicación de los métodos de investigación.

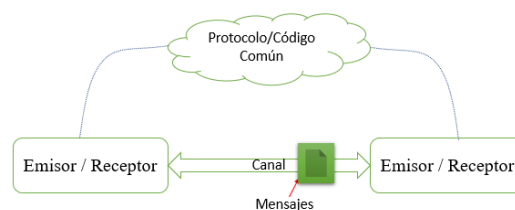
## CAPITULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA PROPUESTA

### 2.1 MARCO CONCEPTUAL

#### 2.1.1 SISTEMA DE TELECOMUNICACIÓN

En el área de la ingeniería de telecomunicaciones o comunicaciones, se ha extendido el concepto básico un sistema de comunicación que se orienta en el intercambio de información entre personas y animales ya sea mediante un lenguaje, gestos o signos; este concepto se amplía con la comunicación entre máquinas y es en esta rama de la ingeniería en donde se estudia la generación, transmisión, procesamiento y recepción de señales que se realiza empleando medios eléctricos, electromagnético, óptico, acústico, entre otros.

Un sistema de telecomunicación es aquel conjunto de elementos, dispositivos y técnicas que permiten realizar el envío de información entre una fuente de origen y uno o más receptores [24]. En la figura 1 se puede observar los elementos que conlleva el proceso de comunicación, para que esta se pueda llevar a cabo en un sistema donde intervienen máquinas, al igual que las personas y animales que se comunican a través de un lenguaje, gestos o escritura; las maquinas pueden emplear distintas tecnologías, lenguajes y medios que permitirán el intercambio de información entre el origen y destino, para que la comunicación se realice de forma correcta se debe usar un código común (mismo lenguaje) o protocolo, compuesto por reglas, códigos y símbolos que definen la sintaxis y gramática del mensaje que debe ser común en todo el sistema involucrado en la comunicación [25].



*Figura 1.- Elementos del proceso de comunicación.  
Imagen elaborada por el Autor*

El elemento canal de un sistema de telecomunicación es de gran importancia y su selección se ve directamente relacionada a las prestaciones de recursos que cada medio ofrece, en la actualidad existen diversos medios físicos que se pueden usar para establecer comunicación y de los más destacados se encuentran el par trenzado, línea eléctrica, RF y cableado óptico; la tecnología inalámbrica y la fibra óptica están siendo las más usadas en la actualidad debido a las prestaciones que ofrece y el bajo costo. Como se observa en la figura

2, según la forma de transmitir la señal los medios de transmisión se clasifican en 2 grandes grupos: medios guiados y no guiados [25].

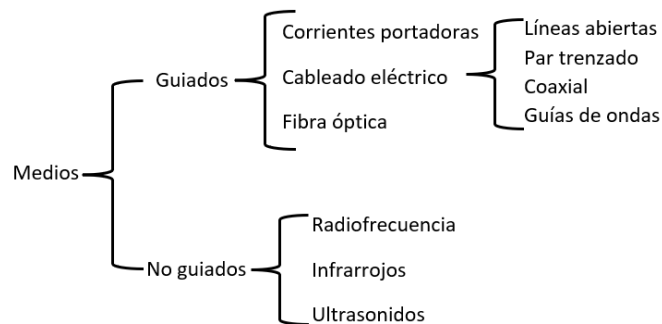


Figura 2.- Tipos de medios de transmisión.  
Imagen elaborada por el Autor

### 2.1.2 COMUNICACIONES ALÁMBRICAS

Un sistema de comunicación alámbrico hace referencia al tipo de medio de transmisión guiado por el que la información procedente del emisor se dirige al receptor, este medio usa caminos físicos que pueda transmitir una señal de tipo eléctrico o fotoeléctrico entre puntos geográficamente distantes. Las características más resaltantes de este medio guiado son: el tipo conductor utilizado, velocidad máxima de transmisión, inmunidad frente a interferencias electromagnéticas, distancia máxima, facilidad de instalación y capacidad de soportar diversas tecnologías. De modo que, dentro de los más utilizados de este campo de comunicaciones e interconexiones de equipos, están los conductores metálicos (cable coaxial, par trenzado) que transmiten señales eléctricas, también se encuentra el cable de plástico o cristal (fibra óptica) que permite una transmisión de luz u ondas electromagnéticas [26].

A continuación, se describirán los medios guiados más conocidos dentro del área de telecomunicaciones:

#### **Fibra óptica**

La fibra óptica se utiliza considerablemente en el área de telecomunicaciones, este medio permite enviar grandes cantidades de datos a gran velocidad y más rápido que los enlaces de comunicaciones como la radio y cable que son utilizadas para redes locales. Para este medio guiado la normativa del cableado de la fibra óptica se rige de la ITU y en colaboración de normas sobre cableado estructurado del instituto nacional estadounidense de estándares (ANSI), alianza de industrias electrónicas (EIA), y asociación de la industria de las telecomunicaciones (TIA), que son importantes para el adecuado rendimiento y funcionamiento de las instalaciones [27].

## Cable par trenzado

El cable par trenzado es el medio físico más amplio y el más utilizado desde la creación de redes de datos. Un par trenzado es similar al cable telefónico, conformado por grupos de cuatro pares de conductores metálicos en forma helicoidal, permitiendo reducir los diferentes tipos de interferencias electromagnéticas externas [28].

En relación con la estructura de todos los cables par trenzado generalmente no difieren significativamente, dado que acorde a cada fabricante estos introducen tecnologías adicionales, por otra parte, el cable está compuesto por un conductor interno tipo circular que es aislado por una capa de polietileno coloreado, debajo del aislante existe otra capa de esta, que posee una sustancia antioxidante para evadir una corrosión del cable, no obstante, es significativo esclarecer que regularmente este tipo de cable no se trabaja por unidades, por consiguiente, se maneja por par o grupos de pares, también conocido como cable multipar [29].

Los estándares para el cableado estructurado poseen varios tipos de conexiones que pueden utilizarse al momento de ensamblar; la EIA creó el estándar TIA / EIA – 568 - B, 568 - A y 568 - B1 que abarcan las directrices sobre el diseño e instalación [30]. El cableado estructurado en par trenzado los más comunes son:

- **Par trenzado no blindado:** conocido por la sigla “UTP”, es un tipo de cable sin pantalla adicional mostrada en la figura 3, y con las siguientes características: fácil instalación, compatibilidad electromagnética moderada, excelente desempeño en gran parte de necesidades, además, soporta aplicaciones de media y alta velocidad en redes locales como el 802.3 ethernet, telefónica analógica y digital, entre otras [26]. Para este tipo de cable de cobre, la EIA estableció la normativa TIA / EIA – 568 - A que cataloga a los cables UTP en categorías de acuerdo a sus características que se presenta en la tabla 2, no obstante, la norma ANSI / TIA – 568 - C.2, establece que el cable de categoría debe poseer un diámetro exterior inferior a 0.354 in [31].

Categoría	Frecuencia Max (MHz)	Vueltas/m	Tipo cable	Tipo conector	Uso Ethernet (Mb/s)
1	No especifica	0	UTP	RJ45	No se utiliza
2	1	0	UTP	RJ45	1
3	16	10-16	UTP	RJ45	10-100
4	20	16-26	UTP	RJ45	10-100
5	100	26-33	UTP	RJ45	100
5E	100		UTP	RJ45	1000
6	250 <sup>2</sup>		UTP	RJ45	4000

Tabla 2.- Categoría de cable UTP.  
Tabla elaborada por el autor



Figura 3.- Cable Par trenzado no blindado (UTP).  
Imagen tomada del libro “Elementos de sistemas de telecomunicaciones”

- **Cable trenzado con pantalla global:** conocido por la sigla “FTP”, este tipo de cable es similar al UTP, la diferencia de este es debido a que sus pares no están apantallados como se puede observar en la figura 4, pero aun así posee una pantalla global para mejorar el nivel de protección contra las interferencias externas y entre sus características ofrece una gran compatibilidad electromagnética ideal para ambientes como industrias, estaciones de radio, entre otras, asimismo, para altas interferencias electromagnéticas (EMI) [26]. Para este tipo de cableado esta los estándares o normativas CENELEC 50173 de Europa, ISO 11801 y TIA/EIA 568B que recomienda a FTP la transmisión de datos [32].



Figura 4.- Cable trenzado con pantalla global (FTP).  
Imagen tomada del libro “Elementos de sistemas de telecomunicaciones”

- **Par trenzado apantallado:** conocido por la sigla “STP”, es semejante al cable UTP, no obstante, este se caracteriza por robusto ya que cada par dispone de un recubrimiento metálico y un blindaje de malla que los envuelve como se representa en la figura 5, en cuanto a sus características ofrece capacidad para aplicaciones múltiples, inmunidad al ruido eléctrico, y excelente desempeño, por otra parte, también necesita una configuración de interconexión a tierra [26]. La normativa para la construcción y distribución de este tipo es ANSI/TIA/EIA – 568 - A, especificación dada por el estándar de cableado de edificios comerciales de la asociación industrias electrónicas e industria de la telecomunicación (EIA/TIA) [33].





Figura 5.- Cable par trenzado apantallado o blindado (STP).  
Imagen tomada del libro "Telecomunicaciones I"

## Cable coaxial

El cable coaxial representado en la figura 6, es un medio guiado que permite la transmisión de datos y está construido por un núcleo conductor formado por un hilo sólido denominado conductor interno rodeado por un aislante de material dieléctrico, a su vez, recubierto por un blindaje que es el conductor externo y este también tiene una cubierta de plástico en todo el cable. Con relación a la estructura física tenemos ventajas como su fácil instalación, menor atenuación que los cables pares trenzado, bastante inmune a interferencias y diversos tipos de cable para aplicaciones específicas [26].

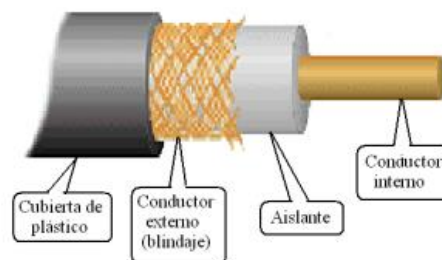


Figura 6.- Estructura del cable coaxial.  
Imagen tomada del libro "Telecomunicaciones I"

Este tipo de cable es utilizado por diversas aplicaciones tecnológicas como son: las redes urbanas de televisión por cable e internet, equipos de radioaficionados, redes telefónicas interurbanas y transmisión de datos, líneas de distribución de señal de video, entre otros, al igual que es requerido para fines de transmisión a larga distancia. En relación con las normas de aplicación de los diversos cables coaxiales estos son definidos por las siglas de radiofrecuencia – gobierno (RG) seguida por una numeración progresiva del tipo y letra de especificación universal (U) como puede ser A / U, B / U, etc [34], estas indican las sucesivas sustituciones y modificaciones del tipo original, los más frecuentes son: RG - 8, RG - 9, RG - 11 comúnmente usados para ethernet de cable grueso con 50 ohmios, RG - 58 requerido para ethernet de cable fijo con 50 ohmios, por último el RG - 59 solicitado para TV por cable con 75 ohmios [35]. El estándar que debe cumplir es la norma MIL – C - 17, que es el que establece las particularidades dimensionales y eléctricas del cable coaxial [36].

### **2.1.3 COMUNICACIONES ÓPTICAS**

La comunicación óptica es el origen de las modernas telecomunicaciones de banda ancha, dado que sin ellas hoy en día no sería viable el internet y las comunicaciones móviles como las conocemos y regocijamos actualmente, así como las diversas oportunidades que nos brinda con relación a entretenimiento y negocios. Los sistemas de comunicaciones ópticas son de cierto modo único y especial, debido a que emplea la luz como portadora de información, esta nos otorga unas propiedades singulares que las hacen adecuadas para una serie de aplicaciones y al mismo tiempo un cierto círculo luminoso misterioso y en cuanto a la tecnología básica que los soporta, así como en lo relativo de sus principios de funcionamiento.

En este tipo de comunicación utiliza las bandas ópticas del espectro electromagnético para la transmisión de información, dentro de esta existen varias formas que pueden ser mediante las comunicaciones no guiadas donde la luz se transmitirá a través del espacio libre, como también puede ser por comunicación guiada, en este caso realiza el uso de una portadora que es la denominada fibra óptica.

### **2.1.4 FIBRA ÓPTICA**

La fibra óptica se utiliza ampliamente dentro del área de telecomunicaciones, siendo un medio de transmisión de señales de comunicación que se basa en un filamento delgado de plástico o vidrio representada en la figura 7, y cuyo interior transporta una energía luminosa, así mismo, por su capacidad de transmitir datos a una gran velocidad, también está su versatilidad la que hace que sea indispensable para las diferentes aplicaciones como televisión interactiva, videoconferencia o internet, incluso es utilizada en la rama de medicina debido a que la fibra óptica es inmune ante perturbaciones electromagnética, también entre las características destacables tiene: mayor protección para lugares húmedos, empaquetado de alta densidad, inmune a las interferencias, menor atenuación, uso dual, cobertura que posee un 25% más de material que la cubierta convencional, seguras, ligeras y compactas, referente a como está compuesta, esta se compone de tres partes fundamentales que es: el núcleo donde transitará la señal de luz (luminosa), revestimiento cuya finalidad es limitar el haz de luz dentro del núcleo, por último la cubierta protectora con el objetivo de proteger al núcleo y revestimiento de futuros o posibles deterioros mecánicos [26].

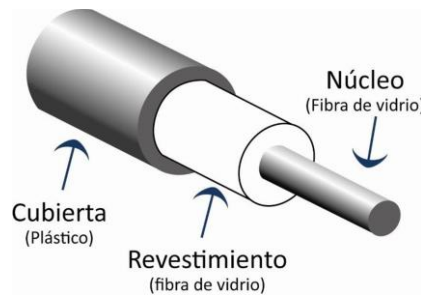


Figura 7.- Fibra óptica constituida por tres partes principales.  
 Imagen tomada del libro "Elementos de sistemas de telecomunicaciones"

En la clasificación de la fibra óptica va según al modo de propagación, en este caso existen dos grupos:

### Fibra Monomodo

La fibra monomodo diseñada para propagar un solo haz de luz en forma paralela a través del núcleo de la fibra tal como se observa en la figura 8, dado que el diámetro es muy pequeño, de menos de 9 micrómetro, esto hace que el rayo viaje de forma directa y el impulso del haz de luz único elimina cualquier distorsión la cual puede resultar de una superposición de impulsos de luz, por ende, este proporcionará una atenuación de la señal menor y mayor capacidad en velocidad de transmisión y hasta 50 veces más en distancia a diferencia de cualquier otro tipo de cable de fibra.



Figura 8.- Propagación del haz de luz en la fibra monomodo.  
 Imagen elaborada por el autor

Su diámetro dependerá del fabricante que esta entre 8 a 10  $\mu\text{m}$ , esta puede propagarse a la longitud de onda entre 1310 nm y 1550 nm, así mismo, posee un ancho de banda que alcanza los 100 GHz/km.

Para este tipo de fibra óptica debido a que su fabricación se basa en diferentes concentraciones de dopaje en el filamento de vidrio, se adoptan las siguientes recomendaciones como son: ITU-T G.652 que describe los atributos geométricos, mecánicos y transmisión, G.653 se refiere a la dispersión desplazada que tiene la longitud de onda de dispersión cero nominal, G.654 recomendación que describe la longitud de onda de dispersión con las pérdidas mínimas y un corte desplazado, G.655 recomendación establecida para fibra óptica con dispersión desplazada no nula, es decir, con un coeficiente de dispersión cromática, que es

mayor que un valor distinto de cero referente en longitudes, G.656 recomendación que se refiere a la fibra con dispersión cromática mayor que un valor distinto de cero en la gama de longitudes de onda entre 1460 – 1625 nm, y G.657 esta se refiere a dos categorías de fibra óptica que tiene un rendimiento de pérdida por flexión [37].

### Fibra Multimodo

La fibra óptica multimodo tiene un núcleo de mayor diámetro que permite la propagación de varios haces de luz de manera simultánea. La distancia máxima de transmisión del cable es de 550 metros con velocidad de 10 Gb/s, aunque también puede transmitir a distancia lejanas con una velocidad de datos muy bajo y requieren de diodos laser de baja intensidad, y tiene longitudes de ondas que va desde 850 y 1310 nm, el diámetro típico de la fibra multimodo está entre 50, 62.5 y 100 micras, cabe recalcar, que el núcleo de 50 y 62.5 um, permite tener una mayor capacidad de “recolección de luz”, el ancho de banda es muy limitado debido a su haz de luz.

El núcleo de este tipo de fibra tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. A causa del gran tamaño del núcleo de esta, es más fácil conectar y tiene mayor tolerancia a componentes de menor precisión, además, permite tener mayor dispersión, por ende, pérdida de señal, es comúnmente utilizado para redes LAN [38]. También se clasifican por el tipo de “perfil de índice” mostrada en la figura 9: **perfil índice escalón** tiene un núcleo con un índice de refracción constante en toda la sección cilíndrica, cuya dispersión modal es alto, por último, tenemos **perfil índice gradual** cuyo índice de refracción no es constante con una dispersión modal menor y su núcleo se construye de diferentes materiales.

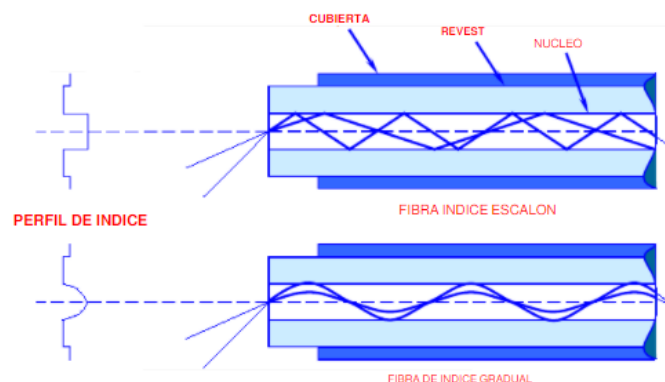


Figura 9.- Propagación de los haces de luz de la fibra multimodo según el tipo.  
Imagen tomada del libro “Manual de comunicaciones por fibra óptica”

La recomendación que se rige la fibra multimodo es la G.651.1, permitiendo su uso en redes ethernet de 1 Gbs alcanzando 550 metros de longitud, siendo compatible con dispositivos transceptores de 850 nm [37]. Además, según el sistema ISO 11801 para poder clasificar según su ancho de banda se debe incluir el multimodo sobre laser a los ya existentes multimodos sobre LED, estos pueden ser:

- **OM1:** diámetro de 62.5 um, ancho de banda de transmisión saturada esta entre 200/500 MHz\*km, soporta hasta 10 Gbit/s, utiliza LED como emisor.
- **OM2:** diámetro de 50 um, ancho de banda de transmisión saturada de 500 MHz\*km, admite 10 Gbit/s con longitud de hasta 82 metros y usa LED como emisor.
- **OM3:** diámetro de 50 um, ancho de banda de transmisión saturada de 2000 MHz\*km, admite 10 Gbit/s hasta 300 metros, capaz de soportar 40 y 100 Gbit/s, usa láser como emisor.
- **OM4:** diámetro de 50 um, ancho de banda de transmisión saturada de 47000 MHz\*km, fibra optimizada para laser, capaz de ejecutar 40/100 GB hasta 150 metros.
- **OM5:** diámetro de 50 um, ancho de banda de transmisión saturada de 28000 MHz\*km, admite al menos cuatro canales WDM con velocidad mínima de 28 Gbps [39].

### **2.1.5 REDES DE FIBRA ÓPTICA**

Las redes ópticas proporcionan la columna dorsal de comunicación de internet, dado que el tráfico de internet ha crecido exponencialmente con servicios y aplicaciones cada vez más diversificado, la capacidad de las redes ópticas debe expandirse en consecuencia. Una red de fibra óptica es el mejor medio para comunicación digital y telecomunicaciones que permite a los usuarios el envío de grandes volúmenes de información a velocidades similares, son inmune a interferencias electromagnéticas, superando de esta forma las restricciones de las redes tradicionales de comunicación por cable de cobre. Los cables de fibra son flexibles, delgados y ligeros permitiendo un valioso grado de satisfacción en instalaciones. Existen varios tipos de conexiones de fibra óptica bajo las siglas FTTx, siendo “x” la letra que sustituye y determina la configuración a utilizar.

#### **Arquitecturas de redes de fibra óptica**

La arquitectura fibra hasta “x” (FTTx) es un término genérico utilizado para designar una serie de topologías que emplean fibra óptica para comunicar a usuarios de un acceso de red con la red de una operadora de telecomunicaciones. La “x” de las siglas FTTx puede

representar las diferentes configuraciones mostradas en la figura 10 y cuyos significados son: fibra hasta el hogar (FTTH), edificio (FTTB), acera (FTTC) y nodo (FTTN).

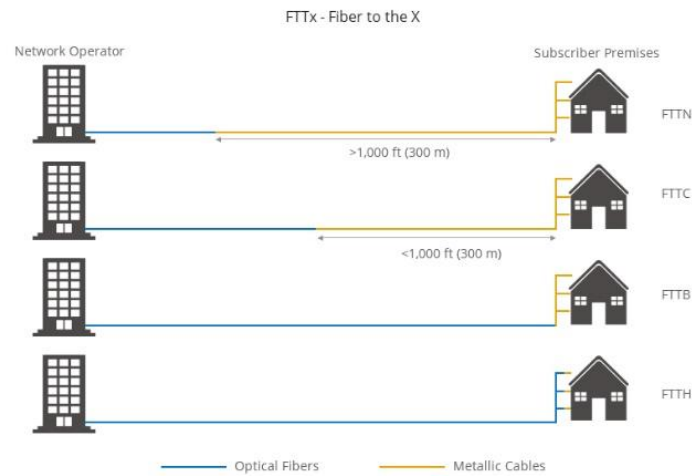


Figura 10.- Diagrama de arquitectura FTTx.  
Imagen tomada del blog "community FS"

A continuación, se describirá las diversas arquitecturas FTTx que son:

### Fibra hasta el hogar

Fibra óptica hasta el hogar es una topología que hace referencia al uso del cableado de fibra y sistemas de distribución para proveer servicios directamente a la residencia como se observa en la figura 11, en otras palabras, desde la red que es desde el proveedor de internet hasta el hogar del usuario.

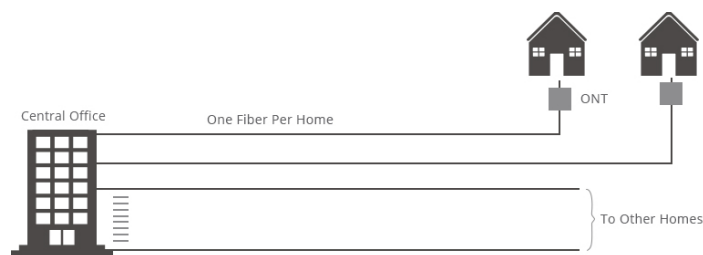


Figura 11.- Arquitectura de red de fibra óptica hasta el hogar.  
Imagen tomada del sitio web "community|FS"

### Fibra hasta la acera

Es una arquitectura de red de fibra/cobre híbrida avanzada representada en la figura 12 en donde la fibra es desplegada desde la central de red hasta un punto de distribución que da servicio a algunas manzanas, en otras palabras, hace referencia al empleo de fibra desde el centro de conmutación hasta un nodo intermedio o cabina que se encuentre cercano al abonado, posterior a esto aprovechan el uso de infraestructura de cobre heredada existente para llegar al cliente final.



Figura 12.- Arquitectura de fibra hasta la acera.  
 Imagen tomada del sitio web "francescor"

### Fibra hasta el nodo

Fibra hasta el nodo se caracteriza por el despliegue de fibra óptica desde una central principal hasta un nodo intermedio, el abonado debe estar dentro de un radio de una milla, cuyo recorrido hasta el hogar es denominada última milla, para esta conexión final se puede realizar mediante cables coaxiales o cobre heredados existentes como se muestra en la figura 13.

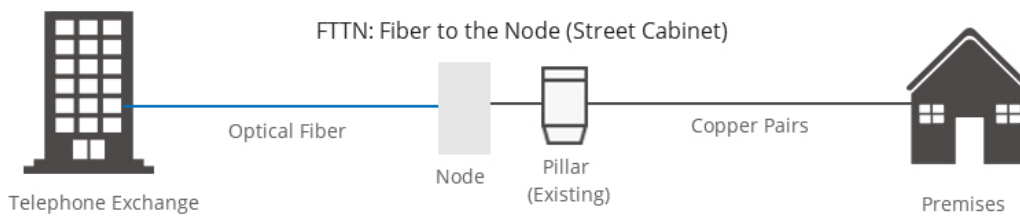


Figura 13.- Arquitectura FTTN.  
 Imagen tomada del sitio web "Fs|community"

### Fibra hasta la antena

Fibra hasta la antena es una arquitectura de red de banda ancha que distribuye las señales a través de fibra óptica a un cabezal de radio remoto (RRH) simbolizada en la figura 14, la función de esta arquitectura es convertir las señales digitales en analogías ubicada en la parte superior de la torre sustituyendo al cable coaxial que era empleado hacia la antena.

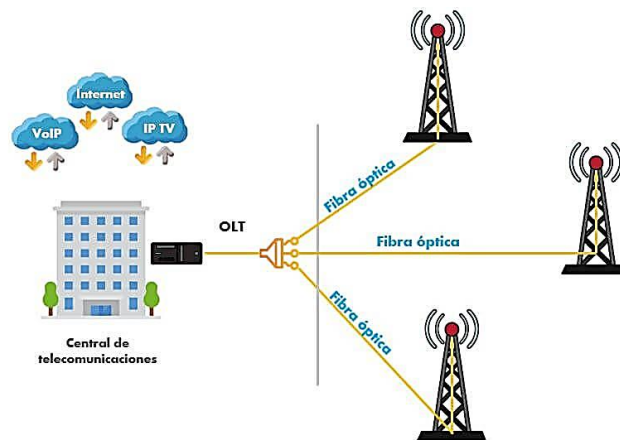


Figura 14.- Arquitectura FTTA.  
 Imagen tomada del sitio web "SISUTELCO"

## Fibra hasta el edificio

Fibra hasta el edificio hace referencia a la tecnología de banda ancha digital que emplea la conexión por fibra hasta la ubicación designada dentro del edificio, es decir, el despliegue de fibra óptica que es utilizada para conectar a bloques de apartamentos dentro de un edificio aprovechando el cableado de cobre existente para cubrir toda el área y brindar conectividad de red, este diseño es mostrado en la figura 15.

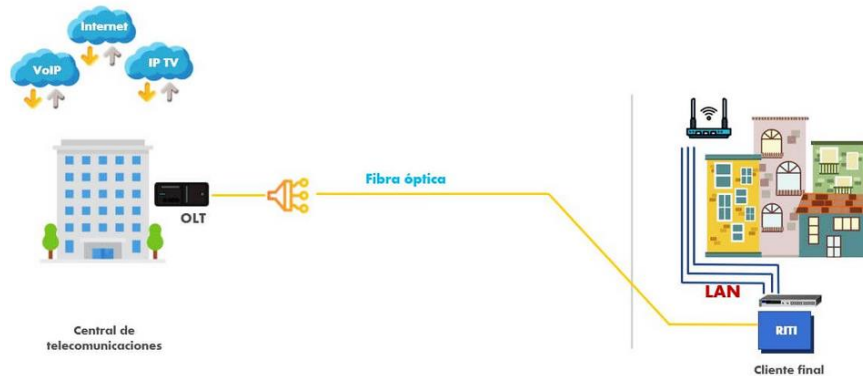


Figura 15.- Arquitectura FTTB.  
Imagen tomada del sitio web "SISUTELCO"

### 2.1.6 RED ÓPTICA PASIVAS GIGABIT

La red de fibra óptica opera en diferentes estándares de redes ópticas pasiva (PON), uno de los muchos estándares de PON es GPON. Una red GPON es un mecanismo de acceso punto a multipunto cuya arquitectura básica es representada en la figura 16. Su característica principal es el uso de divisores pasivos en la red de distribución de fibra, lo que permite que una única fibra de alimentación desde la ubicación central de red sirva a múltiples usuarios dentro de sus hogares y pequeñas empresas, también admite todo tipo de protocolo ethernet, por otra parte, GPON proporciona 2.5 Gb/s de ancho de banda descendente y 1.25 Gb/s ascendente dividido por la relación que se comparte entre los usuarios, entregando una red de fibra de alta capacidad personalizable para formas de servicios basados en una dirección IP.

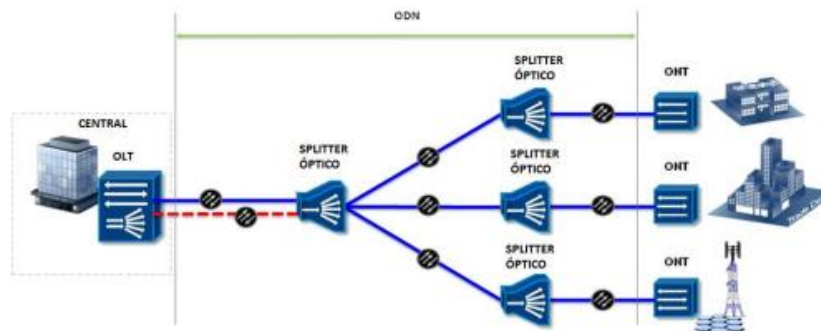


Figura 16.- Arquitectura de la red GPON.  
Imagen tomada de la presentación de "ANALISTA O&M"



## Componentes de una red GPON

Un sistema GPON está compuesto por cuatro componentes principales:

### Terminal de línea óptica

En una red GPON, los OLT son un elemento principal de la red, la apariencia de estos equipos es mostrada en la figura 17, y generalmente se encuentran ubicadas en la central local. Una OLT convierte las señales ópticas que se transmiten a través de la fibra en señales eléctricas y las presenta a un conmutador ethernet central. Por otra parte, esta puede conectar con varias ONU mediante divisores ópticos para controlar, gestionar y distribuir las ONU.



Figura 17.- Terminal de línea óptica.  
Imagen tomada del sitio web "SYSCOM"

### Red de distribución óptica

La red GPON utiliza una infraestructura de cableado físico pasivo para transmitir una señal a los usuarios finales en una red de telecomunicaciones, el esquema básico se puede observar en la figura 18. Los medios de transmisión incluyen divisores ópticos pasivos, conectores de fibra óptica y componentes periféricos, además de conectar los dispositivos OLT y ONT/ONU. Cabe resaltar que todos los componentes de la red de distribución óptica se deben considerar el presupuesto de pérdida de canal para conseguir un alto rendimiento del sistema.

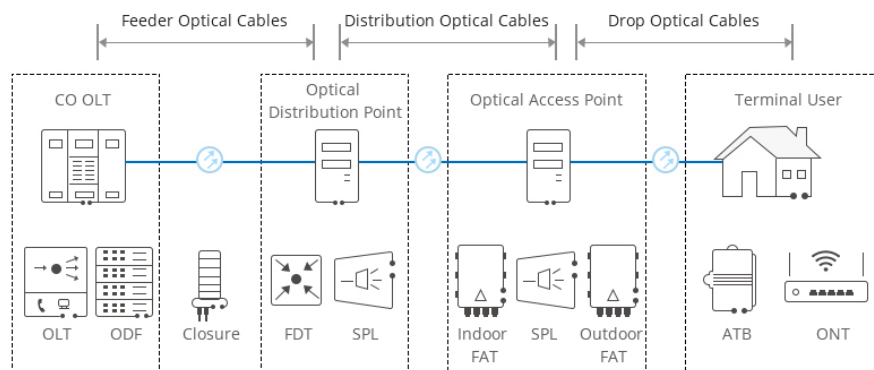
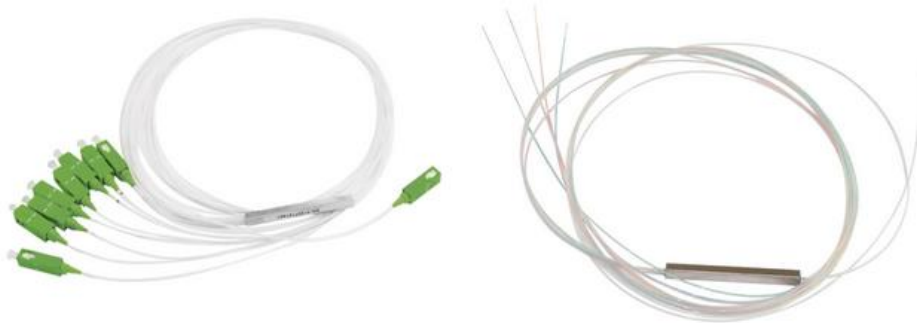


Figura 18.- Esquema ODN.  
Imagen tomada del sitio web "HUAWEI"

## Divisor de fibra óptica

Como parte de los medios de transporte, el divisor de fibra óptica mostrado en la figura 19, es también conocido como divisor de haz permite el mantenimiento de varios dispositivos desde una única fibra entrante y es uno de los dispositivos pasivos más importantes para la red de fibra óptica. Los divisores tienen baja pérdida de inserción, amplio rango de longitud de onda, alta confiabilidad, menos dimensiones y es compatible con la seguridad de la red.



*Figura 19.- Splitter.  
Imagen tomada del sitio web "SYSCOM"*

## Terminal de red óptica

La ONT es un dispositivo que normalmente se encuentra cerca del tomacorriente del área de trabajo y teniendo la forma mostrada en la figura 20, es decir, se conecta al punto de terminación con un cable de fibra óptica y a su enrutador a través de un cable LAN / Ethernet. ONT posee varios puertos Ethernet para la conexión a servicios IP como teléfonos, puntos de acceso inalámbricos, portátiles entre otros componentes de video. En GPON, el transceptor en el ONT es la conexión física entre las instalaciones del cliente y oficina central OLT.



*Figura 20.- Terminal de red óptica (ONT).  
Imagen tomada del sitio web "SYSCOM"*

## 2.1.7 NORMATIVAS UIT PARA REDES ÓPTICAS PASIVAS

En la actualidad, existe la necesidad de poder ofrecer al cliente excelentes costos, calidad de servicio para ello se requiere de un conjunto de recomendaciones que se encargaran de regular la estructura de red y las diversas características de equipos que están bajo el estándar GPON. Las normas aprobadas en la unión internacional de Telecomunicaciones (UIT), en especial del grupo UIT-T de la serie G. de sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales. Las normativas UIT-T G.984.x hace referencia al conjunto de recomendaciones amplias y complejas en las cuales se describen y ayudan a tomar una base sobre la topología GPON para el diseño y certificación, también facilita un criterio extenso que busca optimizar recursos como elementos pasivos. A continuación, se describirá las normativas que engloban a la red de fibra óptica pasiva gigabit.

### UIT-T G.984.1

Esta normativa describe las características generales de los dispositivos ópticos con capacidad gigabit, además de los sistemas de redes ópticas pasivas y requisitos de servicio GPON, aprobada en 2008 por la UIT. Entre las características generales se presenta la siguiente tabla 3:

Características	ITU-T 984.1
Tasa de bits (Gb/s)	1,2 Gbit/s; 2,4 Gbit/s – sentido descendente 1,2 Gbit/s; 2,4 Gbit/s- sentido ascendente
Seguridad	Técnica de encriptación
Arquitectura de la red	FTTH, FTTB/C, FTTCab
Distancia diferencial de fibra	20 km
División max	1:64-1:128
Alcance lógico max	60 km
Alcance físico max	20 km
Retardo medio max de transferencia	1,5 ms
Tipo de interfaz	Servicio, usuario
Servicios	UNI, SIN

Tabla 3.- Características de la norma ITU-T 984.1.  
Tabla elaborada por el autor

## **UIT-T G.984.2**

Este estándar presenta los requisitos de la capa física y especificaciones de la capa dependiente de los medios físicos. Por otro lado, se centra esencialmente en los servicios con requerimientos de ancho de banda de los servicios para una empresa.

Dentro de esta recomendación se contempla a la red de acceso óptico (OAN) el cual debe permitir al operador de red brindar versiones renovadas con la suficiente flexibilidad para compensar los requerimientos expectantes de sus usuarios, en particular, dentro del área de la red de distribución óptico (ODN).

Además, muestra un sistema de velocidades de línea nominales de 155.5, 622.08, 1244.16 y 2488,3 Mbit/s en sentido ascendente, de la misma forma, 1244.16 y 2488.32 Mbit/s en sentido descendente. Por otra parte, hace mención del modo de transferencia de la arquitectura GPON con el objetivo que tenga la capacidad de soportar altas velocidades de datos, esencialmente en el transporte de servicios de datos. En tanto a los servicios e interfaz usuario-red y nodo de servicio se encuentra descrito brevemente en la Rec. UIT-T G.984.1 [40].

## **UIT-T G.984.3**

Esta recomendación describe la capa de convergencia de transmisión para la red GPON, capaz de ofrecer una gama de servicios de banda ancha y estrecha, que operan a velocidades de 1.25 y 2.5 Gbit/s en sentido ascendente y 2.5 Gbit/s descendente. Por otro lado, esta recomendación menciona características de la red PON, especificaciones sobre el formato de trama, el método de funcionalidad y seguridad de operación, método de control de acceso a los medios, el método de rango, funcionalidad y seguridad, canal de mensajería de operación, administración y mantenimiento de la capa física (OAM), que posee un modelo de gestión facilitando al operador la administración remota de la ONT [41].

Por otra parte, la normativa UIT-T G.984.3 actualmente en vigor y aprobada en 2020 dado a las modificaciones introducidas a la enmienda 1 admitida en 2014, también se centra en los problemas de la fibra, de convergencia de transmisión (TC) entre el usuario-interfaz de red y la interfaz usuario-red, además, las especificaciones de la gestión de energía de la organización de las naciones unidas (ONU) basada en un protocolo, método

de registro de la red de acceso óptico (OAN), y seguridad de convergencia de transmisión de las PON.

#### UIT-T G.984.4

Esta recomendación detalla la gestión de ONT y especificación de interfaz de control (OMCI) para sistemas GPON, en el que aborda la gestión de la configuración ONT, gestión de fallos y del rendimiento, así mismo, especifica entidades gestionadas de una base de información de gestión (MIB) independiente al protocolo que forma el intercambio de información entre la OLT y ONT.

No obstante, las especificaciones OMCI aborda la gestión de la configuración ONT, gestión de fallas y gestión del rendimiento de red óptica y para diferentes servicios, que incluyen:

- Capa de adaptación del modo de transferencia asincrónica (véase en la figura 21).

	Class A	Class B	Class C	Class D
Timing relation between source and destination	Required		Not required	
Bite rate	Constant	Variable		
Connection mode	Connection-oriented			Connectionless
AAL Protocol	Type 1	Type 2	Type 3, Type 5	Type 3/4

Figura 21.- Capa de adaptación ATM.  
Imagen elaborada por el autor.

- Capas de adaptación del método de encapsulación GPON (GEM) (véase en la figura 22).

GEM header (5 bytes)	Transaction correlation identifier (2 bytes)	Message type (1 byte)	Device identifier (1 byte)	Message identifier (4 bytes)	Message contents (32 bytes)	OMCI trailer (8 bytes)
----------------------	--	-----------------------	----------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------

Figura 22.- Capa de adaptación GEM.  
Imagen tomada del documento "T-REC-G. 984.4"

- Multiplexación por división de longitud de onda (véase en la figura 23).

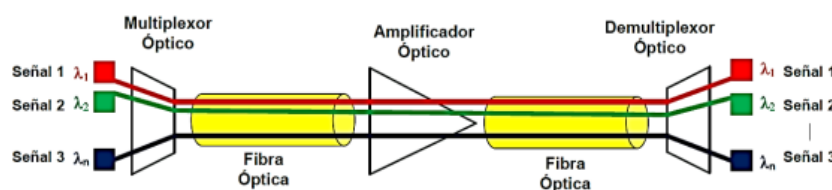


Figura 23.- Multiplexación por división de onda.  
Imagen tomada del sitio web "Library"

- Servicio Ethernet, voz y emulación de circuitos (véase en la figura 24).

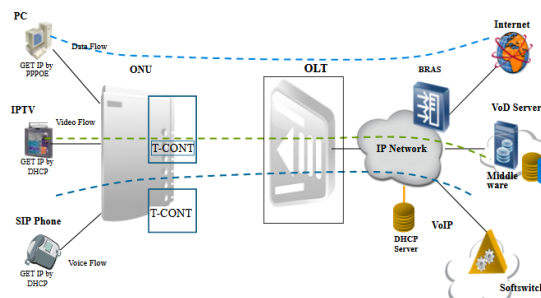


Figura 24.- Tipos de servicios GPON.  
Imagen tomada del sitio web "slideplayer"

### UIT-T G.984.5

Esta recomendación tiene el propósito de definir una gama de longitud de onda reservada para señales adicionales de servicio debido a que se superpondrán mediante la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) en futuras redes GPON con la finalidad de maximizar el valor de las redes de distribución óptica (ODN).

Esta normativa contiene apéndices I sobre las características WDM1, WDM1r, CEX y CEMx, II referente a ejemplos de asignación de longitudes de onda para servicios NGA y video de distribución con los parámetros de muestra de un filtro de multiplexación por división de longitud de onda discreto (WDM), métodos para calcular el aislamiento requerido para dispositivos WDM/CE/CEM y ejemplos de asignación de longitud de onda para servicios para el acceso de la próxima generación (NGA) y servicios de distribución de video [42].

### UIT-T G.984.6

Esta recomendación menciona la arquitectura y parámetros de interfaz para GPON con presupuesto de enlaces ópticos hasta los límites lógicos, no obstante, la capacidad óptica incluye el aumento de longitud total de la fibra y de la relación de división general, denominada extensión de alcance dentro de esta normativa.

También considera la extensión de medio tramo, debido a que utiliza un nodo de extensión activo colocado en el medio de la red óptica, los sistemas considerados dentro esta recomendación deben mantener compatibles con las ONT existentes. No obstante, posee dos arquitecturas de sistemas a considerar como la amplificación óptica y regeneración optoelectrónica en el enlace de fibra entre la OLT y ONT, el alcance máximo es hasta 60 km con un presupuesto superior a 27.5 dB siendo alcanzable en ambos tramos [43].

### 2.1.8 RED HETNET

La red HETNET hace referencia a un ecosistema complejo de células de radio con diferentes rangos de cobertura y tecnologías como se puede observar en la figura 25 que interoperan para brindar la capacidad y cobertura requeridas, después de LTE, son la próxima ola de mejoras que se espera que implementen los proveedores de servicios de comunicación (CSP) en todo el mundo. El objetivo principal de las redes heterogéneas es mejorar la cobertura y la capacidad con respecto a los modelos tradicionales de despliegue de células como macro, micro o pico células.

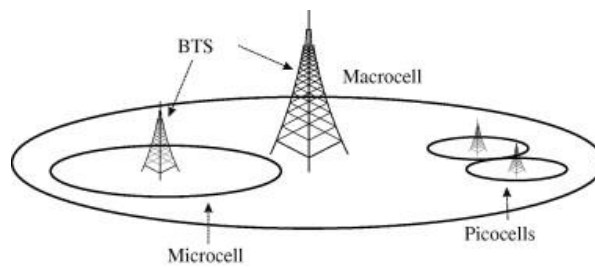


Figura 25.- Arquitectura HETNET.  
Imagen tomada del sitio web "sciencedirect"

En el entorno HETNET, cada red de acceso inalámbrico tiene sus propias características, como tecnología de acceso, seguridad, capacidad, demora, consumo de energía, cobertura y costo de acceso entre otras. Una característica interesante de HETNET es las redes de acceso inalámbrico que están superpuestas por otras, de tal manera que una estructura multicapa o red móvil celular jerárquica, esta arquitectura de redes superpuestas se puede explorar adecuadamente para que coincida con múltiples propósitos de diseño, tales como:

- **Aumento de la capacidad del sistema:** al combinar la capacidad de cada red de acceso inalámbrico individual dentro de la región de cobertura prevista, todo el sistema puede admitir muchos usuarios, este hecho conduce a la reducción de las probabilidades de bloqueo/caída de llamadas nuevas/de transferencia al ofrecer puntos de acceso alternativos (AP) durante situaciones de sobrecarga.
- **Mejora de la satisfacción del usuario:** debido a las diferencias en tecnologías y velocidad de datos, cada red inalámbrica puede emplearse con la finalidad de satisfacer un objetivo específico.
- **Ofrecer diferentes costos de acceso para los usuarios finales:** en la práctica, algunos usuarios finales están dispuestos a pagar altos precios por el acceso inalámbrico dado a su posición social y situación económica.

## 2.1.9 ESTÁNDARES EN TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

Un estándar es un sistema compuesto de reglas, requerimiento o condiciones que conciernen a la definición de los términos donde se especifican los materiales, prestaciones u sistematizaciones, componentes y sus clasificaciones se detallan las delimitaciones de procesos de materiales, sistemas, bienes o servicios. La estandarización de hardware, software y sistema es muy importante para la sostenibilidad de la competencia del mercado ya que permite la interoperabilidad de productos dentro de la misma familia. En el área de las telecomunicaciones y en la promoción de estándares internacionales, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) es la organización internacional líder en este campo [44], con más de 1200 estándares activo y 650 estándares en desarrollo, esta institución sin fines de lucro realiza investigaciones y desarrolla estándares que la han llevado a ganar prestigio y reconocimientos, se conforma de profesores y profesionales de las nuevas tecnologías pertenecientes a decenas de países [45], a continuación, los estándares inalámbricos en la tabla 4:

ESTÁNDAR	DESCRIPCIÓN	ESTADO
802.1XBbx	Extensión de protocolo de según la clave de seguridad (MKA).	Activo
802.1ARce	Identificación de dispositivo seguro mediante algoritmo de curva elíptica SHA - 384 y P -384.	Activo
802.1AEcg	Dispositivos de cifrado de datos internet.	Activo
802.1Xck	Control de acceso a la red basada en puertos modelo YANG.	Activo
802.1E	Practica para privacidad de tecnología IEEE 802.	Activo
802.1AS	Técnicas de temporización y sincronización para aplicaciones sensibles al tiempo.	Activo
802.1Qbu	Técnicas de retransmisión de tramas programadas.	Activo
802.1Qbv	Técnicas de mejora de tráfico programado.	Activo
802.1CB	Duplicar y eliminar tramas según niveles de confiabilidad.	Activo
802.1Qcc	Mejoras de técnicas de reserva y rendimiento de transmisión (SRP).	Activo
802.1Qch	Cola cíclica y renvió.	Activo
802.1Qci	Seguridad (filtrado y vigilancia) por transmisión.	Activo
802.1Qbz	Mejoras al puente 802.11.	Activo
802.1Qca	Control y reservas de rutas.	Activo
802.1AC- Rev	Revisión de servicios MAC.	Activo
802.1D	Puentes a través de la dirección MAC.	Archivado
802.1Qcn	Extensión del protocolo de configuración y descubrimiento (VDP) para admitir superposiciones de virtualización en la capa 3 OSI.	Activo
802.1Qcp	Enmienda de puentes y redes puenteadas del modelo YANG.	Activo
802.1r	Protocolo de registro de atributos de propiedad (GPRP).	Cancelado
802.1Qbh	Extensión del puerto puente.	Cancelado



<b>802.1AXbk</b>	Agregación de enlace por direccionamiento de protocolo.	Archivado
<b>802.1CF</b>	Modelos de red funcional con acceso IEEE 802.	Activo
<b>802.2</b>	Define el control de enlace lógico (LLC).	Inactivo
<b>802.3</b>	Tecnología para redes de datos por cable (Ethernet) bajo el algoritmo acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones (CSMA/CD).	Activo
<b>802.3u</b>	Ethernet de alta velocidad (100 Mbps) Fast Ethernet 100 BaseT.	Activo
<b>802.4</b>	Protocolo de subcapa MAC de implementación física en redes LAN topología bus.	Disuelto
<b>802.5</b>	Topología de implementación física en redes LAN topología anillo.	Inactivo
<b>802.6</b>	Redes de área metropolitana (MAN).	Disuelto
<b>802.7</b>	Asesoría en banda ancha.	Disuelto
<b>802.8</b>	Asesora en fibra óptica.	Disuelto
<b>802.9</b>	Servicios integrados de redes de área local (LAN).	Disuelto
<b>802.10</b>	Seguridad en red.	Disuelto
<b>802.11</b>	Redes inalámbricas de área local (WLAN).	Activo
<b>802.11<sup>a</sup></b>	Estándar de capa física con velocidades hasta 54 Mbps en la banda 5 GHz.	Activo
<b>802.11b</b>	Estándar de capa física con velocidades hasta 11 Mbps en la banda 2,4 GHz.	Activo
<b>802.11e</b>	Define conjunto de mejoras de calidad de servicio mediante modificaciones de la capa de control de acceso al medio (MAC).	Activo
<b>802.11f</b>	Inter operatividad entre punto de acceso.	Activo
<b>802.11g</b>	Estándar de capa física con velocidades hasta 54 Mbps en la banda 2,4 GHz.	Activo
<b>802.11h</b>	Coordinación con los estándares HiperLAN2 europeo.	Activo
<b>802.11i</b>	Estándar para otorgar redes de seguridad.	Activo
<b>802.14</b>	Protocolo para redes híbrida de fibra coaxial (HFC) para televisión.	Activo
<b>802.15</b>	Red inalámbrica de área local (Bluetooth).	Activo
<b>802.16</b>	Red inalámbrica de acceso metropolitana (WIMAX).	Activo
<b>802.17</b>	Estándar de diseño para el transporte óptico de datos en redes de anillo.	Activo
<b>802.18</b>	Normativas para regulación de radio.	Activo
<b>802.19</b>	Compatibilidad entre redes inalámbricas sin licencia.	Activo
<b>802.20</b>	Banda ancha móvil a través de acceso inalámbrico.	Activo
<b>802.21</b>	Especifica herramientas para traspaso (handover) entre redes inalámbricas heterogéneas.	Activo
<b>802.22</b>	Redes inalámbricas de área regional (WRAN).	Activo

*Tabla 4.- Resumen de estándares inalámbrico.*

*Tabla elaborada por el Autor*

IEEE 802 es un grupo de estándares concerniente a tecnologías para redes de área local (LAN) y redes de áreas metropolitanas (MAN) que se restringen al transporte de paquetes con tamaños variables. Todos los protocolos y servicios que se especifican en IEEE 802 están directamente relacionados con la capa física y la de enlace de datos del modelo OSI, en la tabla 5 se describirá el grupo de trabajo del estándar [44].

Grupos de trabajo (Estándares IEEE 802)	
<b>802.1</b>	Bridging & Management (puente y gestión).
<b>802.2</b>	Control de enlace lógico (LLC).
<b>802.3</b>	Ethernet – CSMA/CD método de acceso.
<b>802.4</b>	Método de acceso al bus de paso de token.
<b>802.5</b>	Método de acceso a token ring.
<b>802.6</b>	Redes de áreas metropolitanas (MAN) FO.
<b>802.7</b>	Grupo asesor en banda ancha LAN.
<b>802.8</b>	Grupo asesor en FO.
<b>802.9</b>	LAN de servicios integrados.
<b>802.10</b>	Seguridad de red.
<b>802.11</b>	Redes inalámbricas de área local WLAN (wifi).
<b>802.12</b>	Acceso por prioridad de demanda.
<b>802.14</b>	Control de acceso medio.
<b>802.15</b>	Redes inalámbricas de área personal (WPAN).
<b>802.16</b>	Redes de acceso metropolitanas sin hilos de banda ancha (WIMAX).
<b>802.17</b>	Anillo de paquete elástico SCRIPT.
<b>802.18</b>	Grupo de asesoría técnica sobre normativas de radio.
<b>802.19</b>	Grupo de asesoría técnica sobre coexistencia.
<b>802.20</b>	Grupo de trabajo de acceso inalámbrico de banda ancha móvil.
<b>802.21</b>	Grupo de trabajo de traspaso independiente de los medios.
<b>802.22</b>	Grupo de trabajo de redes de área regional inalámbricas.
<b>802.24</b>	Grupo asesor técnico de redes inteligentes.

*Tabla 5.- Grupos de trabajo IEEE.*

*Tabla elaborada por el Autor*

### **2.1.9.1 IEEE 802.11**

El estándar IEEE 802.11 o WIFI (fidelidad inalámbrica) define la manera en que se emplea las radiofrecuencias (RF) en las bandas reservadas internacionalmente para su uso en las áreas industriales, científicas y médicas (ISM) que se encuentran libres de licencia, este estándar trabaja en la capa física y en la subcapa de enlace de datos MAC. El empleo de las ondas de radio en la capa física hace que su estructura sea compleja (véase en la figura 26) y es por esta razón que IEEE 802.11 divide esta capa en procedimiento de convergencia de la capa física (PLCP) que define un método de mapeo de unidades de datos MAC que son reflejadas en un formato de tramas aptos a ser transmitidas o recibidas entre disímiles estaciones, este también establece el límite entre la subcapa MAC y la capa física. El segundo procedimiento es el dependiente de medio físico (PMD) un sistema encargado de transmitir las tramas mapeadas por el PLCP a través del medio sin cable entre 2 o más estaciones [46].

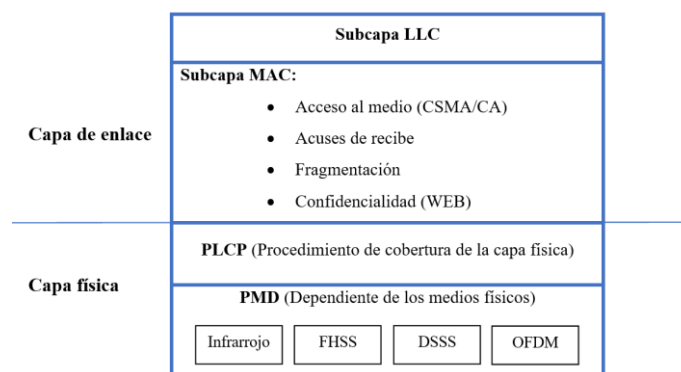


Figura 26.- Estructuras de las capas de IEEE 802.11.  
Imagen elaborada por el Autor

Desde sus primeros estudios, el estándar IEEE 802.11 ha estado en constante evolución, causado por el extenso grupo de investigación que trabajan en paralelo para la optimización del estándar sin cambiar o modificar las especificaciones originales. La primera versión lanzada oficialmente en 1997 (actualmente obsoleta) marco el inicio de una prometedora tecnología que en principio no fue recibida con exaltación ante las LAN conectadas por cable que ofrecían 10 Mbps, los dispositivos de la WLAN requieren de antenas para TX y RX las señales inalámbricas que en ese momento trabajaba en la banda de 2,4 GHz y prometía velocidad máxima de 2 Mbps.

Al trabajar en la banda de frecuencia de los 2,4 GHz es necesario conocer precauciones y regulaciones impuestas a nivel mundial. El sector de radiocomunicaciones de la unión internacional de telecomunicaciones (UIT-R) a cargo de la gestión del espectro de frecuencias radioeléctrico clasifica por rangos las diferente en la banda de frecuencias 2,4 GHz según su región, como se observa en la tabla 6 [47].

Región UIT-R	Rango	Potencia máxima
<b>Europa</b>	2,4 – 2,4835 GHz	100 mW
<b>EEUU y Canadá</b>	2,4 – 2.4835 GHz	1000 mW
<b>Japón</b>	2,471 – 2,497 GHz	10 mW/MHz

Tabla 6.- Banda 2,4GHz según región UIT-R.  
Tabla elaborada por el Autor

La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) define 11 canales para EEUU como se observa en la tabla 7, y es a estas reglas que se acogen países del continente americano, un canal inalámbrico es una fracción puntual de una banda de frecuencia específica y los canales son iguales para cada estándar que emplea la banda de frecuencia 2,4 GHz (802.11/b/g/n), estos canales tienen un ancho de banda combinado de 22 MHz y donde cada canal se encuentra separado por 5 MHz provocando “solapamiento”, es recomendable usar canales que no se solapen como es el caso de los canales 1,6 y 11 (véase en la figura 27).

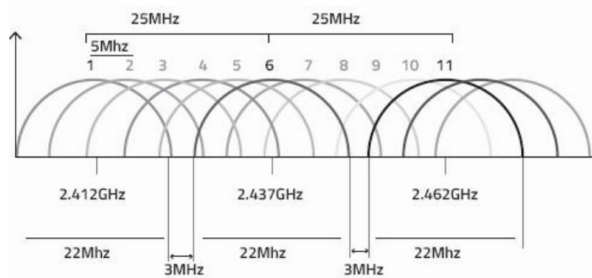


Figura 27.- Canales de la banda 2,4 GHz.

Tomado del trabajo "Solución al problema de la interferencia entre redes wifi por solapamiento de canales"

Canal	Frecuencia Central	Ancho del Canal	Canales superpuestos
	GHz	GHz	2,3,4,5
1	2.412	2.401 - 2.423	1,3,4,5,6
2	2.417	2.406 - 2.428	1,2,4,5,6,7
3	2.422	2.411 - 2.433	1,2,3,5,6,7,8
4	2.427	2.416 - 2.438	1,2,3,4,6,7,8,9
5	2.432	2.421 - 2.443	2,3,4,5,7,8,9,10
6	2.437	2.426 - 2.448	3,4,5,6,8,9,10,11
7	2.442	2.431 - 2.453	4,5,6,7,9,10,11,12
8	2.447	2.436 - 2.458	5,6,7,8,10,11,12,13
9	2.452	2.441 - 2.463	6,7,8,9,10,12,13
10	2.457	2.446 - 2.468	6,7,8,9,11,12,13
11	2.462	2.451 - 2.473	7,8,9,10,12,13
12	2.467	2.456 - 2.478	8,9,10,11,13,14
13	2.472	2.461 - 2.483	9,10,11,12,14
14	2.484	2.473 - 2.495	12,13

Tabla 7.- Lista de canales en la banda 2,4 GHz.

Tabla elaborada por el Autor

El estándar 802.11 emplea en la capa física, técnicas de modulación que utilizan las radiofrecuencias:

- **Espectro ensanchado por secuencia directa:** conocida con la sigla “DSSS”, es una técnica de codificación que emplea códigos pseudo ruido (secuencia de números determinados por computadoras) con el objetivo de aumentar el ancho de banda y disminuir la densidad de potencia.
- **Espectro ensanchado por salto de frecuencia:** identificada con la sigla “FHSS”, es una técnica de modulación en el que se emite una señal sobre una serie de radiofrecuencias “aleatorias” saltando sobre las frecuencias sincronizándose con el transmisor.

### 2.1.9.2 IEEE 802.11a

Lanzado en 1999 incursiona en la banda de frecuencia de 5 GHz que para ese entonces se encontraba menos poblado, este estándar aún vigente ofrece velocidades de datos sin procesar de 54 Mbps, otra diferencia considerable a su predecesora 802.11 es que la 802.11a posee una menor área de cobertura y es menos práctico para atravesar estructuras edilicias (características que disminuyen al emplear bandas de frecuencias más altas). Los canales de la banda de los 5 GHz se encuentran agrupada en bandas pequeñas asignadas por la infraestructura nacional de información no licenciada (U-NII) una entidad reguladora de la FCC que clasifica las bandas de la siguiente forma: U-NII-1 considerada de banda baja y se encuentra en el rango de 5.150 - 5.250 GHz, U-NII-2 o banda media (5.250 – 5350 GHz), U-NII-2E o banda mundial (5.470 – 5725 GHz) y la U-NII-3 o banda alta (5.725 – 5850 GHz) (véase en la figura 28).

El total de canales disponibles para el continente americano es 23 y cada uno tiene un ancho de 20 MHz y la banda de los 5 GHz no presenta solapamiento en sus canales debido a la agrupación impediendo de las mismas, lo anterior mencionado se puede evidenciar en la siguiente tabla 8, en donde cada ancho de banda del canal no invade el área del otro [46].

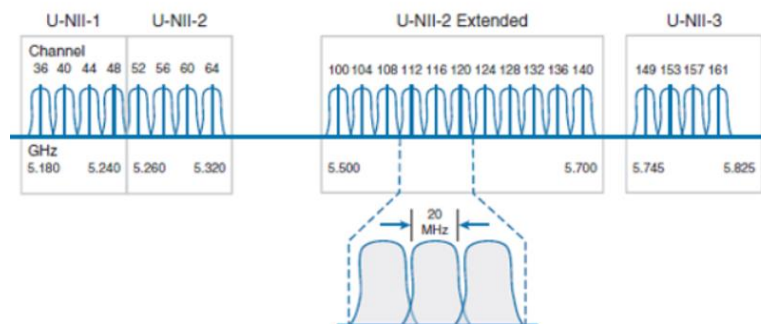


Figura 28.- Canales de la banda 5 GHz.  
Tomado del blog "Canales de la banda de 5GHz U-NII"

Banda	Canal	Frecuencia central	Ancho del canal
		GHz	GHz
<b>U-NII-1</b>	36	5,180	5,170 – 5,190
	40	5,200	5,190 – 5,210
	44	5,220	5,210 – 5,230
	48	5,240	5,230 – 5,250
<b>U-NII-2</b>	25	5,260	5,250 – 5,270
	56	5,280	5,270 – 5,290
	60	5,300	5,290 – 5,310
	64	5,320	5,310 – 5,330
<b>I-NII-2E</b>	100	5,500	5,490 – 5,510

	104	5,520	5,510 – 5,530
	108	5,540	5,530 – 5,550
	112	5,560	5,550 – 5,570
	116	5,580	5,570 – 5,590
	120	5,600	5,590 – 5,61
	124	5,620	5,610 – 5,630
	128	5,640	5,630 – 5,650
	132	5,660	5,650 – 5,670
	136	5,680	5,670 – 5,690
	140	5,700	5,690 – 5,710
<b>U-NII-3</b>	149	5,745	5,735 – 5,755
	153	5,765	5,755 – 5,775
	157	5,785	5,775 – 5,795
	161	5,805	5,795 – 5,815

*Tabla 8.- Lista de canales en la banda 5 GHz.  
Tabla elaborada por el Autor*

### **2.1.9.3 IEEE 802.11b**

Lanzado en 1999 bajo la banda de frecuencia de 2,4 GHz y resalta su postura ante el mercado por la característica de los dispositivos que trabajan con el presente estándar, brinda mayor alcance y garantiza la penetración de estructuras edilicias (mejor que la banda 5 GHz) y en cuestión de canales, este estándar aún vigente mantiene los 11 y la mejora más resaltante en comparación a su predecesor es la velocidad que ofrece de hasta 11 Mbps. Es importante sobresalir que el uso de las bandas de frecuencias de cada estándar define la compatibilidad de los dispositivos del mercado, ejemplo: un dispositivo que trabaja en la banda de 2,4 GHz (802.11/b) no es compatible con un dispositivo que trabaja en la banda de los 5 GHz (80.11a/ac) [46].

### **2.1.9.4 IEEE 802.11g**

Estándar aprobado en junio del 2003, fue desarrollado con el propósito de aumentar la velocidad de transmisión usando la banda de los 2,4 GHz y manteniendo la distribución de los canales, su progreso permitió ofrecer velocidades de hasta 54 Mbps e incursiona (opcionalmente) en la modulación multiplexación por división ortogonal de la frecuencia (OFDM) a diferencia de 802.11b que emplea DSSS [46].

### **2.1.9.5 IEEE 802.11e**

Considerado como uno de los primeros estándares que permite trabajar en entornos domésticos y empresariales, a diferencia de sus predecesores, 802.11e añade características de calidad de servicio (QoS), mejoras en el sistema de servicio y control manteniendo la compatibilidad con los anteriores estatales. La revisión de este estándar fue aprobada en 2005,

introduce clasificación de tráfico y un innovador sistema de coordinación llamado función de coordinación híbrida (HCF) con los siguientes tipos de acceso:

- **Acceso mejorado al canal distribuido:** referenciado por la sigla “EDCA”, consiste en dar prioridad según el tipo de tráfico y siendo los datos de mayor prioridad, los que esperan menos tiempo para ser emitidos por el proceso oportunidad de transmisión (TXOP), por otro lado, los que tienen menos prioridad esperan más tiempo antes de ser transmitidos.
- **Acceso al canal controlado por HCF:** es un sistema centralizado de control en el que el AP puede comenzar un periodo controlador en cualquier instante en donde recibe información sobre e tráfico que se desea enviar, información con la cual los algoritmos de QoS establecen decisiones.

#### **2.1.9.6 IEEE 802.11i**

Estándar resultado del grupo de trabajo task group I (TGI) creada para desarrollar métodos de mejorar la seguridad del sistema WLAN enfocadas en la subcapa MAC de la capa de enlace de datos; definieron una red de seguridad robusta (RSN) como aquella que incluye una fuerte asociación o autenticación (RSNA); esta norma fue aprobada en el 2004 y abarca protocolos de clave integra/segura/ temporales (TKIP) y estándar de cifrado avanzado (AES) que son implementados en sistema acceso WI-FI protegido (WPA2).

#### **2.1.9.7 IEEE 802.11f**

Emplea el protocolo de acceso de inter operatividad entre puntos (IAPP) también denominado “itinerancia”, consiste en la posibilidad de que un usuario usando un dispositivo inalámbrico con identificador de la red principal, se pueda cambiar de un punto de acceso (principal) a otro (secundario) mientras se encuentra en movimiento sin importar las “marcas” de PA; esta característica hace que los dispositivos sean independientes de la ubicación física establecida en un principio; en el estándar 802.11f se efectúa las siguientes funciones:

- Direcciones de AP e SSID convertidas en direcciones IP de redes distribuidas.
- Servicios y mantenimiento del sistema de distribución.
- Formar el sistema de distribución.

#### **2.1.9.8 IEEE 802.11h**

Publicada en el 2003, fue desarrollada con el objetivo de establecer una coexistencia entre las redes 802.11 con los sistemas satelitales/radares en la banda de los 5 GHz (2,4 GHz se encuentra libre de radares), investigación motivada por la oficina Europea de

radiocomunicaciones (ERO) y el interés de la ITU por minimizar el impacto que ocasionaría liberar la banda de los 5 GHz de uso ISM generalmente empleados por sistemas militares y entre los enfoques más destacados de este estándar se encuentran la capacidad de gestión dinámica que proporciona, tanto para frecuencia como para la potencia de transmisión.

- **Control de potencia de transmisión:** funcionalidad de las redes WLAN que trabajan en la banda de los 5 GHz con la que se garantiza el respeto de las limitaciones de potencia de transmisión en diferentes canales en determinadas regiones, minimizando la interferencia de los sistemas satelitales.
- **Selección de frecuencia dinámica:** garantiza la utilización uniforme de los canales disponible con el fin de evitar interferencias de los canales empleados por los dispositivos 802.11 con los sistemas de radar.

### 2.1.9.9 IEEE 802.11n

Lanzado en el 2009, los terminales con este estándar son también conocidos como “dispositivos de doble banda” esto debido a que trabajan en las bandas de frecuencia de 2,4 GHz y 5 GHz, implementa la tecnología MIMO, multiplexación por división espacial (SDM) que consiste en utilizar diversas antenas para transmitir múltiples flujos de datos espaciales a través de un único canal espectral como se muestra en la figura 29. 802.11n admite hasta 4 antenas con las que se puede ofrecer velocidades típicas de entre 150 Mbps a 600 Mbps superando así las velocidades máximas conocidas hasta el momento de 54 Mbps.

La tecnología MIMO exige como requisito un convertidor analógico - digital para cada antena MIMO, esto eleva el precio de los dispositivos, la compatibilidad con los estándares predecesores (802.11a/b/g) es viable y limitado únicamente la velocidad de transmisión disponible de los estándares predecesores.

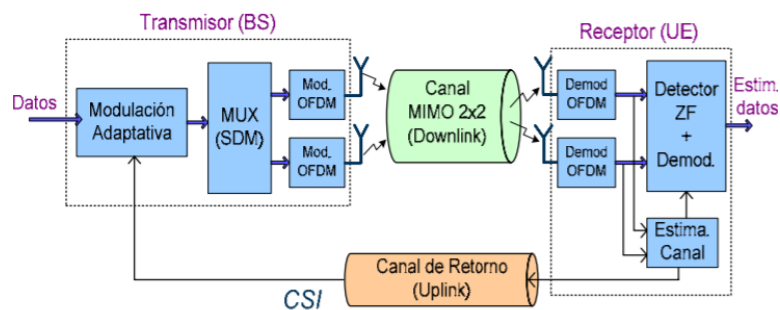


Figura 29.- Sistema MIMO-SDM OFDM.  
Tomado del trabajo "Análisis de rendimiento de sistemas MIMO-SDM"



### 2.1.9.10 IEEE 802.11ac

Basada en el estándar 802.11n e incorporando mejoras significativas en el hardware que permiten mayor velocidad (gigabit ethernet) y escalabilidad, 802.11ac fue aprobado en el 2013 y solo trabaja en la banda de los 5 GHz y al igual que 802.11n emplea tecnología MIMO, pero mejorado hasta admitir 8 antenas y ser compatible en entornos mixto (802.11a/n) limitado en velocidades por las características de los equipos de los anteriores estándares.

802.11ac brinda velocidad de transmisión entre 450 Mbps a 1,3 Gbps mejorando el ancho de banda de los canales con una ampliación que admite hasta 160 MHz (canales sin solapamiento), admite modulaciones de alta densidad de 256-QAM (véase en la figura 30). Los beneficios de esta novedosa tecnología permitirían que los usuarios gozaran de servicios de altos requerimiento como resoluciones 4K/HD - streaming, entre otros. Junto con las mejoras se añadió la tecnología “beamforming” con la que los routers y AP podrían dirigir las ondas de radio de manera más eficiente y mejorar la recepción.

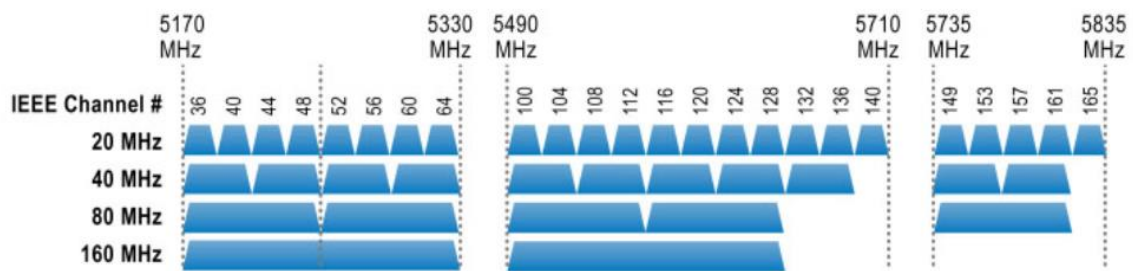


Figura 30. - Canales usados en el estándar 802.11ac. Tomado del trabajo “IEEE 802.11ac” de Javier Meden

### 2.1.9.11 IEEE 802.11ad

La disponibilidad amplia del espectro en la banda de los 60 GHz de onda milimétrica a nivel mundial para uso libre (sin licencia) ha impulsado en la investigación y desarrollo de tecnología WI-FI, en esta banda de frecuencia que no se encuentra explotado en comparación con las bandas 2,4 GHz/5 GHz, incursionar en la propagación de señales en la banda de los 60 GHz conlleva a al replanteamiento significativo de la forma en la que se ha estado transmitiendo las señales en comparación a las bandas de 2,4 GHz y 5 GHz ya que esta nueva franja del espectro difiere de forma significativa con las bandas usadas hasta el momento.

Aprobada por la IEEE a finales del 2012, 802.11ad se presenta como una tecnología revolucionaria en la familia 802.11 denominada WIGIG (gigabit inalámbrico), replantea la transición del uso del medio inalámbrico omni-direccional a uno direccional ofreciendo capacidades multi gigabit y el replanteo de escenarios con servicios ambiciosos para usuarios

como: sincronización inalámbrica automática, intercambio de archivos multimedia a altas velocidades y remplazo del medio físico (cable) para establecer conexión a monitores inalámbricos de alta definición.

La diferencia más significativa del uso de esta banda en comparación con 5 GHz y 2,4 GHz es el aumento significativo de la atenuación de la señal en un rango de menor distancia (a 10 m se puede predecir una a atenuación de 22 dB), a diferencia de la absorción del oxígeno que es de menor preocupación a corta distancia, la comunicación en el rango de los 60 GHz se caracteriza por el comportamiento de propagación cuasi – óptico la cual describe la propagación del haz de radiación que se encuentra colimado o cuyos rayos son paralelos entre sí (véase en la figura 31). Una de las condiciones fundamentales para establecer la comunicación en esta banda es tener línea de visión (LOS), libre de obstáculos ya que materiales compactos no conductores producen una atenuación muy considerable e incluso se puede estimar un bloqueo arguello total de la señal, por otro lado, los elementos reflexivos como superficies metálicas pueden ayudar a establecer una comunicación sin línea de vista (NLOS). [48]

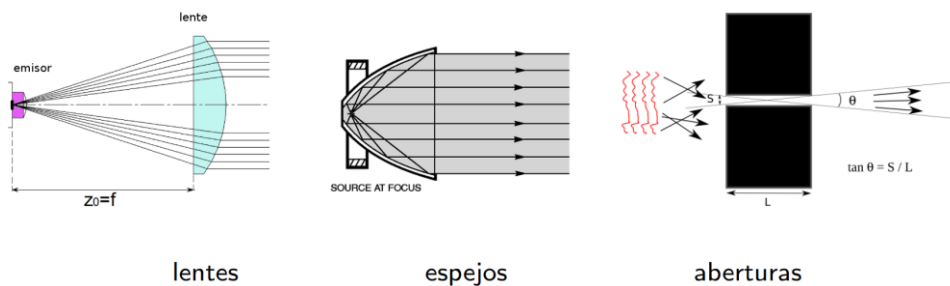


Figura 31.- Técnicas de colimación.  
Tomado del trabajo "Sistemas para la colimación de haces de luz" de Luis Sánchez Brea

En la siguiente tabla 9, se observan los canales disponibles para la banda de los 60 GHz que van desde los 57.24 a 59.40 (GHz), se encuentran agrupados en 4 ancho de bandas diferentes y siendo el de 2.26 GHz el único en donde no se presenta solapamiento en ningún canal.

Canal	Frecuencia central (GHz)	Ancho del canal (GHz)	Ancho de banda (GHz)
1	58,32	57,24 – 59,40	2,16
2	60,48	59,40 – 61,56	
3	62,64	61,56 – 63,72	
4	64,80	63,72 – 65,88	
5	66,96	65,88 – 68,04	
6	69,12	68,04 – 70,20	
9	59,40	57,24 – 61,56	4,32
10	61,56	59,40 – 63,72	

<b>11</b>	63,72	61,56 – 65,88	6,48
<b>12</b>	65,88	63,72 – 68,04	
<b>13</b>	68,04	65,88 – 70,20	
<b>17</b>	60,48	57,24 – 63,72	
<b>18</b>	62,64	59,40 – 65,88	
<b>19</b>	64,80	61,56 – 68,04	
<b>20</b>	66,96	63,72 – 70,02	8,64
<b>25</b>	61,56	57,24 – 65,88	
<b>26</b>	63,72	59,40 – 68,04	
<b>27</b>	65,88	61,56 – 70,20	

Tabla 9.- Canales de la banda 60 GHz.  
Tabla elaborada por el Autor

En la tabla 10, se detallan las asignaciones mundiales de uso de la frecuencia en la banda de los 60 GHz se encuentra dividida en la siguiente por regiones; en el caso de la región americana, el espectro sin licencia inicialmente fue asignada entre (57.05 – 64) GHz, sin embargo, en el 2016 fue ampliada por la FCC al rango de (57.05 – 71) GHz [49].

Región	Rango (GHz)	Canales utilizables
<b>Unión Europea</b>	57 – 66	1, 2, 3, 4
<b>USA</b>	57,05 – 71	1, 2, 3, 4, 5, 6
<b>Canadá</b>	57,05 – 64	1, 2, 3
<b>Corea del sur</b>	57 – 64	1, 2, 3
<b>Japón</b>	57 – 66	1, 2, 3, 4
<b>Australia</b>	57 – 66	1, 2, 3, 4

Tabla 10.- Banda 60GHz según región UIT-R.  
Tabla elaborada por el Autor

Elementos centrales para la comunicación direccional en la banda de los 60 GHz:

- Capa física (PHY).
- Beamforming.
- Control de acceso al medio (MAC) híbrido.

### ARQUITECTURA DE LA RED 802.11ad

La arquitectura establece modificaciones en la organización de acceso al medio por intervalos beacon (BI), se agrega una red de conjunto de servicios básicos personales (PBSS) y se describen los mecanismos de anuncios en la red y la planificación.

- **Intervalo Beacon:** en las anteriores arquitecturas el acceso al medio se la organiza con intervalos periódicos beacon, con esta trama se informa la presencia de una red WI-FI, BI tiene una longitud limitada de 1000 ms, pero se recomienda el rango de los 100 ms. 802.11ad extiende el concepto por los desafíos que conlleva la transmisión de la onda milimétrica agregando una cabecera de intervalos beacon

(BHI) que realiza un barrido de múltiples tramas para anunciar información administrativa de la red resolviendo atenuaciones crecientes y dando a conocer direcciones desconocidas de los dispositivos (véase en la figura 32).

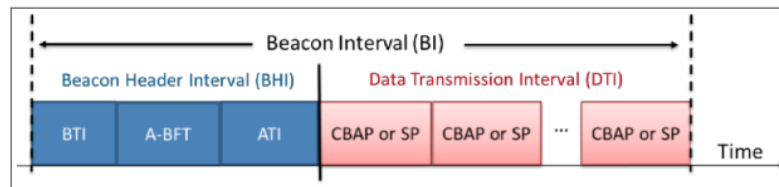
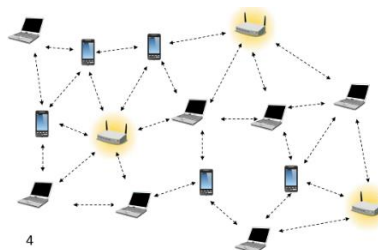


Figura 32.- Estructura del BI.

Tomado del trabajo "Gigabit Wi-Fi: Visión general y desafíos técnicos" de Daniel Arguello

- Conjunto de servicios básicos personal:** a diferencia de ad-hoc una red descentralizada como la mostrada en la figura 33 se caracteriza porque todos los enrutadores pueden comunicarse entre sí, en una red PBSS tiene la estructura mostrada en la figura 34 en donde uno de los nodos que participa en el enlace de comunicación tiene el rol de punto de control que además anuncia la red y organiza el acceso al medio; la introducción de un enfoque centralizado permite introducir nuevas aplicaciones como: almacenamiento inalámbrico, uso de periféricos y monitores inalámbricos. El primer reto que presenta la red es la divergencia de consumo de energía entre los equipos, ya que el consumo aumenta en un único equipo (el que hace de punto de control PCP) [48].



4

Figura 33.- Red AD-HOC.

Tomado del Bloc de Adilene Salazar



Figura 34.- Conjunto de servicios básicos en una red 802.11.

Tomado del Bloc Programador Clic

El segundo reto es el riesgo de caída del PCP que detendría totalmente la red PBSS; para ello se agrega un proceso de traspaso (PCP handcover) con lo que se estima un conjunto de PCPs candidatas a ser punto de control en caso de fallas o no disponibilidad del dispositivo de control principal [48].

## CAPA FÍSICA

802.11 ad presenta 3 capas físicas (PHY):

- **Capa física de control:** diseñado para la detección y corrección de errores en procesos de relación señal ruido (SNR).
- **Capa física de portadora única:** capa de baja potencia que reemplaza el codificador LDPC (protocolo de convergencia de paquetes de datos) por un codificador de aun menor consumo de potencia en procesos (reed solomon), emplea técnicas de modulación BPSK, QPSK o 16QAM.
- **Capa física OFDMPHY:** la multiplexación por división de frecuencia ortogonal brinda el mayor rendimiento en el canal seleccionado, se estima niveles de transmisión de datos elevados (hasta 6.75 Gbps) empleando 65 QAM.

Las diferentes capas físicas comparten la siguiente estructura de paquetes (véase en la figura 35).

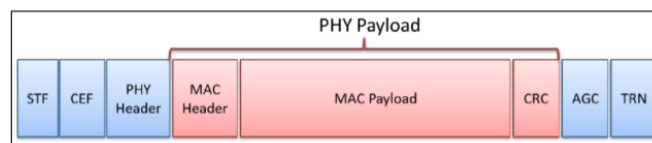


Figura 35.- Estructura de paquetes.

Tomado del trabajo "Gigabit Wi-Fi: Visión general y desafíos técnicos" de Daniel Arguello

STF= Campo corto de entrenamiento.

CEF=Campo de estimación de canal.

PHY Header= Cabecera PHY.

MAC Header= Cabecera MAC.

MAC Payload= Carga útil PHY.

CRC= Comprobación redundante cíclica.

AGC=Control de ganancia automático.

TRN= Entrenamiento.

## BEAMFORMING

El beamforming es técnica que ayuda a mejorar la relación señal ruido (SNR) eliminando fuentes de interferencias no deseadas y enfocando las señales transmitidas en ubicaciones específicas donde la señal recibida es la deseada [50]. Las comunicaciones inalámbricas ajustando las señales de radiofrecuencia que se envían y establecer mediante un algoritmo cual es el mejor camino para alcanzar al receptor, beamforming emplea múltiples

antenas por la cual se envían la misma y se analiza señal la señal de vuelta (feedback) [48]. Esta tecnología cuenta con 2 pilares tecnológicos fundamentales:

- **Fase de barrido a nivel del sector (SLS):** los radios censan las direcciones de entradas de las señales y establecen cual es la mejor ruta como se ilustra en la figura 36 y enfocar la transmisión en esa dirección, las mejoras son notables (incrementa la señal inalámbrica y la estabilidad)

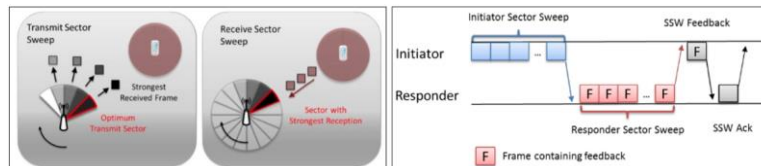


Figura 36.- Barrido sectorial de nivel (SLS).

Tomado del trabajo "Gigabit Wi-Fi: Visión general y desafíos técnicos" de Daniel Arguello

- **Fase protocolar de refinamiento de haz (BRP):** técnica que evalúa conjuntos de patrones direccionales de TX o RX diferentes a la mejor dirección conocida (SLS), BRP garantiza un intercambio de tramas confiables que permite reducir considerablemente la carga en el contraste SLS cuyos procesos se representan en la figura 37.

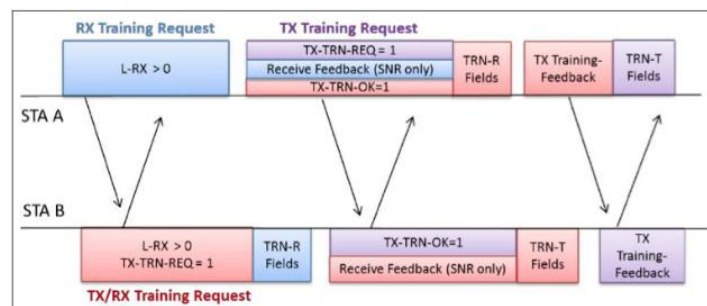


Figura 37.- Refinamiento de haz (BRP).

Tomado del trabajo "Gigabit Wi-Fi: Visión general y desafíos técnicos" de Daniel Arguello

El resultado del beamforming es un foco esencial para la señal direccional de la banda de los 60 GHz y la herramienta con la cual se hace frente a las altas atenuaciones y baja reflectividad que conlleva el uso de la banda; define un ancho de banda 50 veces más ancho que el estándar 802.11n y 14 veces más ancho que el estándar 802.11ac.

## CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC) HIBRIDO

El protocolo de subcapa control de acceso al medio (MAC) es un conjunto de mecanismos que controla la forma de acceder al medio de transmisión en redes de propagación para determinar el instante en que un determinado nodo puede enviar o recibir señales, evitando

de esta forma colisiones y pérdidas de paquetes, en la figura 38 se muestran los mecanismos que realizan esta función [51].

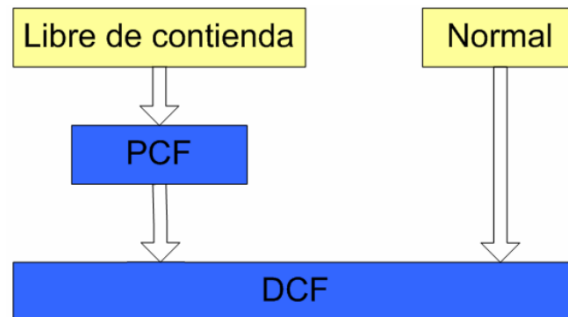


Figura 38. - Funciones de coordinación MAC.  
Tomado del trabajo “Protocolo de control de acceso al medio (MAC) basado en CSMA/CA”

- **Función de coordinación distribuida:** verifica que el canal de radio se encuentre libre antes de realizar cualquier transmisión, emplea el protocolo de acceso múltiple por detección de portadora y prevención de colisiones (CSMA/CA) con lo que cada equipo anuncia su solicitud de transmisión (RTS) y recibe una confirmación afirmativa o negativa (ACK/NAK) (véase en la figura 39).

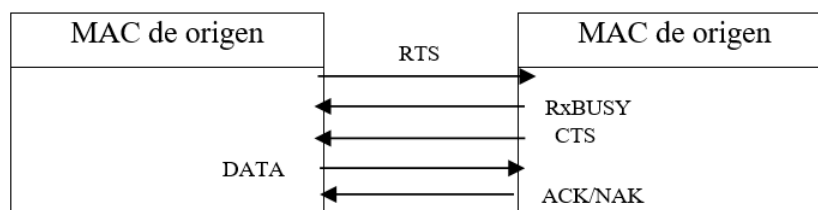


Figura 39.- Esquema CSMA/CA.  
Imagen elaborada por el Autor

- **Función de coordinación puntual:** provee servicio libre de contienda, esta asegura se emplea para tener acceso prioritario al canal inalámbrico.

El estándar 802.11 ad emplea aproximaciones MAC para abordar su aplicación, este soporta los siguientes mecanismos de accesos:

- **Acceso basado en contención:** como miembro de la familia 802.11, cumple con la categoría de soporte de QoS acceso al canal en forma distribuida mejorada (EDCA) y esta controla el uso del canal inalámbrico mediante cuatro categorías de acceso (AC) según niveles de prioridad mostrada en la figura 40, AC\_BK (Background), AC\_BE (Best Effort), AC\_VI (video) y AC\_VO (voz). Cada AC cuenta con parámetros configurables y separación entre tramas para arbitraje (AIFS), ventana de contención mínima (CW<sub>min</sub>), ventana de contención máxima (CW<sub>max</sub>) y límite de oportunidad de transmisión (TXOP<sub>limite</sub>). Cuando se tiene una trama a

transmitir se monitorea si el canal esta sin actividad por un periodo igual a AIFS, si es el caso se envía una trama de valor aleatorio CW<sub>i</sub> y se monitorea el canal con un contador decreciente ST (slot time), si el medio se encuentra libre durante CW se continúa enviando la trama, si se produce una colisión se realiza un siguiente intento con un valor doble de CW, en caso de volver a presentar una nueva colisión se cancela el envío [52].

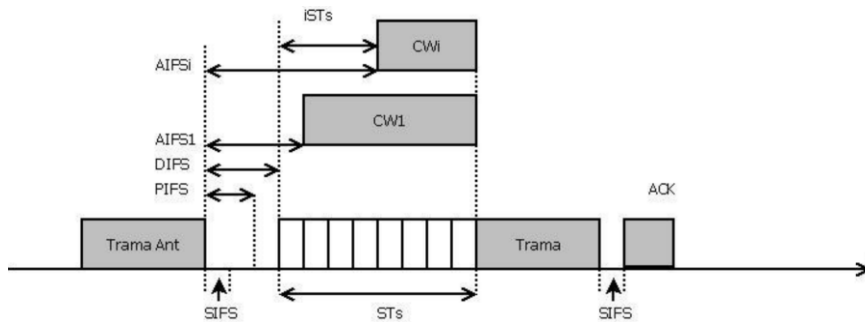


Figura 40. - Esquema básico EDCA.  
Tomado del trabajo "Evaluación de EDCA 802.11e en tiempo real"

- Asignación de tiempo de canal planificado:** 802.11ad extiende el concepto de flujo de tráfico, también conocido como función de coordinación híbrida (HCF), e integra el concepto de control de acceso al canal híbrido (HCCA), el cual es un mecanismo que proporciona acceso al medio para la transferencia libre de disputas, el mecanismo emplea 2 periodo cuya agrupación es denominada "super trama", esta se divide en periodo libre de contención (CFP) y periodo basado en contención (CP); el control híbrido proporciona el control al acceso al canal durante el sondeo de las estaciones y estableciendo el límite de sondeo de transmisión (TXOP) sin embargo, si se detecta el canal inactivo en un periodo mayor al PIFS se puede establecer una fase de acceso controlada (CAP), para transferencia de datos en tiempo real en un tiempo limitado con el fin de proporcionar el libre acceso al canal a estaciones que operan bajo el mecanismo de acceso EDCA, en la siguiente figura 41, se observa el esquema básico EDCA.

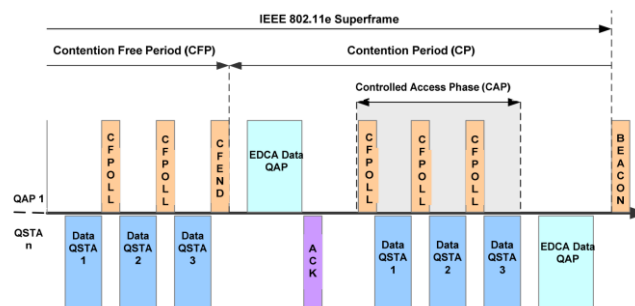


Figura 41.- Esquema básico EDCA.  
Tomado del trabajo "Performance Evaluation of IEEE 802.11e for Industrial Wireless Networks"



- **Asignación de tiempo de canal dinámico:** se determina el acceso de canal basado en sondeo, proporcionando una mayor flexibilidad en la concesión de recursos y la adaptación para la comunicación direccional, adiciona ventajas significativas para la comunicación en la banda de las ondas milimétricas, el mecanismo de asignación dinámica inicialmente envía una serie de tramas que sondea cada estación asociada mediante bloques de solicitud de periodo de servicio (SPR), a esto produce una asignación dinámica del uso individual del canal según cada estación asociada, en la siguiente imagen se muestra el proceso de asignación de tiempo de canal dinámico de 3 estaciones (véase en la figura 42) [48].

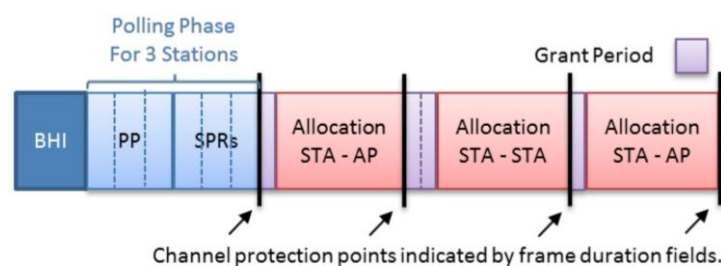


Figura 42.- Asignación dinámica de canales.

Tomado del trabajo "Gigabit Wi-Fi: Visión general y desafíos técnicos" de Daniel Arguello

### 2.1.10 ENLACES WIFI DE VARIOS KILÓMETROS VS WIMAX

802.11 (WIFI) ha evolucionado considerablemente desde sus primeros estándares, y aunque la tecnología fue desarrollada para establecer conexiones inalámbricas de corto alcance de las redes de área local (LAN), en la actualidad se puede establecer enlaces entre dos puntos distanciados a varios kilómetros entrando a la zona de cobertura de las redes MAN (1 km - 25 km) [53]. Hablar de enlaces de largas distancia debe incluir el estándar de comunicación 802.16 interoperabilidad mundial para acceso de microondas (WIMAX), la cual fue desarrollada para enlaces en exteriores de cobertura MAN con las siguientes diferencias con WIFI, a continuación, en la siguiente tabla 11, se detallan las características de estas.

Especificaciones	WIMAX	WI - FI
<b>IEEE Standard</b>	802.16x	802.11x
<b>Versiones</b>	802.16a - 802.16d - 802.16e - 802.16m	802.11b - 802.11g - 802.11n - 802.11ac - 802.11ad
<b>Bandas de frecuencias</b>	2,5 - 3,5 - 5,8 (GHz)	2,4 - 5 - 60 (GHz)
<b>Velocidades</b>	124 Mbps y superiores a 1 Gbps	11 -54 Mbps; 1,2 - 6,75 Gbps
<b>Banda ancha</b>	1,25 - 20 MHz	10/20/40/160 MHz, 2,16 GHz
<b>Rangos normales</b>	40 - 70 km	30 m para usuarios finales (hasta 5 km en exteriores PTP)

Tabla 11.- WIFI vs WIMAX.

Tabla elaborada por el Autor

## Consideraciones en la elección de antenas WIFI

### Tipo de antena

- **Omnidireccional:** irradia en el plano horizontal  $360^\circ$  y en el plano vertical como se representa en la figura 43. Su rango depende de la ganancia de la antena, por lo que se concluye que este tipo de antenas puede emitir y recibir en todas direcciones, el espectro de este tipo de antenas tiene forma de corona circular y son empleadas en equipos domésticos como routers y AP con funciones de extensión de señal.

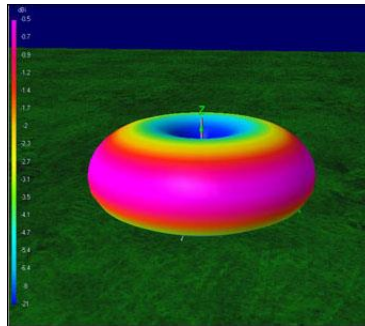


Figura 43. - Antena omnidireccional.  
Tomado de la página "wordpress"

- **Sectoriales:** irradian de manera horizontal en  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  e incluso  $180^\circ$ , esta característica permite que la señal pueda llegar más lejos y son empleadas por WISP para prestar cobertura a varios clientes de forma simultánea como se muestra en la figura 44.



Figura 44.- Antena sectorial.  
Tomado de la página "redeszona"

- **Direccionales:** este tipo de antenas emiten en una sola dirección con muy poco ángulo horizontal y vertical de esta manera concentrando toda la energía radiada en dirección del receptor aumentando la potencia como se resalta en la figura 45, son empleadas para enlaces punto a punto.



Figura 45.- Antena direccional.  
Tomado de la página "redeszona"

### Clase de antenas

- **Antena simple:** incorpora un puerto RG58 o RP-SMA y se conecta directamente a un router, AP o una tarjeta de red WI-FI.
- **Antenas con sistema operativo:** es un AP o un equipo local de cliente (CPE) que incorpora un CPU, RAM y un SO.

### 2.1.11 PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO

Los protocolos de enrutamiento son técnicas de direccionamiento entre routers, tienen el propósito de establecer comunicación entre elementos activos que conforman la red y estas emplean el intercambio de información de manera dinámica sobre las rutas y sus características para ayudar a determinar la mejor ruta para establecer comunicación entre los routers, independientemente del protocolo empleado se crea una tabla de enrutamiento que se encuentra periódicamente actualizando, de esta manera al recibir un paquete, el enrutador ya contara con una ruta segura para enviar el paquete. En redes conectadas a internet los grupos de proveedores conectados a uno o más operadores de red necesitan de políticas de enrutamiento para poder intercambiar información con las otras redes enlazadas a internet, para ello se emplean los siguientes protocolos mencionadas en la tabla 12 [54]:

CARACTERÍSTICAS	RIP	OSPF	EIGRP
Tipo	Vector distancia	Estado de enlace	Vector distancia – Estado de enlace
Convergencia	Lento	Rápido	Rápido
Consumo de BW	Alto	Bajo	Bajo
Consumo de recursos	Bajo	Bajo	Bajo
Escalamiento	No	Si	Si
Uso libre o propietario	Libre	Libre	Propietario

Tabla 12.- Tabla comparativa RIP, OSPF, EIGRP.  
Elaborada por el Autor

**Protocolo de información de enrutamiento:** el protocolo RIP emplea el modelo matemático de vector distancia (véase en la figura 46), el cual es un algoritmo que realiza iteraciones con el número de saltos encontrados en cada ruta para determinar según su tabla de enrutamiento cual es la distancia mínima conocida hasta llegar al destino, a este valor se

denomina métrica y puede ser un valor entre 0 y 15 (número superior se considera una ruta inalcanzable) [54].

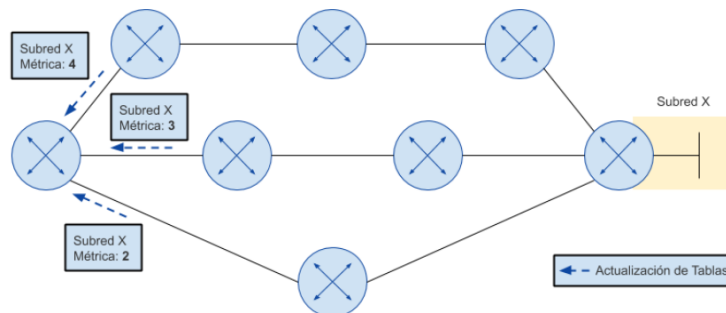


Figura 46.- Métrica de salto protocolo RIP.  
Tomado de la página " ccnadesdecero.com"

**Primero el camino abierto más corto:** desarrollado como sucesor a RIP debido a la necesidad de disminuir la cantidad de ancho de banda de red que empleaba el intercambio de información de rutas del protocolo RIP, OSPF es un protocolo de estado, este algoritmo mantiene una base de datos de enlace estado (LSA) donde se encuentra información de los costos de vía y vecinos adyacente a cada enrutador y con dicha información determina el camino más corto (véase en la figura 47) [55].

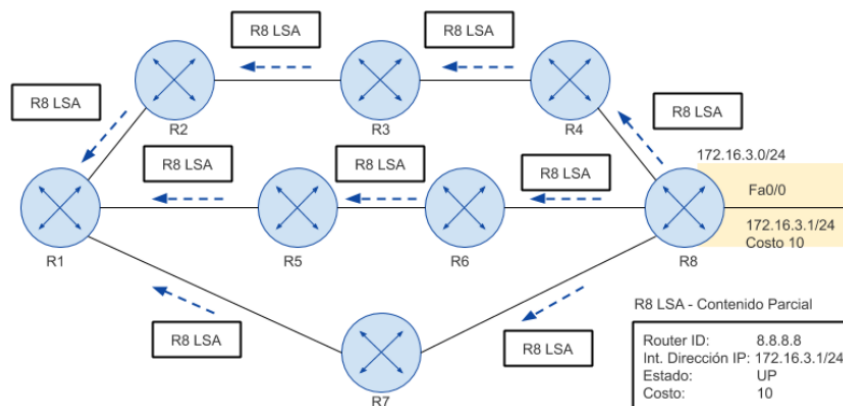


Figura 47.- Métrica costo protocolo OSPF.  
Tomado de la página " ccnadesdecero.com"

**Protocolo mejorado de enrutamiento a puerto interior de salida:** este algoritmo es una versión mejorada del protocolo de distancia que introduce características del modelo matemático de vector de estado, adiciona rutas de respaldos para adaptar a los cambios de las topologías o posibles errores en la red (véase en la figura 48).

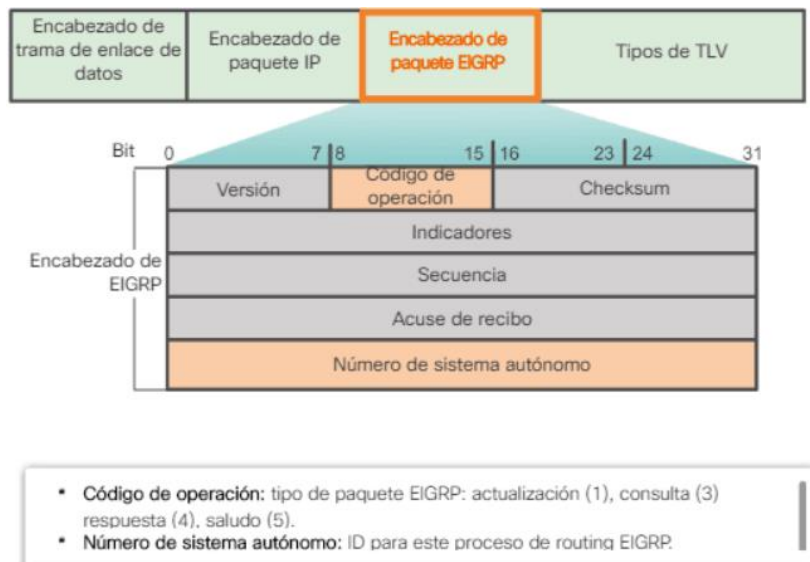


Figura 48.- Encabezado de paquetes del protocolo EIGRP.  
Tomado de la página " ccnadesdecero.com"

### Multiprotocolo de conmutación de etiquetas

MPLS es una tecnología o técnica de enrutamiento de paquetes IP que enruta el paquete IP a través de rutas mediante etiquetas en lugar de buscar tablas de enrutamiento complejos, en otras palabras, enruta el tráfico en función o basadas en “etiquetas” predeterminadas. MPLS se encuentra entre la capa 2 y 3, debido a que la capa 2 transporta paquete IP a través de WAN punto a punto o LAN simples, mientras que la capa 3 se utiliza para direccionamientos y enrutamientos en toda internet mediante protocolos IP, por ende, se considera un protocolo de red de capa 2,5 [56].

MPLS es una tecnología que ofrece soluciones a problemas existentes en técnicas de reenvío de paquetes, también se puede decir que es un protocolo de unión que opera dentro del modelo OSI (capa de enlace y capa de red), esta tecnología cuenta con aplicaciones como son ingeniería de tráfico (TE), calidad de servicio (QoS), clase de servicio (CoS) y redes virtuales privadas (VPN). MPLS desempeña un rol muy importante en el encamamiento de protección (rutas de respaldo), establecimiento de paquetes, y envío de paquetes a través de la red permitiendo cubrir la demanda del servicio a una generación nueva de red, esta puede ser utilizada para transportar diversos tipos de tráfico de paquetes IP y voz. La arquitectura es mostrada en la figura 49 y está compuesta por 3 tipos de routers [57]:

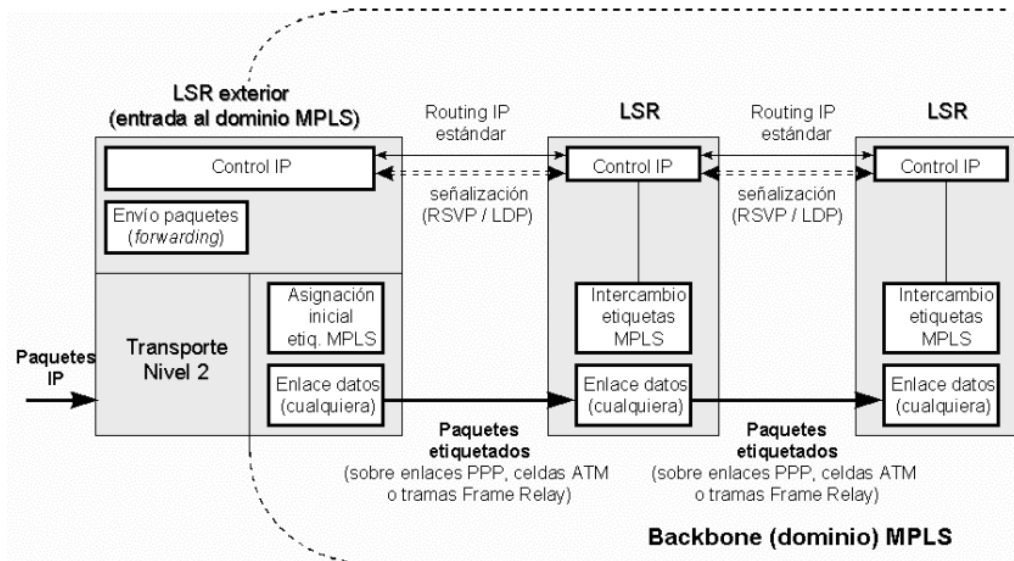


Figura 49.- Esquema MPLS.

Tomado del documento: MPLS "Multiprotocol Label Switching": Una Arquitectura de Backbone para la Internet del Siglo XXI"

- Ingress LSR, bloque donde ingresan los paquetes sin etiquetar.
- LSR intermedio, se encuentra en medio de la red y al reenviar los paquetes etiquetados.
- Egress LSR, encargado de retirar todas las etiquetas antes de enviar el paquete a su destino.

MPLS posee dos componentes principales, el primero es el plano de datos que provee un mecanismo de encaminamiento, es decir, guiara a los paquetes basado en etiquetas y el segundo plano de control posee mecanismos para el intercambio de información de ruteo y etiquetas entre uno de los siguientes protocolos (OSPF, EIGRP, IS-IS, y BGP) [57].

## ELEMENTOS DE MPLS

En una red MPLS, mediante la conmutación de etiquetas se tiene los siguientes elementos mostrados en la figura 50 y que son necesarios para el correcto funcionamiento.

- **LER:** enrutador de borde de etiqueta, está dentro del dominio MPLS y conectado a nodos externos de la res, el cual permite operar la conmutación de etiquetas y de servicio, también maneja los protocolos de enrutamiento y señalización.
- **LSR:** enrutador de etiqueta conmutada, es el enrutador interno y central, el cual permite la conmutación de etiquetas.
- **LSP:** etiqueta de ruta conmutada, es denominada como la ruta lógica dentro de un dominio MPLS.

- **LDP:** protocolo de distribución de etiqueta, es el que distribuye las etiquetas entre los equipos de la red.
- **LIB:** base de información de etiquetas, es la tabla de etiquetas e interface que construye cada LSR y LER.

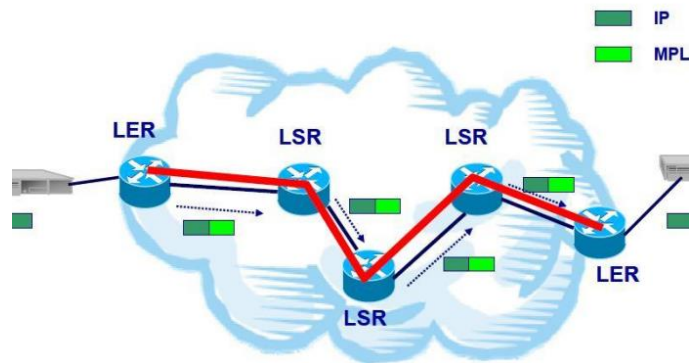


Figura 50.- Esquema básico de una red MPLS.

Tomado del trabajo: "EVALUACIÓN DE LA ASIGNACIÓN DE RECURSOS EN UNA RED MPLS PARA APLICACIONES MULTICAST SOBRE EL PROTOCOLO RSVP-TE"

### 2.1.12 SERVICIOS 5G

De la tecnología 5G se tiene grandes expectativas, National Geographic España la define la tecnología revolucionaria que cambiara la manera de comunicarnos, impulsara la amplia gama de industrias (educación, transporte, entretenimiento, domótica, medicina, etc.) [58]. Las características más destacadas son las velocidades superiores a 1 Gbps y la latencia no superior a 1 milisegundo, particularidades que prevé que esta tecnología brinde sin problemas los siguientes servicios enfocados en la vida cotidiana [59]:

- **Entretenimiento y multimedia:** transmisiones de videos 4K, televisión de alta definición, realidad aumentada y juegos de realidad virtual con baja latencia.
- **Internet de las cosas (IoT):** conectar electrodomésticos, sensores y dispositivos a internet para gestión remota.
- **Computación en la nube:** manejar grandes volúmenes de datos con mayor eficiencia y rendimiento.

Relacionando las actividades básicas con servicios innovadores de las NGN, en la siguiente tabla 13, se hace referencia a la guía de velocidad de banda ancha mínima (Mbps) necesaria para el rendimiento adecuado de las actividades típicas en línea, los valores expuestos son aproximaciones que informa la FCC para dar un mejor juicio al elegir un servicio de banda ancha [60].

<b>ACTIVIDADES EN LÍNEA</b>	<b>BW NECESARIO PARA 1-2</b>	<b>BW NECESARIO PARA 3-4</b>
Transmisión de música	1 Mbps	2 Mbps
Navegación (email, redes sociales, páginas web)	1,5 Mbps	3 Mbps
Videokonferencias HD (Skype, zoom, etc.)	6 Mbps	12 Mbps
Transmisión de videos 4k	25 Mbps	45 Mbps
Juegos en línea	4 Mbps	8 Mbps
Descargas de archivo de grandes volúmenes	10 Mbps	20 Mbps
Trabajo a distancia	25 Mbps	45 Mbps
HD-VR	100 Mbps	160 Mbps
Dispositivos IoT	2,5 Mbps	5 Mbps
Total	175 Mbps	300 Mbps

*Tabla 13.- Consumo estimado de ancho de banda según la actividad.  
Tabla elaborada por el Autor*

En Ecuador, la implementación de tecnología 5G ha presentado retrasos, las expectativas de la población antes esta tecnología, se origina el 18 de julio del 2019 en Quito cuando el ministro de telecomunicaciones Andrés Michelena presentó como parte de la propuesta gubernamental el proyecto denominado “Ecuador Digital”, el anuncio del proyecto fue acompañado con demostraciones conjuntas de empresas líderes en el mercado de las telecomunicaciones de Ecuador (Movistar, Claro y CNT), en esa ocasión los ciudadanos tuvieron la oportunidad de experimentar los beneficios y servicios que se puede ofrecer con esta tecnología (juegos de realidad virtual, descarga de videos y conexiones que requieren altas demandas de internet) [61].

En 2021 se dio entrega de informe de valoración de la banda de frecuencia de 700 MHz y 2,5 GHz por la ITU y en donde se solicitó la valoración de la banda 3,5 GHz (necesaria para el desarrollo de la tecnología 5G) y el año 2021 se dieron declaraciones estableciendo motivos del retraso en el proceso de implementación de la tecnología de interés, indicando que el principal ha sido la emergencia sanitaria de COVID-19, las otras son:

- Jorge Cevallos (director ejecutivo de empresas de telecomunicaciones ASETEL), declaró que no se han realizados suficientes pruebas y que aún no se cuenta con políticas, normativas o regulación.
- El ministerio de telecomunicaciones explica que las valoraciones respecto al uso del 5G por parte de la UIT son necesarios para establecer las políticas y normativas.
- El costo de implementación es muy elevado y la recuperación de la inversión necesita de establecer regulación de tarifas que las empresas de telecomunicaciones deberían pagar para que la comercialización sea rentable, algo que no se ha realizado [61].



## 2.2 FUNDAMENTOS DE SOFTWARES

### 2.2.1 RADIO MOBILE

Radio mobile es un software de simulación de enlaces de radio propagación más usadas para estimar el comportamiento real de un sistema de radio (véase en la figura 51), este software de libre distribución se emplea también para simbolizar el área de cobertura de una red de radiocomunicación, enlaces de larga distancia sobre terrenos irregulares, los elementos que emplea este software son perfiles geográficos y la información de los equipos a usar (potencia, sensibilidad, ganancia de la antena, pérdidas, etc). Radio mobile implementa prestación del modelo “Longley-rice” y modelo de predicción troposférica para transmisiones de radio en terrenos irregulares de largo y mediana distancia. El uso de parámetros técnicos de los equipos hace que el software permita reflejar de forma fiel el comportamiento de los equipos reales [62].

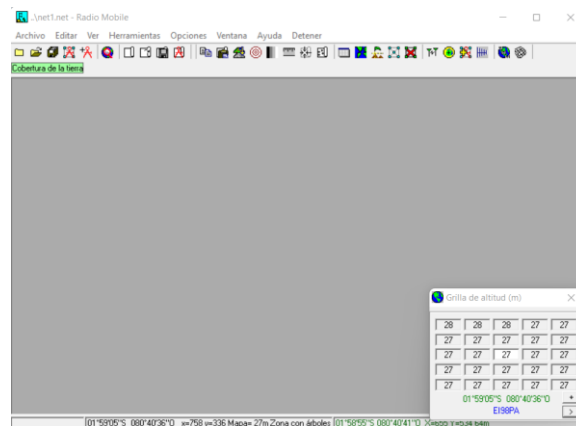


Figura 51.- Pantalla principal del software radio mobile.  
Elaborada por el Autor

Radio mobile usa datos de elevación que descargan gratuitamente de internet y emplea datos de elevación de fuentes como el proyecto de la NASA shuttle terrain radar mapping misión (SRTM) con información precisa de 3 segundo de arco (100 m) con esta información se crea mapas virtuales de vista estereoscópicas (véase en la figura 52).

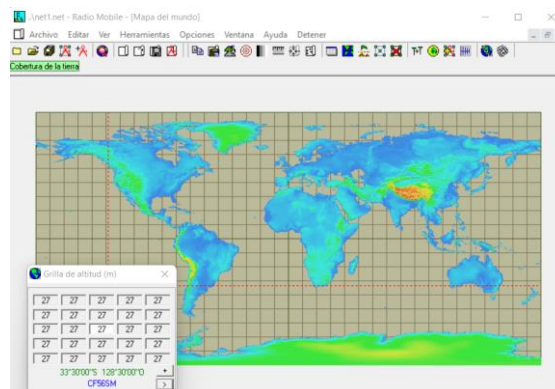


Figura 52.- Radio mobile - mapa mundial.  
Elaborada por el Autor

Radio mobile requiere de la creación de 3 tipos de archivos para inicial la simulación de un enlace y estos se describen a continuación para una mejor comprensión del funcionamiento del software [63]:

1. **Network:** conjunto de unidades radio que operan dentro del mismo rango de frecuencia, iguales condiciones climatológicas y geográficas. Para crear este archivo se requiere establecer un numero de redes, unidades, sistemas y capacidad de memoria estimada a usar, configurables en la ventana mostrada en la figura 53.

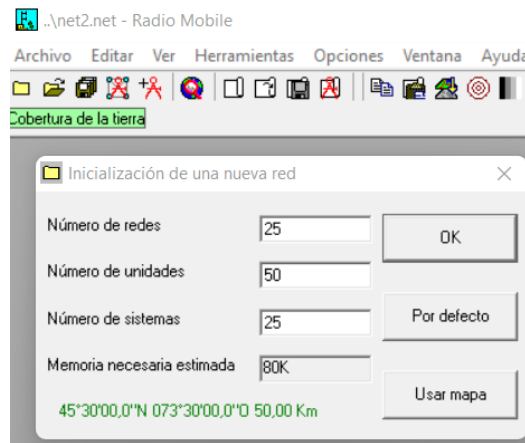


Figura 53.- Parámetros de red.  
Elaborada por el Autor

2. **Mapa:** este archivo es donde se alberga la imagen geográfica del lugar en donde se llevará a cabo el enlace, para extraer esta imagen es necesario tener una coordenada de referencia a la zona de análisis, las propiedades del mapa contienen propiedades ajustables a las consideraciones del desarrollado (tamaño en pixeles del mapa, altura en kilómetros de la vista del mapa) como se observa en la figura 54.

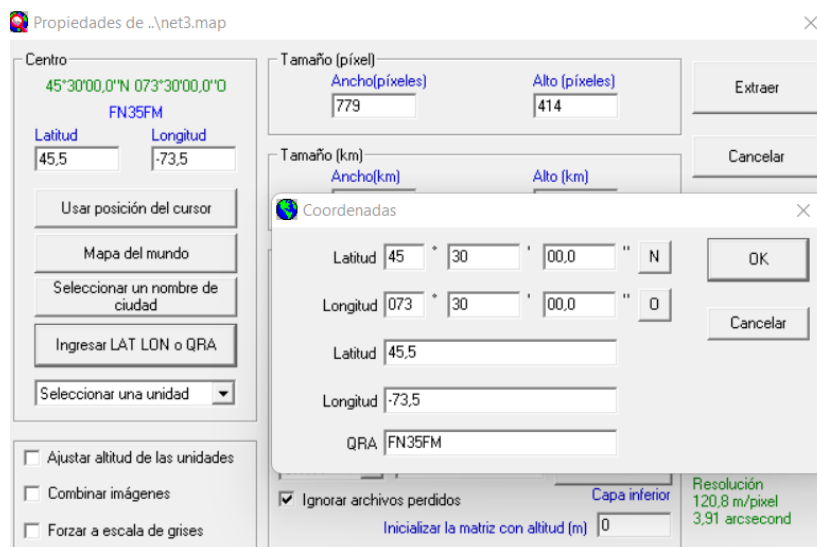


Figura 54.- Propiedades del mapa.  
Elaborada por el Autor

3. **Imagen:** este archivo se crea automáticamente con la exportación del mapa, sin embargo, se puede modificar las propiedades de la imagen (escala de colores en función de la altitud del mapa) como se observar en la figura 55.

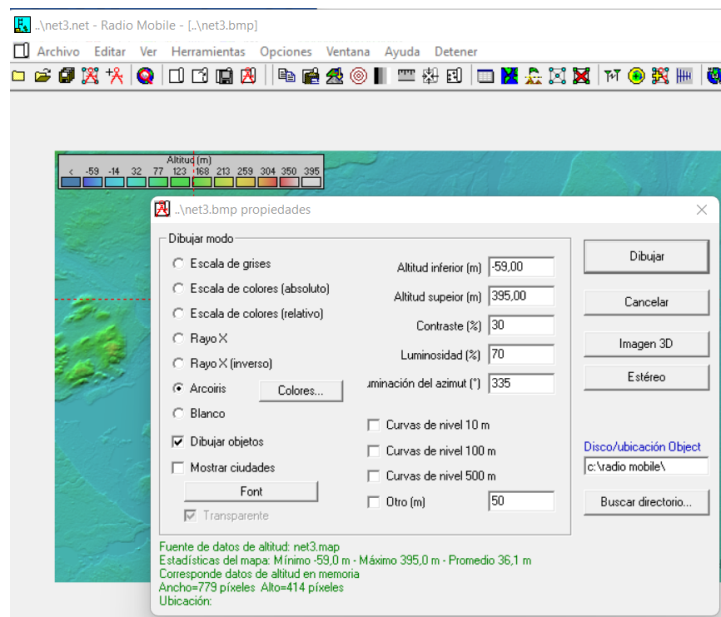


Figura 55.- Propiedades de imagen.  
Elaborada por el Autor

Para establecer los elementos que formaran parte de la red es necesario conocer las coordenadas exactas (latitud y longitud), en la siguiente imagen se muestra la interfaz para realizar la acción descrita (véase en la figura 56).

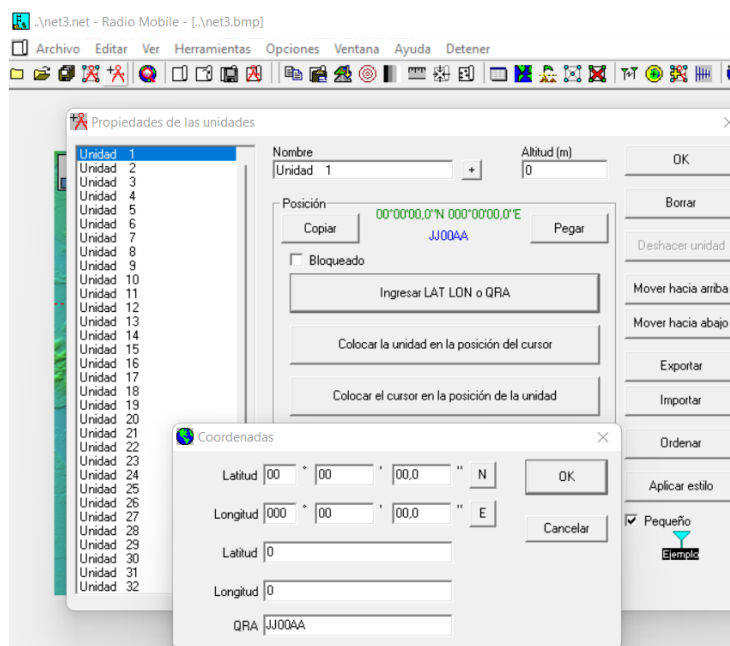


Figura 56.- Propiedades de las unidades (Nodos).  
Elaborada por el Autor

Una vez establecido de forma correcta lo anterior descrito, se configuran las propiedades de la red, lo primero a considerar son los parámetros de la red, esta requiere de los siguientes datos (véase en la figura 57):

- Nombre de red: etiqueta del proyecto.
- Frecuencia: rango en el que se trabajara en el proyecto (mínimo - máximo).
- Polarización: especifica la orientación geométrica de las oscilaciones de la onda (vertical/horizontal).
- Condiciones de suelo: refractividad (N-untis), conductividad (S/m) y permitividad
- Clima.

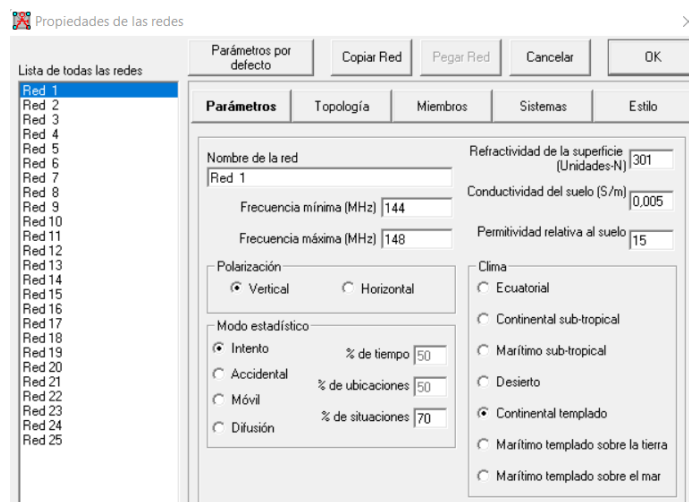


Figura 57.- Parámetros de la red.  
Elaborada por el Autor

El siguiente submenú “topología” representada en la figura 58, define la forma en la que está dispuesta la red.

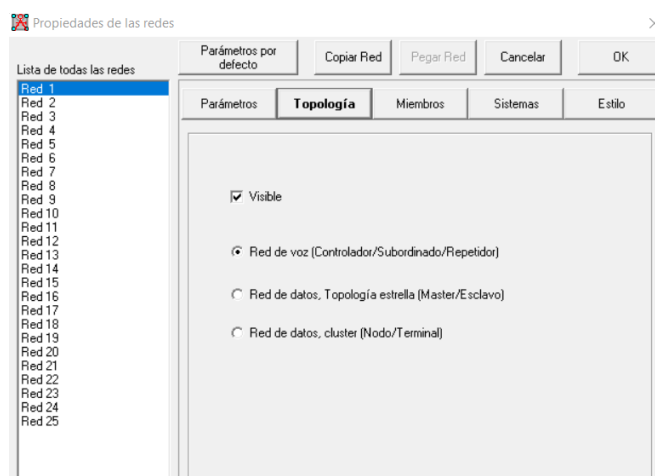


Figura 58.- Topología de red.  
Elaborada por el Autor

En el submenú “miembros” se define el rol (según la topología elegida) que tiene cada elemento en la red creada (véase en la figura 59).

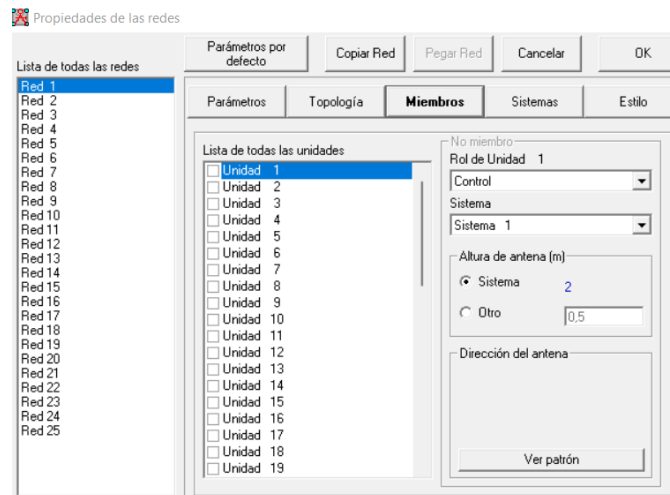


Figura 59.- Propiedades de los miembros en la red.  
Elaborada por el Autor

La propiedad de la red “sistemas” incluye parámetro de la antena (potencia, umbral de recepción, pérdida, ganancia y diagrama de radiación), se adicionan parámetros externos que también influyen en el enlace (pérdidas del cable, altura de la antena) como se puede observar en la figura 60 [63].

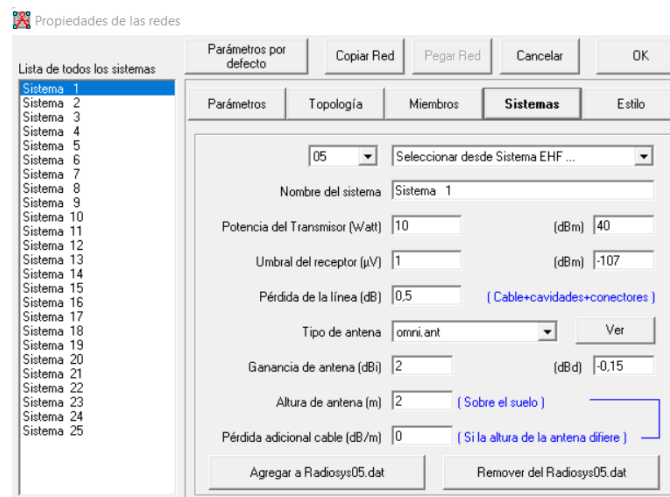


Figura 60.- Propiedades de red (sistemas).  
Elaborada por el Autor

## 2.2.2 LINKPLANNER

LINKPLANNER es un software gratuito de diseño y planificación de enlaces de radio frecuencia (RF), disponible para los sistemas Windows, Mac, Linux y Microsoft, que permite evaluar y determinar en función de la geografía, la línea de vista, zona de fresnel, distancia, altura, frecuencias, tipo de aplicación y otros factores, que de tal manera facilita la selección de equipos de acorde a las condiciones del proyecto (véase en la figura 61) [64].

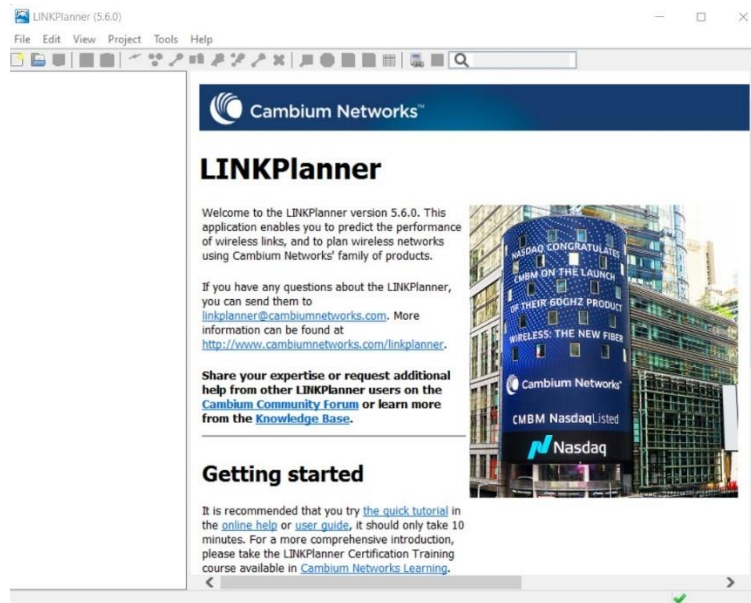


Figura 61.- Interfaz principal de inicio del software LINKPLANNER.  
Imagen capturada del software por el autor.

Brevemente se presenta las funciones que posee el software, en la siguiente figura 62 muestra las opciones como file, edit, view, project, tools y help, cada una de estas necesarias para iniciar un proyecto.



Figura 62.- Opciones principales del software LINKPLANNER.  
Imagen capturada del software por el autor.

A continuación, en la figura 63, se muestra la barra de herramientas del proyecto, que permite un fácil acceso a una serie de funciones comunes.



Figura 63.- Barra de herramientas del proyecto.  
Imagen capturada del software por el autor.

Posteriormente en la siguiente figura 64, se presente el interfaz del usuario de LINKPLANNER para el desarrollo del trabajo, en la que consiste en 3 secciones principales, como se puede observar la sección 1, abarca la información del proyecto, por consiguiente, la sección 2 muestra la información de la selección que se realiza en la sección 1, en otras palabras, si se seleccionó un sitio, enlace o alguna otra opción, se mostrara en esta sección, por último, está el estado de conexión que indica mediante el icono color verde la conectividad a internet de la laptop o PC y el servidor de cambium network. [64]

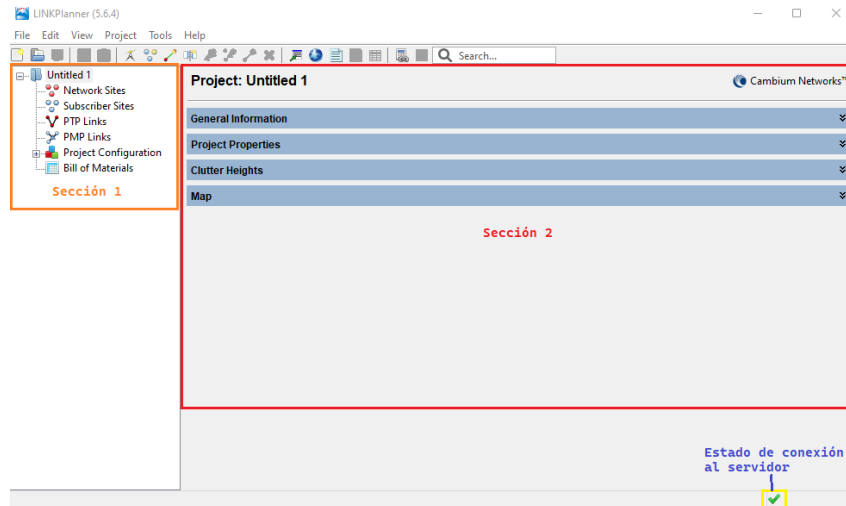


Figura 64.- Interfaz de trabajo del software LINKPLANNER.  
Imagen capturada del software por el autor.

### 2.2.3 GNS3

GNS3 es un simulador gráfico de redes que admite el diseño y emulación de redes con topología compleja, la emulación emplea el sistema operativo del dispositivo de interés y disponible en el mercado, GNS3 no reemplaza un enrutador real, pero es una herramienta destinada a aprender y probar en entornos de estudios y laboratorios (véase en la figura 65) [65].



Figura 65.- Símbolo GNS3.  
Tomado del sitio web "gns3"

Para admitir la emulación GNS3 está estrechamente vinculada a las siguientes herramientas:

- **Dynamips:** emulador de IOS que permite al usuario ejecutar imágenes de IOS de diferentes proveedores.
- **Dynagen:** es un front-end (parte del diseño enfocado en la experiencia de interacción con el usuario mediante elementos gráficos) basado en Dynamips.
- **Qemu y VirtualBox:** permite estaciones de trabajos virtuales.
- **VPCS:** emulador de PC con funciones básicas de redes.
- **IOU:** compilaciones especiales de IOS en sistemas UNIX y derivados.

En la actualidad GNS3 es usado por miles de ingenieros de redes permitiéndoles virtualizar dispositivos de hardware reales durante más de 10 años; cuenta con una comunidad en crecimiento de 800.000 miembros, inicialmente GNS3 solo emulaba dispositivos cisco, pero su evolución la ha llevado a la compatibilidad con múltiples dispositivos de proveedores diferentes [66].

## ARQUITECTURA

### ▪ **Software GNS3 todo en uno (GUI)**

Proceso por el cual el software se instala en su PC local (Windows, MAC, Linux) y los dispositivos deben ser alojados y ejecutados por un proceso del servidor, las cuales pueden ser:

- ✓ Servidor GNS3 Local.
- ✓ VM local GNS3.
- ✓ VM GNS3 remota.

### ▪ **Máquina virtual GNS3 (VM)**

Es el proceso recomendado ya que se puede ejecutar la máquina virtual GNS3 localmente en su PC utilizando software de virtualización como VMware Workstation, Virtualbox o Hyper-V; o puede ejecutar la máquina virtual GNS3 de forma remota en un servidor utilizando VMware ESXi o incluso en la nube (véase en las figuras 66 y 67) [67].

## CARACTERÍSTICAS

- **Multiplataforma** (Windows, Linux y Mac OS X) completamente gratuita.
- **Software de código abierto:** código fuente disponible en GitHub y cuenta con una comunidad de más de 800.000 miembros que contribuyen a mejorar.
- **Sin limitación de dispositivos admitidos:** depende únicamente del hardware donde se ejecute el programa.
- **Admite múltiples opciones de conmutación:** NM-ESW16, IOU/IOL Layer 2, VIRT IOSvL2.
- **Admite múltiples proveedores:** Cisco, Mikrotik, Juniper Networks, Huawei, Fortinet entre otros encontrados en el sitio web de GNS3.
- **Se puede ejecutar con o sin hipervisores (monitor de máquina virtual):** VirtualBox, VMware, ESXi, fusión.
- **Dispositivos descargables, gratuitos y preconfigurados.**
- **Simulación en tiempo real:** ejecuta el sistema operativo que emula el comportamiento real del hardware de red.



- **Crea mapas de red dinámicos:** usado para resolución de problemas y para pruebas de concepto (POC).
- **Permite conectar GNS3 a una red real:** aprovecha el hardware existente.
- **Posee topologías y laboratorios personalizados para capacitaciones en certificación de redes:** CCNA, CCNP, CCIE.
- **Admite dispositivos emulados:** imita el hardware de un dispositivo real del cual se tiene el IOS.
- **Admite dispositivos Simulados:** simula las características y la funcionalidad de un dispositivo.

### Interfaz principal de GNS3

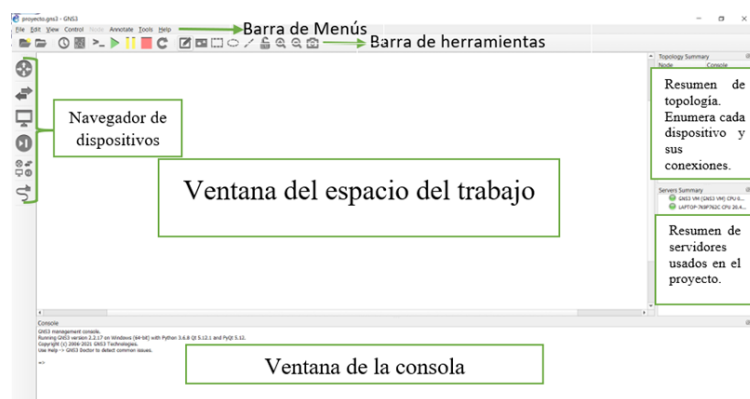


Figura 66.- Ventana principal de GNS3.  
Elaborada por el Autor

### Barra de herramientas

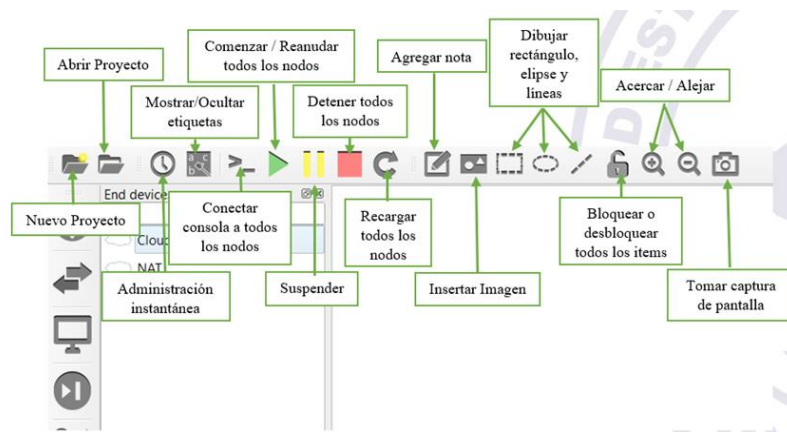


Figura 67.- Barra de herramientas.  
Elaborada por el Autor

### Barra de Menú

- El primer menú "file" contiene configuraciones respecto al archivo del proyecto en GNS3, se encuentran las siguientes opciones: nuevo proyecto en blanco. Abrir proyecto existente, guardar proyecto, editar proyecto, eliminar proyecto, exportar

proyecto portable, importar proyecto portable, importar dispositivo, nuevo modelo y salir del programa (véase en la figura 68).

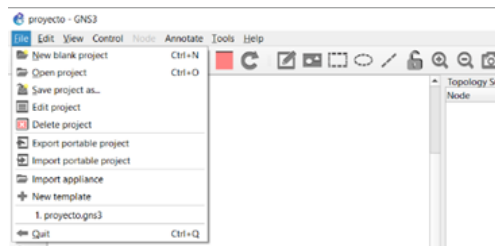


Figura 68.- Barra de menú.  
Elaborada por el Autor

- En el menú “Edit” mostrada en la figura 69, se encuentran opciones de edición referente a la ventana de trabajo como: seleccionar todo, quitar selección, administración instantánea y la más importante de GNS3.

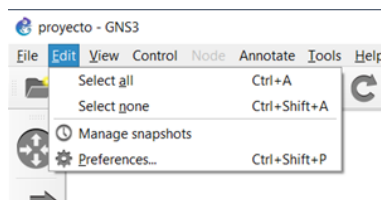


Figura 69.- Menú "edit".  
Elaborada por el Autor

La opción de preferencias ilustrada en la figura 70 es en donde se modifican configuraciones de máquina virtual y el de agregar los nuevos dispositivos mediante su IOS.

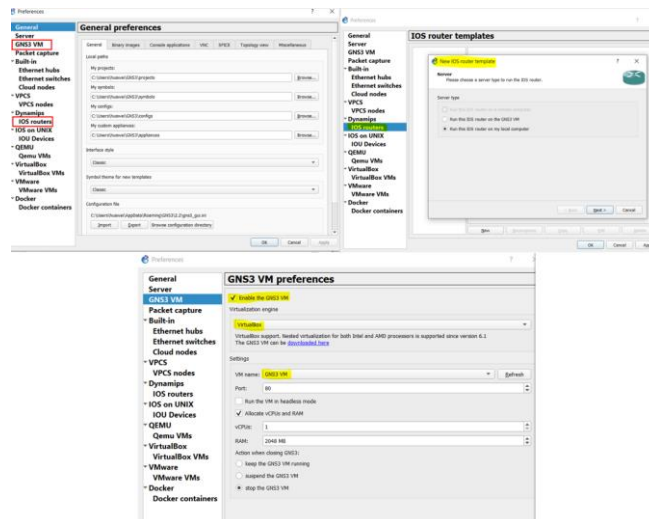


Figura 70.- Ventana preferencia de GNS3.  
Elaborada por el Autor

- En el menú “view” se encuentran herramientas de vista del área de trabajo como: acercar, alejar, resetear zoom, encajar vista, mostrar capas, encajar cuadrilla, mostrar cuadrillas, restaurar interfaz de etiquetas, mostrar/ocultar interfaz de etiqueta y bloquear o desbloquear todos los ítems (véase en la figura 71).

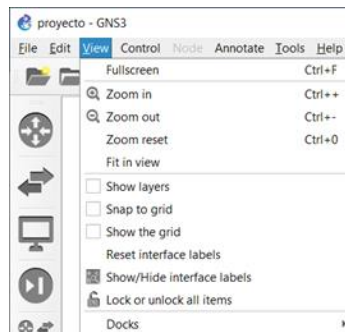


Figura 71.- Menú "view".  
Capturada por el Autor

- El menú “control” representada en la figura 72, posee herramientas de ejecución de la topología diseñada como: comenzar o restaurar todos los nodos, suspender todos los nodos, parar todos los nodos, recargar todos los nodos, conectar consola vía AUX a todos los nodos.

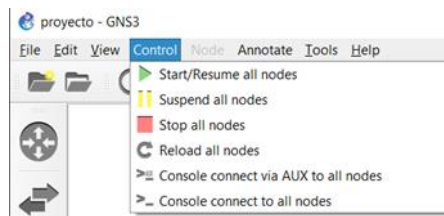


Figura 72.- Menú "control".  
Elaborada por el Autor

- En el menú “annotate” se encuentran herramientas de diseño auxiliares usadas por el diseñador como símbolos de información relevante, estas herramientas son: agregar nota, insertar imagen, dibujar rectángulo, dibujar elipse, dibujar línea y editar lectura (véase en la figura 73).

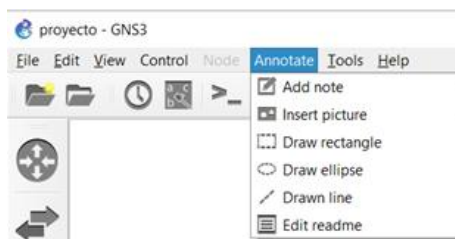


Figura 73.- Menu "annotate".  
Elaborada por el Autor

- En el menú “tools” se encuentran opciones de captura de diseño del proyecto como: tomar captura de pantalla, importar/exportar configuración de nodos (véase en la figura 74).

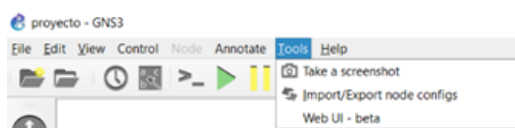


Figura 74.- Menú "tools".  
Elaborada por el Autor

- En el menú “help” se encuentra información y link a paginar de la comunidad de GNS3 que pretender dar solución a interrogantes del usuario (véase en la figura 75).

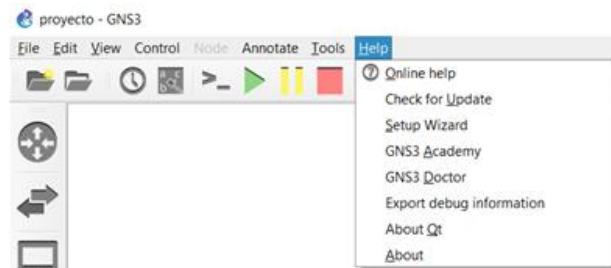


Figura 75.- Menú "help".  
Elaborada por el Autor

## 2.2.4 eNSP

Enterprise Network Simulation Platform es una herramienta de simulación de red grafica desarrollada por Huawei y de uso gratuito con interfaz mostrada en la figura 76 es destinada y restringida para la simulación de equipos nativos de Huawei, esta herramienta permite realizar pruebas tecnológicas de topologías de red de gran tamaño, a nivel de software se caracteriza por lo siguiente [68]:

- **Interfaz gráfica de usuario:** la interfaz gráfica que proporciona permite simplificar las operaciones en redes complejas, permite visualizar el modelo de los dispositivos y consultar la documentación técnica del equipo en el situó web de Huawei.
- **Alta simulación:** permite simular el funcionamiento de diversos modelos de dispositivos dentro de un mismo entorno de trabajo.
- **Conexión con dispositivos reales:** admite vincular adaptadores de red físicos logrando implementar una conexión entre dispositivos simulados y reales.
- **Despliegue distribuido:** permite el modo de implementación distribuida con lo que el servidor eNSP se implementa en varios servidores formando una red compleja.

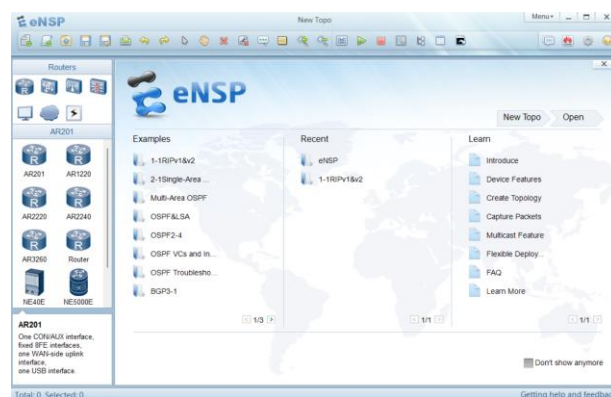


Figura 76.- Ventana principal de eNSP.  
Capturado por el Autor

El entorno gráfico de eNSP es bastante intuitivo, en el área de trabajo se puede observar los dispositivos disponibles para diseñar una red, los grupos se dividen en routers, switches, Wlan, Firewall, end devices, other device y connections; para usar estos equipos solo es necesario arrastrar el dispositivo al espacio de trabajo como se observa en la figura 77 siguiente:

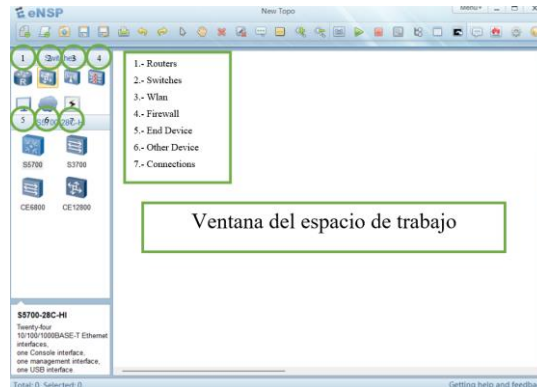


Figura 77.- Entorno de trabajo eNSP.  
Elaborada por el Autor

Para configurar los dispositivos, se hace clic derecho sobre el elemento y se elige la opción “settings” (véase en la figura 78).

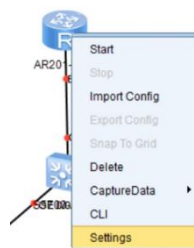


Figura 78.- Configuración de enrutador eNSP.  
Capturado por el Autor

La interfaz de eNSP permite agregar módulos a los elementos, esto se la realiza arrastrando los módulos necesitados a los espacios mostrado en la figura 79 del dispositivo.



Figura 79.- Módulos para enrutador eNSP.  
Elaborado por el Autor

Una vez establecido las conexiones necesarias para formar la red deseada, las configuraciones de los equipos se la hacen mediante interfaz de línea de comandos CLI, a esta se accede haciendo clic derecho al dispositivo y eligiendo “CLI”, como se muestra en la figura 80.



Figura 80.- Interfaz de línea de comando eNSP.  
Elaborado por el Autor

## 2.2.5 AUTOCAD

CAD es una abreviatura de diseño asistido por computadora, este proceso incluye la creación de diseños y dibujos del producto (véase en la figura 81). AutoCAD es un paquete de software CAD desarrollado y comercializado por Autodesk Inc. Se puede utilizar para crear modelos de productos 2D y 3D. Estos modelos pueden transferirse a otros programas de PC para su posterior análisis y prueba. Además, puede convertir estos modelos en datos informáticos [69].

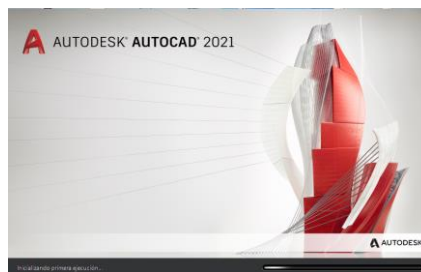


Figura 81.- Ventana de ejecución AutoCAD.  
Imagen capturada del software por el autor.

Brevemente en la figura 82, se presenta la pantalla inicial para abrir un archivo de dibujo. El archivo de dibujo consta de una ventana de dibujo, una cinta, una barra de menús, barras de herramientas, una línea de comandos y otros componentes de pantalla, según el espacio de trabajo que haya seleccionado [69].

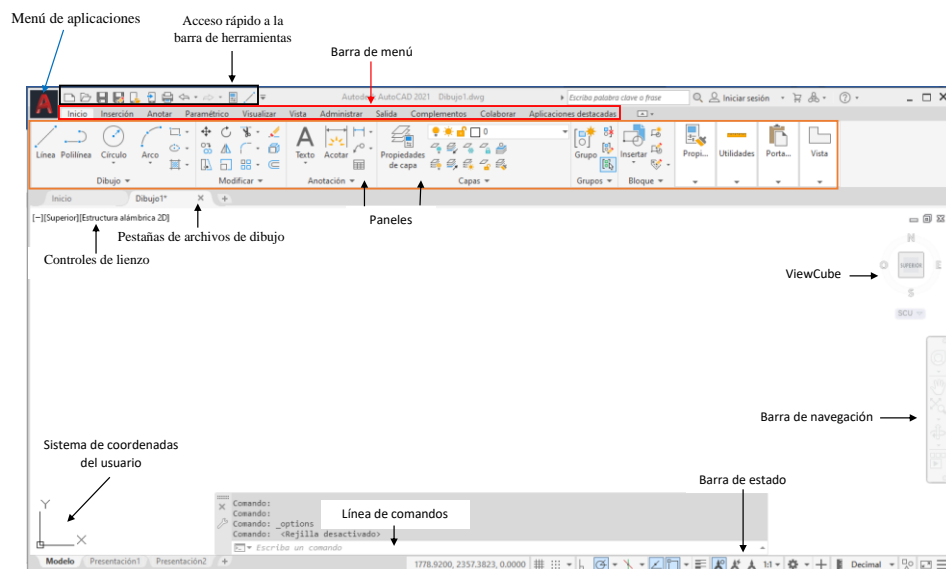


Figura 82.- Inicio de interfaz AutoCAD.  
Imagen capturada del software por el autor.

## **CAPITULO III            TÉCNICAS Y MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

### **3.1 ENTREVISTA Y ENCUESTAS**

#### **Análisis de la entrevista al presidente de la comuna Manantial de Colonche.**

Se realizo la entrevista al señor Marcelino Tomalá presidente de la comuna Manantial de Colonche, sobre la factibilidad de implementar una red HETNET y recolectar datos de la comunidad con respecto al servicio de internet que actualmente poseen y conocer su opinión desde su perspectiva.

Una de las preguntas realizadas consistía en el grado de satisfacción del servicio que posee la casa comunal, a lo que el presidente respondió que actualmente el servicio de internet es un poco estable debido a la contratación de un plan intermedio, a diferencia del plan contratado por la comunidad (básico), sin embargo, se sentían un poco insatisfecho, debido a que no es suficiente para no presentar fallas al momento que están realizando uso de este.

Con respecto a proyecto futuros que involucre la tecnología, supo manifestar que actualmente no tienen previsto nada, debido a que están más enfocados en el área de agricultura, esto se debe a que gran parte de la población trabaja del mismo, sin embargo, manifestó que nuestra propuesta no le es indiferente, al contrario, les interesaba mucho debido a que este sería un beneficio tanto para ellos como para la comunidad, también nos manifestó que tiempo atrás si estaban agilizando trámites para la reactivación de una antena, pero por motivos de diversos factores pues le fue imposible. Además, nos manifestó que estarían dispuesto a apoyar este proyecto en un futuro.

En cuestión de ingresos económicos, nos supo manifestar que como son una comunidad pequeña y debido a la situación actual tienen fijada una cuota por comunero mismo que no es suficiente para cubrir gasto de proyectos u otra gestión, sin embargo, este no es impedimento para iniciar proyectos que beneficien a la comunidad.

Como finalización de la entrevista al señor Tomalá, expresó su interés por la propuesta tecnológica del diseño de red HENTNET ya que este sería indispensable y factible tanto para los residentes como para ellos, permitiendo que la población tenga acceso a un servicio de internet mucho más estable y por ende generar un rubro para la institución.

## Análisis de los resultados obtenidos

Se realizaron 60 encuestas en el sector rural Manantial de Colonche, consta de 10 preguntas como se presenta en **Anexo 3**, con la finalidad de evaluar la calidad del servicio que la actual infraestructura de telecomunicación brinda a los usuarios de la comuna Manantial de Colonche y estimar la factibilidad de un cambio de infraestructura. A continuación, se indicará los resultados obtenidos.

### 1. ¿Qué tan familiarizado se encuentra con los servicios de redes de comunicación?

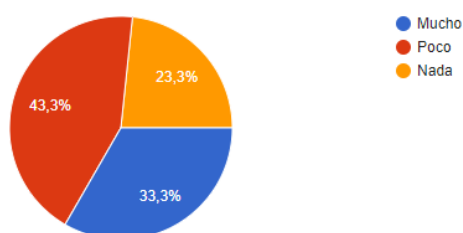


Gráfico 1.- Porcentaje sobre la familiarización con los servicios de comunicaciones.  
Imagen elaborada por el Autor

**Interpretación:** en el gráfico 1, se puede observar que el 43,3% de pobladores tienen gran conocimiento sobre los servicios de comunicación, mientras que el 33,3% no conocen tanto sobre estos servicios, y con un 23,3% que desconocen de los servicios de redes de comunicación.

**Análisis:** las respuestas de los encuestados demuestran que en esta comunidad aún existe un porcentaje significativo de personas con desconocimiento de las potencialidades que los servicios de telecomunicaciones y su importancia para acelerar a una sociedad de la información.

### 2. ¿Cuenta con uno o más de los siguientes servicios de telecomunicaciones?

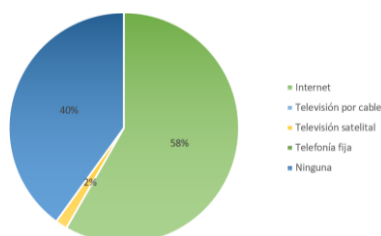


Gráfico 2.- Porcentaje de servicios de telecomunicaciones.  
Imagen elaborada por el Autor

**Interpretación:** en servicios más utilizados por los habitantes es el internet con un 58% de los encuestados, el 2% cuenta también con televisión satelital mientras que el 40% no cuentan con ningún tipo de servicio, como se puede observar en el gráfico 2.



**Análisis:** los resultados evidencian que existe un número muy reducido de servicios a los que la comunidad puede acceder y que existe un porcentaje considerable de la población que es importante considerar con demanda potencial futura.

### 3. ¿Cuál es el proveedor a los que usted ha contratado el servicio de internet?

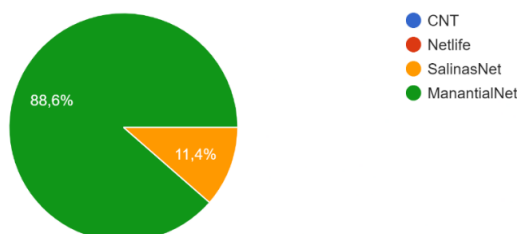


Gráfico 3.- Proveedores de servicios de internet.  
Imagen elaborada por el Autor

**Interpretación:** cómo se puede observar en el gráfico 3, proveedores dominan el mercado, la mayor cantidad de encuestados poseen servicios de ManantialNet con el 88,6% y el 11,4% manifestó que tiene contrato con SalinasNet.

**Análisis:** la comuna manantial de colonche cuenta con proveedores locales, aun no existe la inmersión de compañías de mayor escala como la corporación nacional de telecomunicación (CNT) la cual predomina el mercado en el Ecuador.

### 4. ¿Qué tipo de plan tiene contratado?

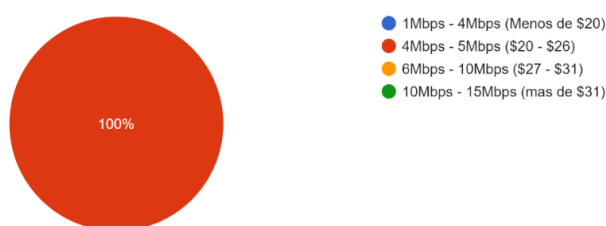


Gráfico 4.- Planes de internet.  
Imagen elaborada por el Autor

**Interpretación:** de manera Unánime se puede observar en el gráfico 4, el 100% de los encuestados manifiestan tener planes de velocidades de 4 Mbps a 5 Mbps con un costo entre \$20 - \$26.

**Análisis:** la afinidad de la comunidad hacia los planes básicos es evidente, y la tasa de transmisión ofrecida en ese plan permite darnos una idea de las limitaciones que presentan al hacer uso de los servicios.

## 5. ¿Cuál es el tiempo promedio diario que utiliza el servicio de “Internet”?

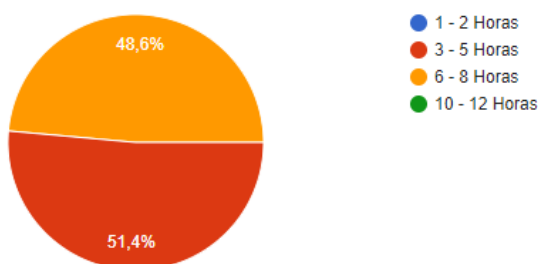


Gráfico 5.- Porcentaje de utilidad del servicio.  
Imagen elaborada por el Autor

**Interpretación:** de los encuestados que poseen el servicio de internet, el 51.4% emplea entre 3 a 5 horas de su vida diaria al uso de internet, y el 48.6% usa entre 6 a 8 horas, como se observa en el gráfico 5.

**Análisis:** se indica que lo importante que se ha convertido para las personas dedicarle varias horas diarias a explorar y descubrir nuevos entornos online.

## 6. ¿Cuáles son los principales usos que le da al internet?

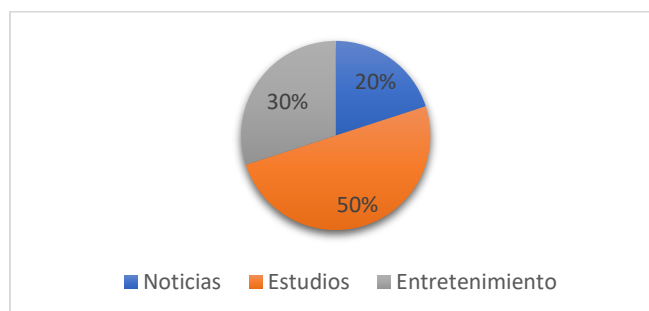


Gráfico 6.- Porcentaje del uso de internet.  
Imagen elaborada por el Autor

**Interpretación:** esta pregunta determinar las principales actividades para las que requieren hacer uso del servicio, obteniendo un 50% para estudios debido a las clases virtuales que se presentan actualmente, un 30% usa el servicio para entretenimiento, otro 20% emplea internet para informarse mediante noticias en sitios web, como se puede constatar en el gráfico 6.

**Análisis:** se determina el nicho dominante del servicio en la comunidad esto permite enfocar recursos estratégicos para mejorar las necesidades de los clientes a su interés primordial.

## 7. ¿Qué grado de satisfacción tiene del servicio que posee en su hogar?

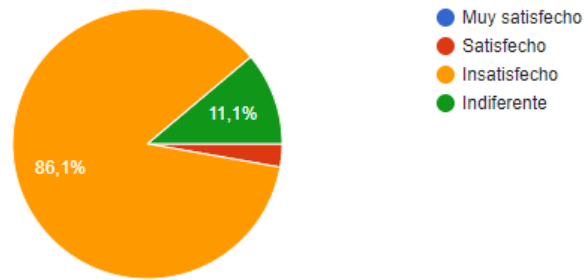


Gráfico 7.- Porcentaje del grado de satisfacción del usuario con su actual servicio.  
Imagen elaborada por el Autor

**Interpretación:** en el gráfico 7, el 86.1% de los usuarios que poseen el servicio se encuentran insatisfecho, 2,8% de los usuarios se encuentran satisfechos con el servicio y el 11,1% le es indiferente la calidad de servicio que recibe.

**Análisis:** se deduce que los usuarios no reciben un servicio de calidad por parte de las empresas de prestaciones de servicios de telecomunicaciones, por tal razón se hace imprescindible la incursión de nuevas estrategias que garanticen la eficacia y estabilidad.

## 8. ¿Cuál de las siguientes opciones, considera usted que es el problema del servicio que posee?

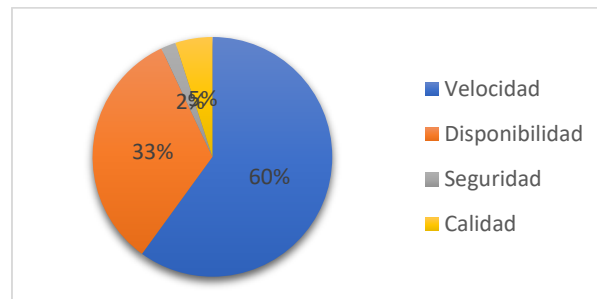
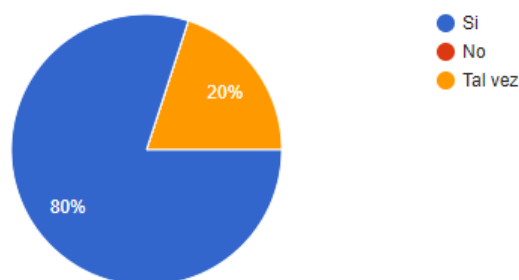


Gráfico 8.- Porcentaje del problema del servicio que posee actualmente.  
Imagen elaborada por el Autor

**Interpretación:** los encuestados, en gran parte señalan que la velocidad es el actual problema del servicio que posee con un 60%, seguido del 33% en disponibilidad, 5% en calidad y 2% de seguridad como se muestra en el gráfico 8.

**Análisis:** el mayor problema que distinguen los usuarios (velocidad) está determinado por el ancho de banda gestionada por la empresa proveedores del servicio, donde es evidente que las limitaciones de capacidad de datos a transmitir en tiempo real no cumple con las necesidades de los usuarios, es deducible que por consecuencia la disponibilidad para establecer conexión también se encuentra afectada.

**9. ¿Cree conveniente el cambio de infraestructura de red por el cual usted actualmente recibe el servicio de internet?**

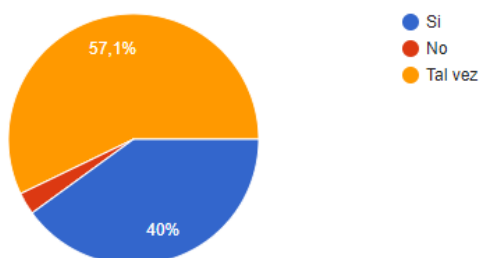


*Gráfico 9.- Porcentaje sobre el cambio de infraestructura de red.  
Imagen elaborada por el Autor*

**Interpretación:** el 80% están de acuerdo con establecer un cambio en la infraestructura de la red mientras que un 20% se expresa con duda, como se puede observar en el gráfico 9, pero con verosimilitud a la posibilidad de que es la solución a los problemas que se presentan actualmente en los servicios que recibe.

**Análisis:** en mayoría, los encuestados se manifiestan positivamente a la inmersión de nuevos diseños que cambian la forma de acceder a los servicios de telecomunicaciones.

**10. ¿Usted estaría de acuerdo en pagar una cantidad mayor o igual de la que cancela por un mejor servicio?**

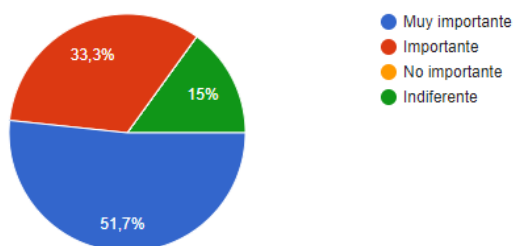


*Gráfico 10.- Porcentaje sobre la cancelación de un pago por un mejor servicio.  
Imagen elaborada por el Autor*

**Interpretación:** en la gráfica 10, se muestra el porcentaje de usuarios que están dispuestos a pagar el mismo valor o más por un mejor servicio obteniendo un 57.1 % se encuentra en duda, el 40% está totalmente de acuerdo en pagar el mismo precio y un 2,9% no está dispuesto a pagar un precio mayor.

**Análisis:** esta pregunta manifiesta el potencial de demanda de clientes en relación costo-beneficio, la cual es favorable en su mayoría.

**11. ¿Qué tan importante considera usted, que es el servicio de internet en la actualidad?**

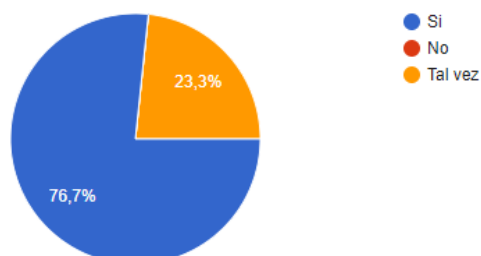


*Gráfico 11.- Porcentaje sobre la importancia servicio de internet actualmente.  
Imagen elaborada por el Autor*

**Interpretación:** la finalidad de esta pregunta es conocer el porcentaje de residentes que consideran importante en la actualidad el servicio de internet, en la gráfica 11, el 51.7% concordaron que es de muy importante este servicio, el 33,3 que es importante y el 15% que es indiferente.

**Análisis:** en su mayoría, se evidencia el interés de la población en relación con las tecnologías actuales y sus servicios, y el valor agregado que esta ofrece al desarrollo académico y laboral impacta de forma positiva.

**12. ¿Cree usted que los servicios de telecomunicaciones ayudan al desarrollo de los sectores rurales?**



*Gráfico 12.- Porcentaje sobre el desarrollo del sector rural a través de servicios de telecomunicaciones.  
Imagen elaborada por el Autor*

**Interpretación:** en la gráfica 12, se muestra la opinión favorable de las personas de esta comunidad en relación con el impacto que tiene los servicios de telecomunicaciones en los sectores rurales obteniendo el 76.7% de afirmaciones y un 23,3% de que se encuentra dudoso.

**Análisis:** una gran parte de la población tiene conocimiento de como los servicios de telecomunicaciones manifiestan oportunidades que ofrece el internet, destacan la superación académica y personal en el surgimiento de emprendimientos que son promocionados mediante plataformas que nos ofrece los servicios de telecomunicaciones como redes sociales, sitios web, entre otras.

### 3.2 ESTUDIO DE CAMPO

Se inicio con una recolección de datos, necesaria para establecer un sistema de información geográfica (SIG) que permita estimar la ubicación espacial de los elementos iniciales con los que se cuenta en el área de estudio. Para establecer las ubicaciones de elementos pasivos (postes), para esta labor se empleó la siguiente aplicación móvil:

#### UTM Geo Map

UTM Geo Map es una aplicación GPS que permite tomar de manera rápida y sencilla como se puede observar en la figura 83, facilitando la recolección de datos de coordenadas en diferentes sistemas, permite procesos de Geocoding o de navegación parecida a cualquier otro software de navegación GPS como Google Maps, Apple Maps, Waze, etc. La ventaja de UTM Geo Map es que la versión gratuita es suficiente para generar capas vectoriales en nuestro teléfono móvil, no requiere de acceso a internet y permite la conversión en diferentes formatos (UTM, MGRS, latitud/longitud), en la tabla 14, se detallan las coordenadas obtenidas mediante la aplicación antes mencionada, así como, en la figura 84 se evidencia la toma de estas [70].

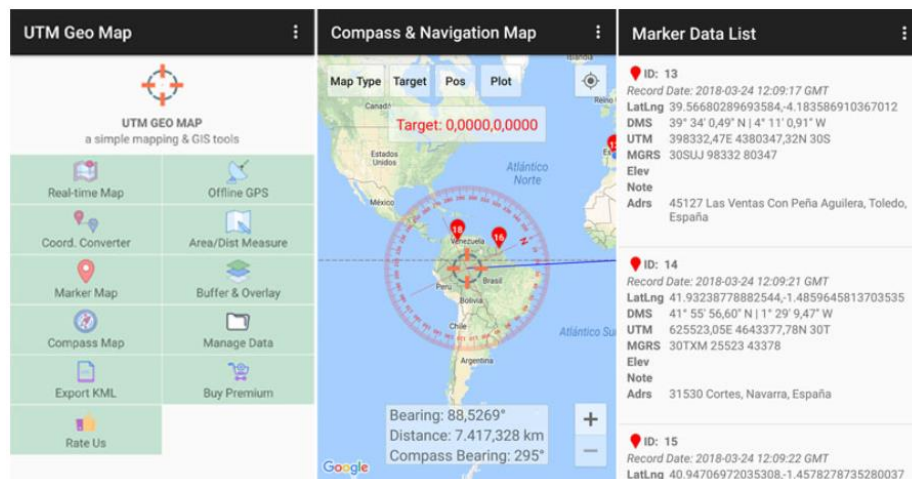


Figura 83.- UTM Geo Map.  
Capturada por el Autor



Figura 84.- Manantial de Colonche.  
Imagen elaborada por el Autor

Coordenadas Geográficas				
Etiquetas	Formato DD (Grados decimales)		Formato DMS (Grados: Minutos: Segundos)	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Post1	-1.987647	-80.679600	1°59'15.53"S	80°40'46.56"W
Post2	-1.987553	-80.679650	1°59'15.19"S	80°40'46.74"W
Post3	-1.987419	-80.679200	1°59'14.71"S	80°40'45.12"W
Post4	-1.987356	-80.679069	1°59'14.48"S	80°40'44.65"W
Post5	-1.986989	-80.678700	1°59'13.16"S	80°40'43.32"W
Post6	-1.986625	-80.678992	1°59'11.85"S	80°40'44.37"W
Post7	-1.986311	-80.679256	1°59'10.72"S	80°40'45.32"W
Post8	-1.986044	-80.679594	1°59'9.76"S	80°40'46.54"W
Post9	-1.985761	-80.679881	1°59'8.74"S	80°40'47.57"W
Post10	-1.985617	-80.680086	1°59'8.22"S	80°40'48.31"W
Post11	-1.986322	-80.678892	1°59'10.76"S	80°40'44.01"W
Post12	-1.986072	-80.678756	1°59'9.86"S	80°40'43.52"W
Post13	-1.986656	-80.678336	1°59'11.96"S	80°40'42.01"W
Post14	-1.986050	-80.678364	1°59'9.78"S	80°40'42.11"W
Post15	-1.986161	-80.677975	1°59'10.18"S	80°40'40.71"W
Post16	-1.986194	-80.677733	1°59'10.30"S	80°40'39.84"W
Post17	-1.985839	-80.677222	1°59'9.02"S	80°40'38.00"W
Post18	-1.985850	-80.677397	1°59'9.06"S	80°40'38.63"W
Post19	-1.985611	-80.677778	1°59'8.20"S	80°40'40.00"W
Post20	-1.985431	-80.677886	1°59'7.55"S	80°40'40.39"W
Post21	-1.985244	-80.678047	1°59'6.88"S	80°40'40.97"W
Post22	-1.984878	-80.677772	1°59'5.56"S	80°40'39.98"W
Post23	-1.985292	-80.677303	1°59'7.05"S	80°40'38.29"W
Post24	-1.985569	-80.676981	1°59'8.05"S	80°40'37.13"W
Post25	-1.985400	-80.676542	1°59'7.44"S	80°40'35.55"W
Post26	-1.984972	-80.676328	1°59'5.90"S	80°40'34.78"W
Post27	-1.984797	-80.676386	1°59'5.27"S	80°40'34.99"W
Post28	-1.984717	-80.676664	1°59'4.98"S	80°40'35.99"W

<b>Post29</b>	-1.984625	-80.676547	1°59'4.65"S	80°40'35.57"W
<b>Post30</b>	-1.984461	-80.676303	1°59'4.06"S	80°40'34.69"W
<b>Post31</b>	-1.984550	-80.676181	1°59'4.38"S	80°40'34.25"W
<b>Post32</b>	-1.984256	-80.675975	1°59'3.32"S	80°40'33.51"W
<b>Post33</b>	-1.983839	-80.675717	1°59'1.82"S	80°40'32.58"W
<b>Post34</b>	-1.983350	-80.675369	1°59'0.06"S	80°40'31.33"W
<b>Post35</b>	-1.983269	-80.675469	1°58'59.77"S	80°40'31.69"W
<b>Post36</b>	-1.982703	-80.675228	1°58'57.73"S	80°40'30.82"W
<b>Post37</b>	-1.982350	-80.674697	1°58'56.46"S	80°40'28.91"W
<b>Post38</b>	-1.982106	-80.674325	1°58'55.58"S	80°40'27.57"W
<b>Post39</b>	-1.981864	-80.674506	1°58'54.71"S	80°40'28.22"W
<b>Post40</b>	-1.981672	-80.674319	1°58'54.02"S	80°40'27.55"W
<b>Post41</b>	-1.981531	-80.674089	1°58'53.51"S	80°40'26.72"W
<b>Post42</b>	-1.981739	-80.673897	1°58'54.26"S	80°40'26.03"W
<b>Post43</b>	-1.981406	-80.673258	1°58'53.06"S	80°40'23.73"W
<b>Post44</b>	-1.980867	-80.673389	1°58'51.12"S	80°40'24.20"W
<b>Post45</b>	-1.980739	-80.673033	1°58'50.66"S	80°40'22.92"W
<b>Post46</b>	-1.980928	-80.672433	1°58'51.34"S	80°40'20.76"W
<b>Post47</b>	-1.980658	-80.671950	1°58'50.37"S	80°40'19.02"W

*Tabla 14.- Coordenadas de elementos pasivos (postes) de la comunidad.*

*Tabla elaborada por el Autor*

Para digitalizar los valores obtenidos del estudio de campo se emplea un software de libre uso, empleados con fines académicos como laborales, programa basado en superposiciones de imágenes satelitales e información geográfica de todo el mundo; esta herramienta permite usar imágenes geográficas para establecer cartografías hasta establecer explicaciones de la organización territorial (demografía, topografía, hidrografía, historia y cultura). Google earth adiciona herramientas de integración de puntos, líneas y polígonos que se emplean para establecer el bosquejo de las áreas involucradas en el proyecto propuesto [71].

### **3.2.1 EVALUACIÓN DE DEMANDA DE USUARIOS**

Empleando la información obtenida de las encuestas, se estima cual es la posible demanda de usuarios, esta información es importante para reforzar la viabilidad del proyecto,



para esto se considera como demanda potencial a los usuarios que no cuentan con servicios de internet y aquellos usuarios que se encuentra insatisfechos con la calidad de servicios recibido.

La pregunta 2 de la encuesta indica que 40% (24 personas) de los encuestados no cuentan con servicios de internet, de los que si cuentan servicio de internet (36 personas) la pregunta 5 refleja el 86.1% (29 personas) se encuentra insatisfechos con el servicio que reciben; como resultado de este análisis se concluye que 53 de 60 encuestados son potenciales usuarios para el proyecto planteado.

A nivel poblacional la demanda se calcula con la siguiente formula [72]:

$$D_0 = \frac{e_{meta}}{e_{totales}} * N$$

*Ecuación 1.- Demanda de clientes*

Donde:

$D_0 =$  Demanda inicial

$e_{meta} =$  Usuarios potenciales de la encuesta

$e_{totales} =$  Total de muestra en la encuesta

$N =$  Tamaño total de la poblacion de estudio

$$D_0 = \frac{53}{60} * 481 \approx 424$$

La demanda inicial calculada está enfocada al número total de habitantes en la comunidad, sin embargo, el servicio se destina a agrupaciones (hogares), para ello se toma como referencia la estimación publicada por la INEC en el año 2013 en donde estima el número de habitantes por hogar es de 3,9 personas [73]. El promedio de integrantes por familia para efecto de estudio se considerará 4 personas por familia, con esto se concluye que en el área de estudio en general se prevé una demanda de servicio para  $\frac{424}{4} = 106$  por hogares.

### **3.3 RADIOENLACE EN RADIO MOBILE**

Usando el sistema de información geográfica “Google Earth” se estimó las coordenadas de un punto central del área donde se desea trabajar y cuya asignación se muestra en la figura 85.

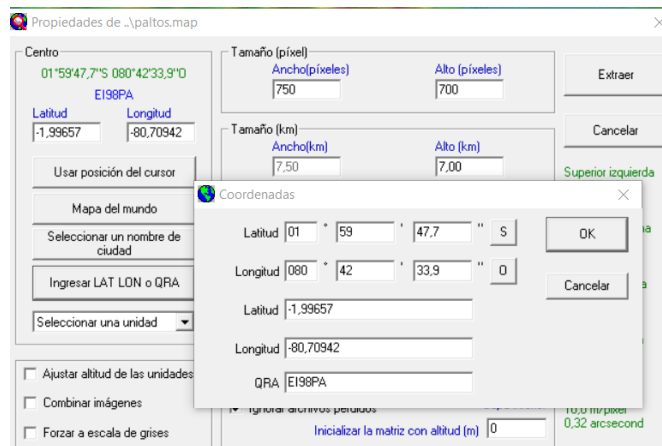


Figura 85.- Mapa radio mobile.  
Imagen elaborada por el Autor

### 3.3.1 FRECUENCIAS EXTREMADAMENTE ALTAS

Los valores de las propiedades de la red están compuestos por datos de la antena RBLHGG-60 ad que se observan en la figura 86, empleada en conformidad a lo autorizado por la FCC (Anexo 4).



Figura 86.- RBLHGG-60 ad.  
Imagen tomada de la página "<https://mikrotik.com/>"

Las condiciones del suelo: para las características del suelo como: refracción, conductividad, permitividad, clima, polarización y modo estático (móvil, el peor escenario para propagación), se tomaron recomendaciones del manual de cálculo de cobertura con radio mobile elaborado por el grupo de protección civil España, por otro lado, la frecuencia de trabajo está definida por la antena y la regulación de la FCC (véase en la figura 87) [74].

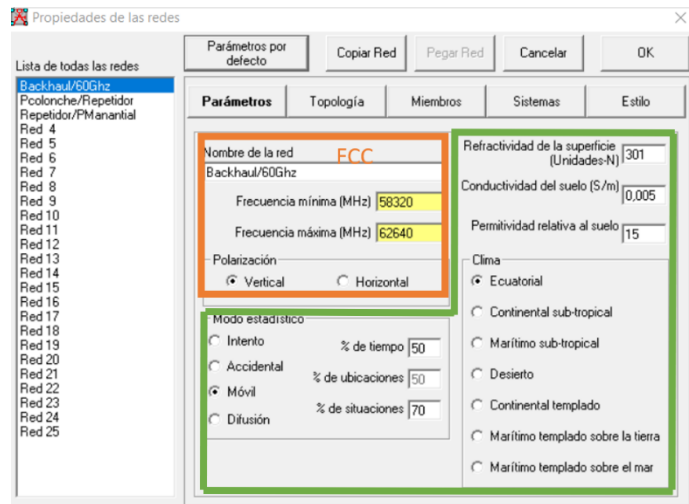


Figura 87.- Parámetros del enlace 60 GHz.  
Imagen elaborada por el Autor

En la siguiente figura 88, se muestra la configuración del sistema de la red la cual es definido como “EHF” por la banda en la que trabaja; los parámetros usados para describir el equipo de radio enlace RBLHGG-60 ad son los siguientes:

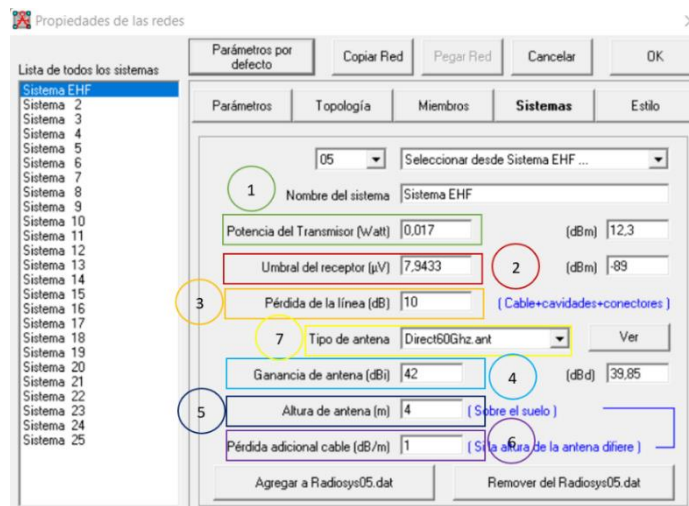


Figura 88.- Sistema de radioenlace 60 GHz.  
Imagen elaborada por el Autor

1. **Potencia de transmisión:** es el nivel potencia con la que emite un equipo inalámbrico emite, el equipo RLHGG-60 ad en concesión de autorización de equipos (Anexo 4) de la FCC tienen potencia de transmisión 0,017 W.
2. **Umbral de receptor:** también conocida como sensibilidad del receptor, es la potencia de la portadora en la entrada del receptor con la que se demodula una señal; en el estudio de radio mobile se considera una sensibilidad de -89 dBi por los datos estimados en el test de compatibilidad de viesturs ridins [75].

3. **Perdida de la línea:** es la diferencia de entre la energía administrada al inicia de una línea y la extraída al final de esta, esta puede ser causada por cables, conectores; para la simulación se empleó el valor por el grupo de protección civil España [74].
4. **Ganancia de la antena:** es la correlación entre la densidad de potencia emitida en una dirección y la potencia que irradiaría una antena isotrópica a iguales distancias y potencias; el equipo RLHGG-60 incorpora una antena de 42 dBi (Anexo 5).
5. **Altura de la antena:** es la distancia desde el centro de radiación de una antena hasta el suelo, Las pruebas de campo determinaron que la altura óptima es de 4 m.
6. **Perdida adicionales cable:** se considera un margen de perdida para estimar factores externos no considerados, este valor es por defecto 0,5 dB/m.
7. **Tipo de antena:** el tipo de antena que emplea el sistema es direccional, para diseñar el patrón de radiación se emplea el documento te ayuda “AntDiag.xls” en donde se modifica la columna “Att (dB)” para modelar el patrón deseado; para añadir el diseño a radio mobile es necesario copiar la columna “gain” y pegar los datos en un documento de texto que será guardado en la dirección “C:\Radio Mobile\antena” bajo la extensión ‘.ant’; el diseño final del patrón de radiación se muestra en las siguientes figuras 89 y 90.

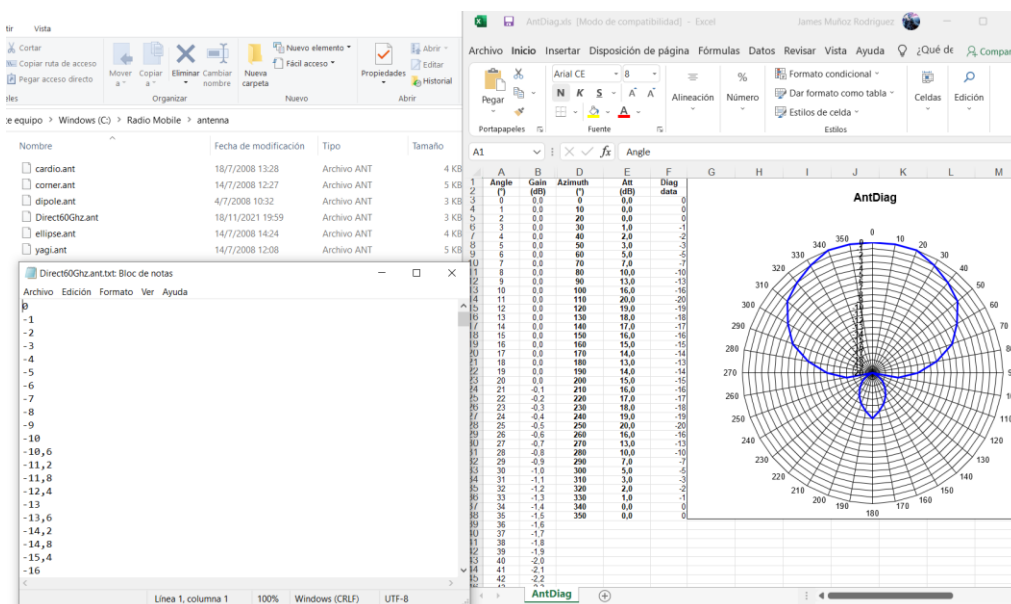


Figura 89.- Diseño de patrón de radiación.

Imagen elaborada por el Autor

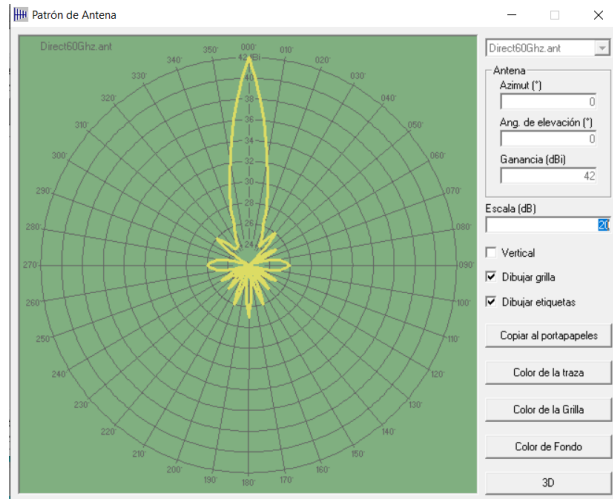


Figura 90.- Patrón de radiación LHG60GHz.  
 Imagen elaborada por el Autor

La topología asignada para el sistema es topología estrella y los dispositivos se configuran según su función en maestro (PColonche) y esclavo (PManantial) porque es la que mejor se adapta al sistema punto a punto a desarrollar (véase en la figura 91).

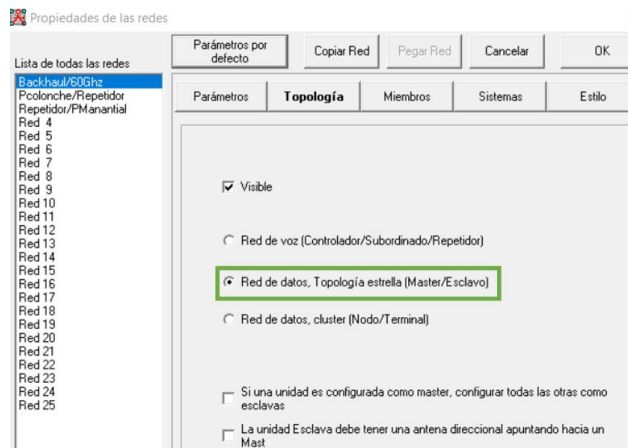


Figura 91.- Topología de diseño a radio mobile.  
 Imagen elaborada por el Autor

El siguiente menú “miembro” mostrada en la figura 92 se establece el papel del elemento dentro de la red y asociarla dentro del sistema creado.

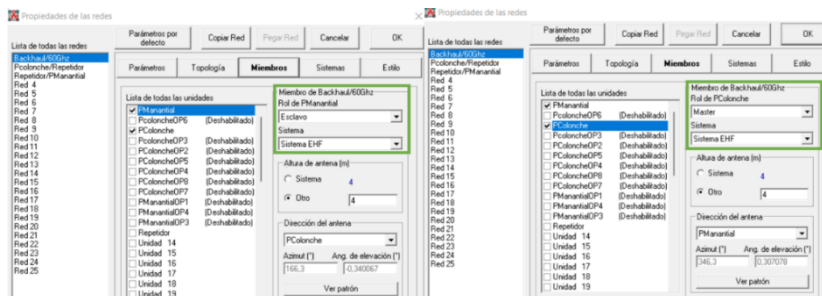


Figura 92.- Parámetros del enlace 60 GHz.  
 Imagen elaborada por el Autor

Finalmente, como se muestra en la figura 93 se configura el estilo, radio mobile emplea el modelo de propagación Longley-Rice con el que se toma en cuenta las interferencias de otros sistemas y que para el presente estudio no sería recomendable no considerar los diversos factores (variabilidad del tiempo, ubicaciones, situaciones).

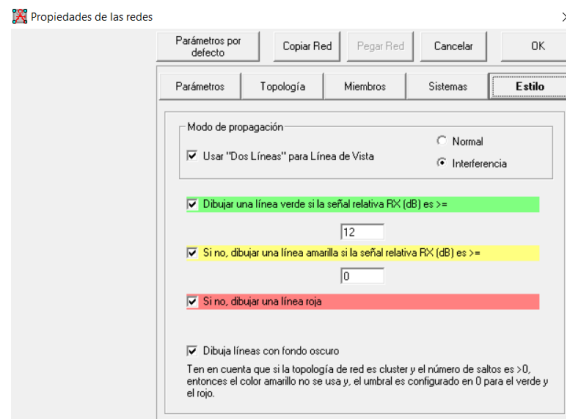


Figura 93.- Configuración de estilo de resultados.  
Imagen elaborada por el Autor

### Análisis de resultados

Para enfocándonos en los niveles de recepción de la señal, es necesario tener en cuenta estimaciones de niveles de calidad según los valores, resumen establecido se muestra en la tabla 15.

Nivel Rx (dBm)	Descripción
<b>Más de -76 dBm</b>	Excelente
<b>Entre -89 y -77</b>	Muy buena
<b>Entre -97 y -90</b>	Buena/Media
<b>Entre -103 y -98</b>	Baja cobertura
<b>Entre -112 y -104</b>	Muy baja cobertura
<b>Entre -113 y -132</b>	Muy poca cobertura
<b>Menos de -135</b>	Sin cobertura

Tabla 15.- Niveles de calidad de recepción.

tabla elaborada por el Autor

El resultado muestra que con el dispositivo Mikrotik LHG60, se logra tener un nivel de recepción de -69.2 dBm a una distancia de 3,67 km posible gracias a la alta ganancia de la antena y su directividad, el nivel de pérdida es considerable de 145,5 dB (véase en la figura 94).

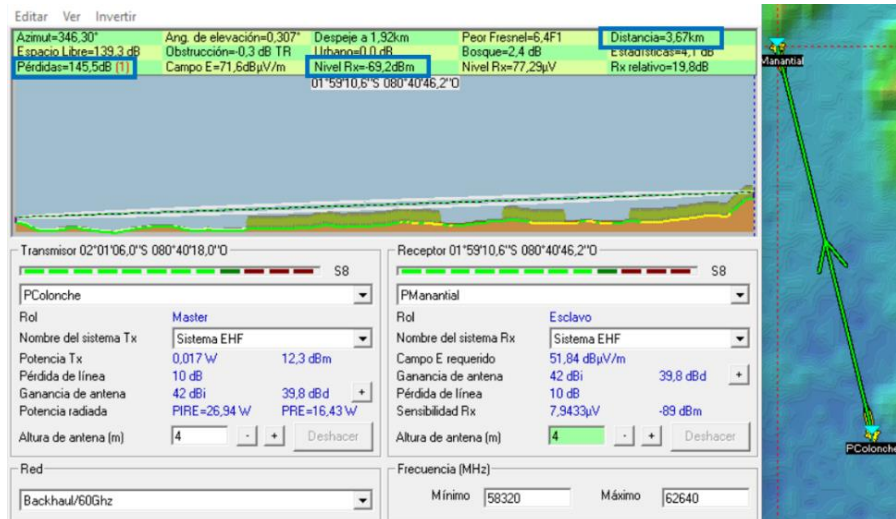


Figura 94.- Enlace Colonche-Manantial.  
Imagen elaborada por el Autor

Analizando los resultados en la figura 95, el umbral de recepción se puede observar mejores niveles en distancia más corta (como recomendación Mikrotik), por ejemplo, en 1,35 km se calcula un nivel de -64.3 dBm y la señal es más estable en ese rango; con lo que respecta a pérdidas totales (espacio libre, bosque) y resaltando que se consideró los peores escenarios, esta dio como resultado 140,6 dB reduciendo el valor del enlace anterior.

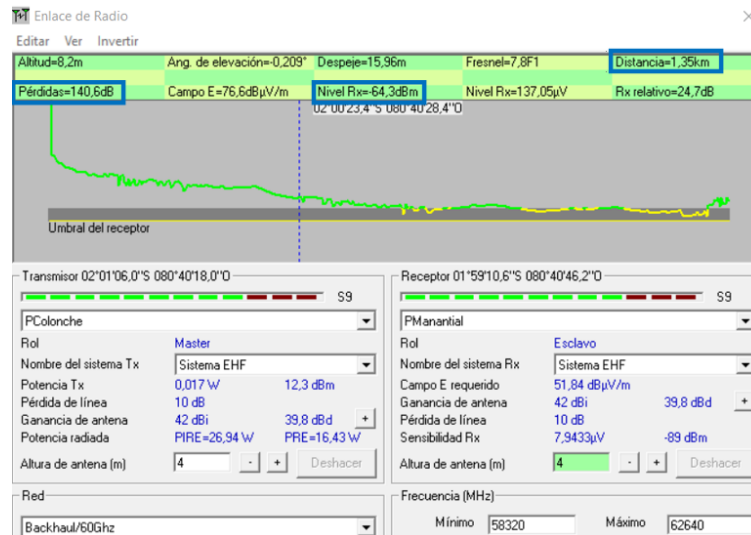


Figura 95.- Umbral de receptor enlace 1,35 km.  
Imagen elaborada por el Autor

Como se resalta en la figura 96, para mantener niveles de señales estables llegando a la distancia requerida, en el siguiente caso se considera el uso de un repetidor, con altura de antenas de 4 m se logra niveles de recepción entre -63,9 dBm, pérdida de 140,2 dB en un enlace de 1,94 km desde el punto ubicado en Colonche. El segundo enlace para completar en enlace hasta Manantial de Colonche, se logra nivel de recepción -60,3 dBm, pérdidas de 136,6 dB a

una distancia de 1,81 km y en la imagen del umbral de receptor, se puede apreciar que la señal es más estable.

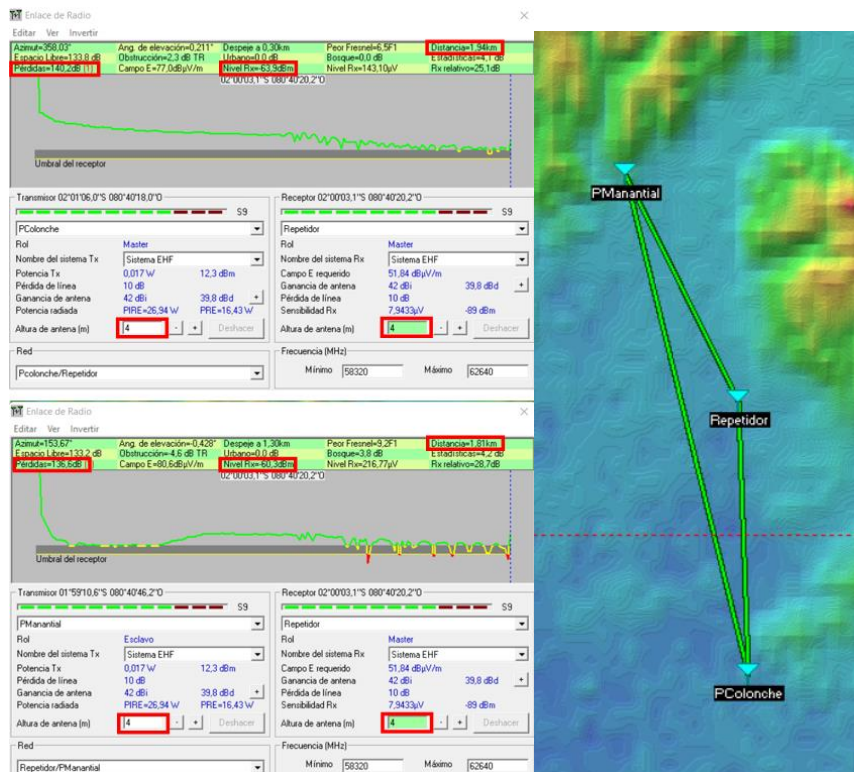


Figura 96.- Enlace Manantial Colonche con repetidor.  
Imagen elaborada por el Autor

### 3.3.2 SUPER ALTA FRECUENCIA

Para comparar el desempeño de la banda EHF, es necesario analizar la tecnología más empleada en la última década para enlaces inalámbricos (802.11n), en este estudio se emplea el dispositivo “RBLHG-5nD” mostrada en la figura 97.



Figura 97.- RBLHG-5nD.  
Imagen tomada del sitio web Mikrotik



Al igual que en el enlace EHF los parámetros del suelo son tomados de las recomendaciones de cálculo del grupo de protección civil de España. RBLHG-5nD trabaja entre 5150 y 5875, ganancia de 24.5 dBi entre otras características técnicas adjuntadas en Anexo 6, la aplicación en radio móvil se puede apreciar en la siguiente figura 98.

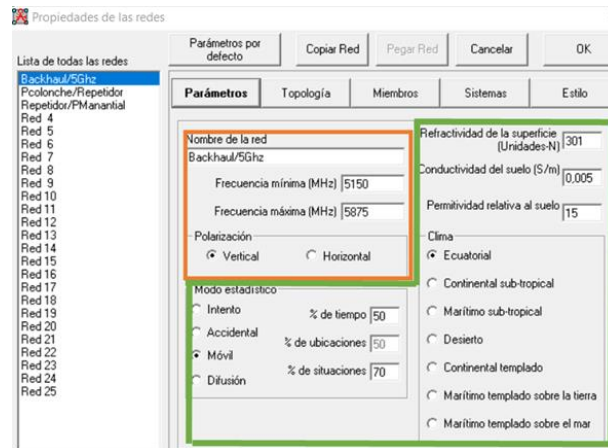


Figura 98.- Parámetros enlace 5 GHz.  
Imagen elaborada por el Autor

El sistema EHF según las características del radio RBLHG-5nD se describen a continuación (véase en la figura 99):

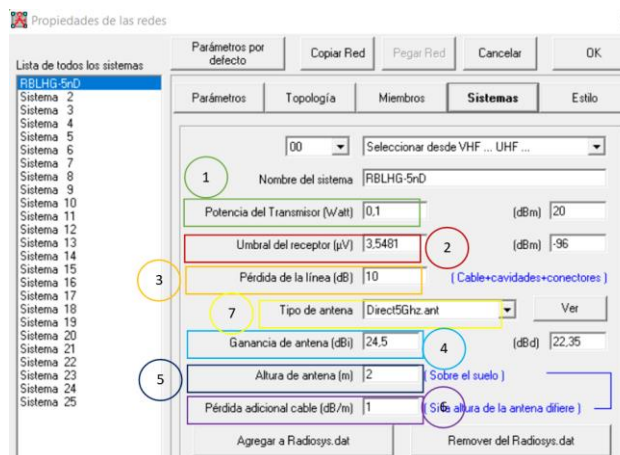


Figura 99.- Sistema de radioenlace 5 GHz.  
Imagen elaborada por el Autor

1. **Potencia de transmisión:** la información técnica del radio de 5 GHz estima la potencia de transmisión 20 dBm.
2. **Umbral de receptor:** la sensibilidad del receptor en el sistema inalámbrico es mayor a lo considerado en el sistema 60 GHz, con umbral de comunicación de hasta -96 dBm.
3. **Pérdida de la línea:** la variabilidad de energía causada por cables, conectores, etc. Se considera el valor por el grupo de protección civil España (10 dB) [74].

4. **Ganancia de la antena:** el equipo RLHG-5nD incorpora una antena de 24,5 dBi (Anexo 6).
5. **Altura de la antena:** la altura optima empleada es de 4 m.
6. **Perdida adicionales cable:** se considera el valor por defecto 0,5 dB/m.
7. **Tipo de antena:** el tipo de antena que emplea el sistema es direccional.

El rol dentro de los elementos de la red se observa en la siguiente figura 100:

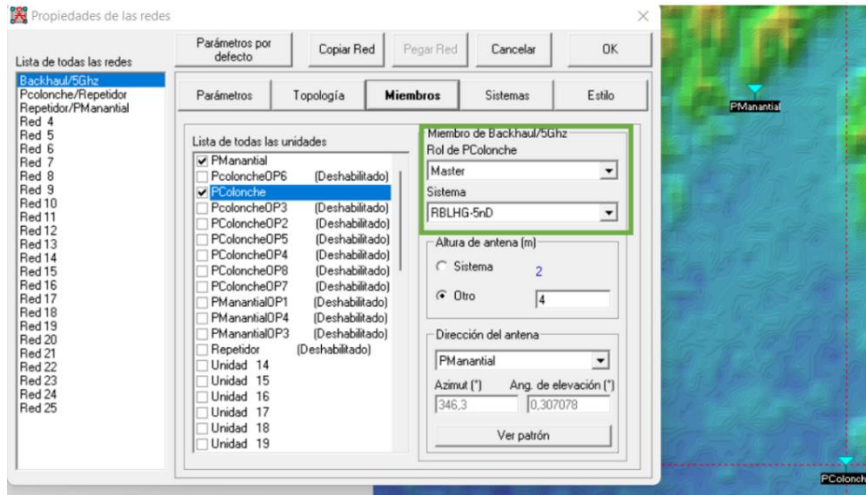


Figura 100.- Propiedades del enlace 5 GHz.  
Imagen elaborada por el Autor

### Análisis de resultados

En la figura 101, se muestra un buen nivel de recepción de -79,3 dBm y la señal se encuentra estable en todo el recorrido de la señal (la recepción es sólida en cualquier punto), la altura de la antena no es buena en consideración del despeje de la zona de fresnel y es evidente que se encuentran elementos que disminuyen el rendimiento, perdida evidenciada y estimada por radio mobile en 124,3 dB.

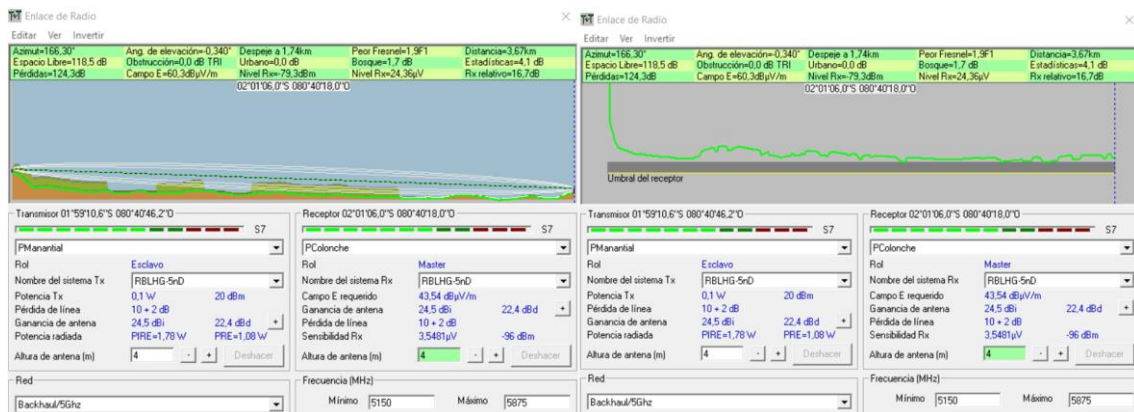


Figura 101.- Resultados del enlace 5 GHz.  
Imagen elaborada por el Autor

## 3.4 RADIOENLACE EN LINKPLANNER

### 3.4.1 FRECUENCIAS EXTREMADAMENTE ALTAS

Cambium Networks es otro de los fabricantes de dispositivos de comunicación inalámbrica, cuenta con gran reputación y entre su catálogo se encuentran varios dispositivos que trabajan en la banda de los 60 GHz, pero solo un equipo para radioenlace de larga distancia “cnWave v3000” con la cual promete capacidades de throughput agregado de hasta 3.6 Gbps. Como refuerzo a la justificación del enlace con el radio Mikrotik se puede simular el rendimiento de este dispositivo y estimar la calidad del enlace comparándola con el “LHG60”. LINKPLANNER es la herramienta propia de cambium network que permitirá hacer el análisis.

LINKPLANNER es bastante intuitivo, todas las características de los dispositivos de cambium network se encuentran clasificados según la banda de frecuencia, con lo que aumenta la fidelidad de los resultados, para la predicción se emplea el modelo “ITU-R P.530-17”, los puntos de TX y RX son los mismos que en radio mobile (véase en la figura 102).

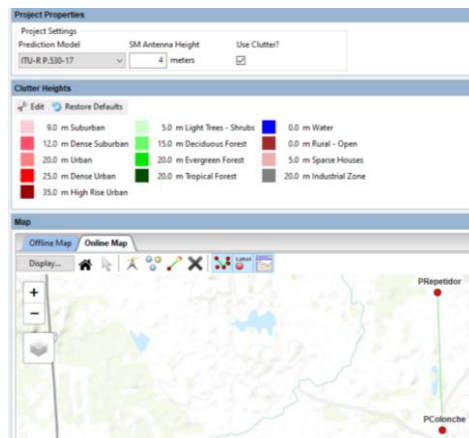


Figura 102.- Elementos del enlace en LINKPLANNER.

*Imagen elaborada por el Autor*

A continuación, se puede observar los dispositivos que se emplearán en los extremos del enlace, la regulación FCC que rige para América; hay datos imposibles de modificar como el ancho de banda de 2,16 GHz (ancho de banda más bajo en el rango de los 60 GHz) y la distribución de las capacidades del enlace (download/upload) definidas en 50/50; la modulación que se emplea es 16QAM y un mínimo de QPSK a una frecuencia de transmisión de 62.64 GHz, se considera interferencia para ambos extremos de -80.7 dBm, el enlace es referenciado mediante un perfil de elevación (véase en la figura 103).

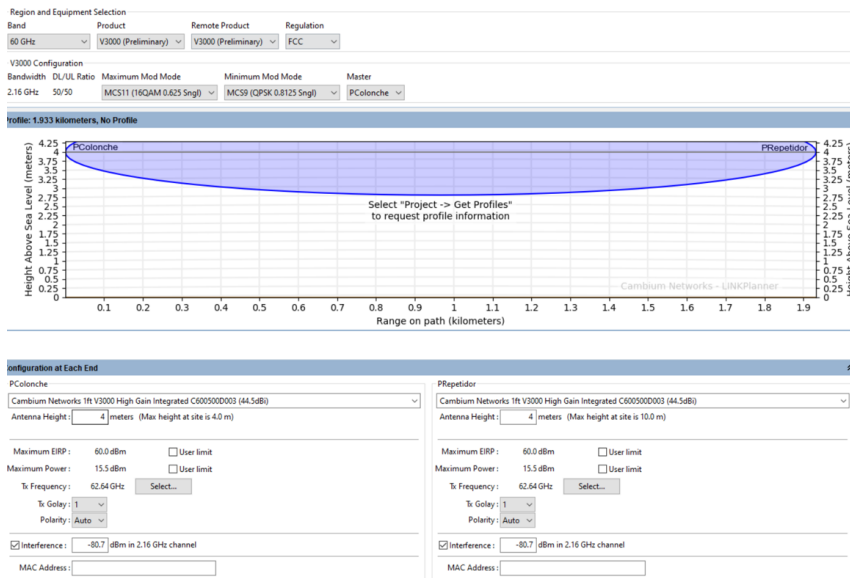


Figura 103.- Enlace Cambium Networks.

Imagen elaborada por el Autor

### Análisis de resultados

El rendimiento del enlace se muestra en la figura 104 de forma separada para ambos extremos, pero debido a la distribución 50/50, los datos son similares; la potencia operativa/recepción es de -62 dBm con un margen de error de +/- 5, lo que es un buen nivel de señal y reflejado en la “IP media predicha” que es la capacidad estimada en cada extremo con un valor de 1.109 Gbps, con esto se asume un throughput agregado de 2.218 Gbps. El cálculo del rendimiento también considera valores esperados por el diseñador, en este caso 1 Gbps en cada extremo con lo que se cumple un 111% de los requerimientos. En cuestión de pérdidas esta dio un valor alto 156.47 dB en donde se incluye pérdidas por margen de ganancia del sistema, espacio libre y absorción gaseosa; considerando que el enlace se encuentra cerca de los 2 km y se puede establecer un enlace de capacidad superior de 2 Gbps es muy tentador el empleo de este tipo de radios.



Figura 104.- Resultados enlace 60 GHz.

Imagen elaborada por el Autor

### 3.4.2 SUPER ALTA FRECUENCIA

Cambium Network en la banda de los 5 GHz con tecnología 802.11ac cuenta con el dispositivo PTP550 destinado para enlaces en exteriores y promete una capacidad de hasta 1,36 Gbps a distancias hasta 200 km, esto gracias a la tecnología MU MIMO 4x4 y el empleo de doble banda, a continuación, se muestran las configuraciones para la predicción del enlace entre las que destacan la disponibilidad de usar 2 bandas de frecuencias (5.8 GHz y 5.4 GHz) con ancho de banda de 80 MHz y modulación de 256QAM (la máxima disponible), en la siguiente figura 105, se puede observar que el enlace se divide en 2 links. La distribución de los recursos del radio DL/UL de 50/50 para ambos casos y se agregó pérdidas de -71 dBm para la banda de 5.8 GHz y 87 dBm para la banda de 5.4 GHz.

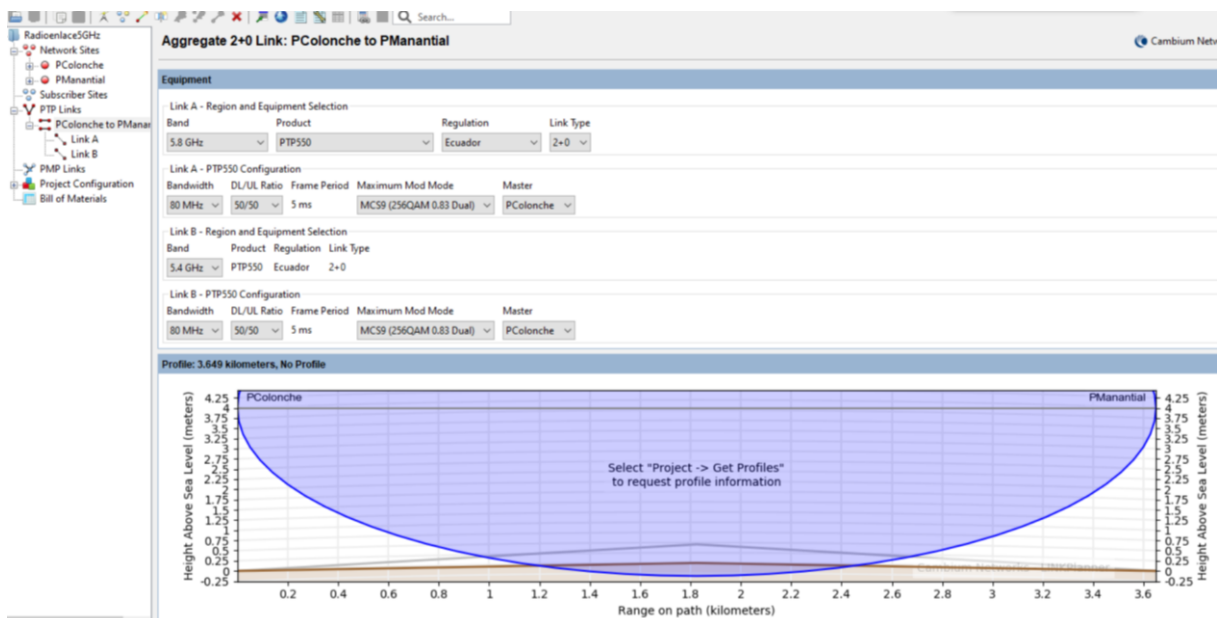


Figura 105.- Enlace 5.4 GHz.

Imagen elaborada por el Autor

### Análisis de resultados

La potencia operativa/recepción es de -66 dBm con un margen de error de +/- 5, lo que es un buen nivel de señal, la capacidad estimada en cada extremo da como resultado un throughput agregado de 486.10 Mbps, mucho menos de los especificado por el proveedor.

### 3.4.3 CONCLUSIONES GENERALES DE SOFTWARE

La primera observación de los radioenlaces tanto en radio mobile como en LINKPLANNER, es la disminución más que considerable de la zona de fresnel en la banda de 60 GHz, con lo que se refuerza la información de que en la banda de las ondas milimétricas es esencial la LOS, por otro lado, el rendimiento de ambas señales es muy buena, habiendo más

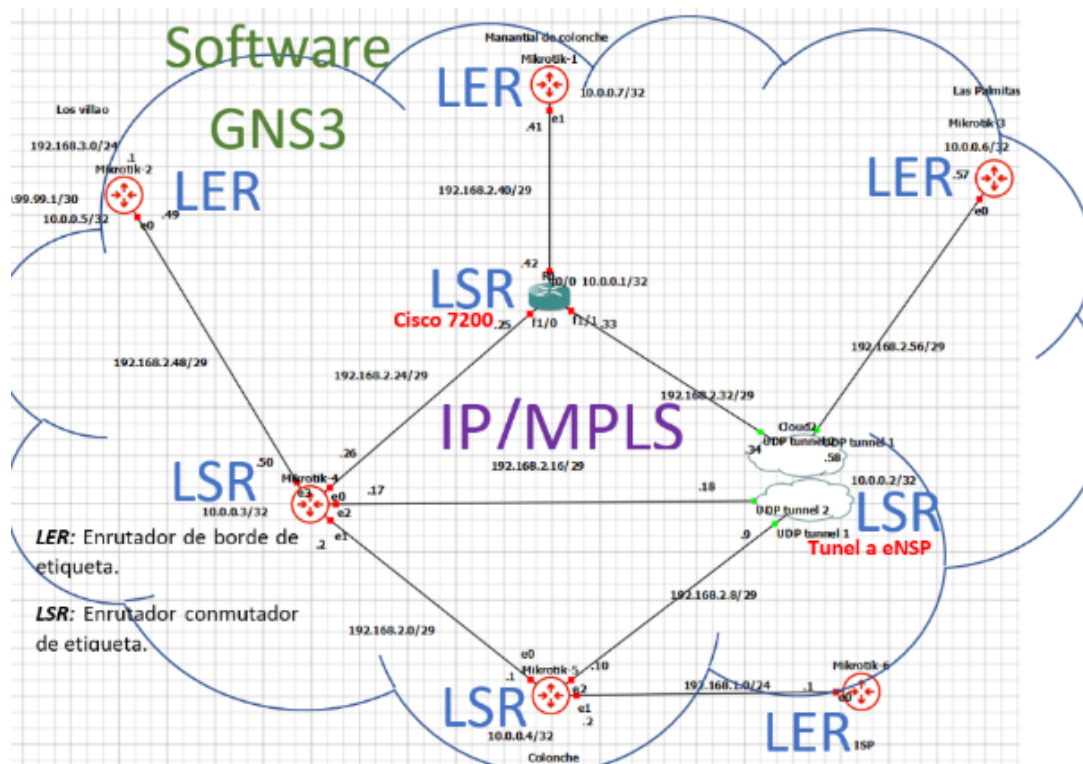
estabilidad en 5 GHz a larga distancia situación diferente en la banda de los 60 GHz en donde los mismos proveedores recomiendan hasta 1.5 km, se optó por la solución de emplear repetidores con lo cual las señales de recepción mejoraron y fue gracias a LINKPLANNER que se justifica el uso de repetidores, el BW de 2.16 GHz permite throughput de más de 2 Gbps.

El análisis de las pérdidas por LOS y como era de esperar la banda de los 60 GHz presente niveles más altos de interferencia en comparación con 5 GHz, otro aspecto interesante que permitió analizar las simulaciones es la disminución de la capacidad de throughput a medida que se aumenta el número de estados de la modulación por amplitud de cuadratura (QAM).

### 3.5 EMULACIÓN DE UNA RED EMPLEANDO IP/MPLS

Para observar y analizar el comportamiento del protocolo de comunicación IP MPLS, uno de los temas claves del presente trabajo de titulación se ha hecho uso de 2 programas de emulación que, gracias a procesos de puenteo virtual, es posible interactuar entre ambas plataformas, el proceso se detalla más adelante.

La red en la que se trabajara se observa en la figura 106, en esta se detalla el sitio principal del trabajo de titulación (Manantial de Colonche) y comunidades aledañas en las que la red se puede extender, el alcance de la red es mayor, esto debido a que es más fácil explicar y analizar el comportamiento, escalabilidad de los beneficios de MPLS.



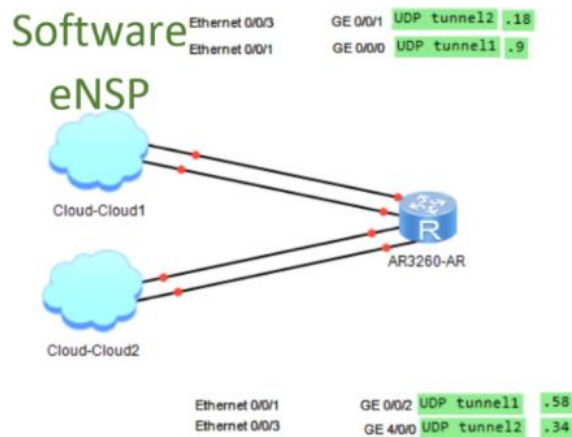


Figura 106.- Diagrama de red MPLS.

Imagen elaborada por el Autor

La tabla 16, describe el sistema de direccionamiento en función de la topología de red establecida, se resaltan direccionamientos IP de los puertos, equipos empleados (Cisco/Mikrotik/Huawei), direcciones loopback y direcciones de encapsulamiento (explicados más adelante, necesarios para MPLS).

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Mascara de subred	Gateway por defecto
<b>Mikrotik-1</b>	e1	192.168.2.41	255.255.255.248	N/D
<b>Mikrotik-2</b>	e0	192.168.2.49	255.255.255.248	N/D
<b>Mikrotik-3</b>	e0	192.168.2.57	255.255.255.248	N/D
<b>Mikrotik-4</b>	e0	192.168.2.26	255.255.255.248	N/D
	e1	192.168.2.2	255.255.255.248	N/D
	e2	192.168.2.17	255.255.255.248	N/D
	e3	192.168.2.50	255.255.255.248	N/D
<b>Mikrotik-5</b>	e0	192.168.2.1	255.255.255.248	N/D
	e1	192.168.1.2	255.255.255.0	192.168.1.1
	e2	192.168.2.10	255.255.255.248	N/D
<b>R1</b>	f0/0	192.168.2.42	255.255.255.248	N/D
	f1/0	192.168.2.25	255.255.255.248	N/D
	f1/1	192.168.2.33	255.255.255.248	N/D
<b>AR3260-AR</b>	GE 0/0/0	192.168.2.9	255.255.255.248	N/D
	GE 0/0/1	192.168.2.18	255.255.255.248	N/D
	GE 0/0/2	192.168.2.58	255.255.255.248	N/D
	GE 4/0/0	192.168.2.34	255.255.255.248	N/D

Tabla 16.- Tabla de direccionamiento.

Elaborada por el Autor

Las configuraciones necesarias para la interacción entre GNS3 y eNSP: UDP tunnel (protocolo de datagramas de usuarios) que trabaja en la capa de transporte y permite la transmisión de datos entre 2 dispositivos (remitente y receptor) sin necesidad de establecer alguna conexión física, en GNS3 este protocolo cuenta con 4 campos necesarios para su configuración:

- Name: nombre que se asignara a la conexión tipo túnel.
- Local Port: número de puerto de origen (campo de 6 bits).
- Remote host: dirección IP del servidor remoto.
- Remote port: número de puerto de destino (campo de 16 bits).

eNSP contiene parámetros muy parecidos con la diferencia que el puerto local es denominado (listening port), remote host (eer IP) y remote port (peer port); en este programa es necesario crear puertos ethernet UDP no públicos (locales) que será “mapeados” con los puertos públicos (véase en la figura 107).

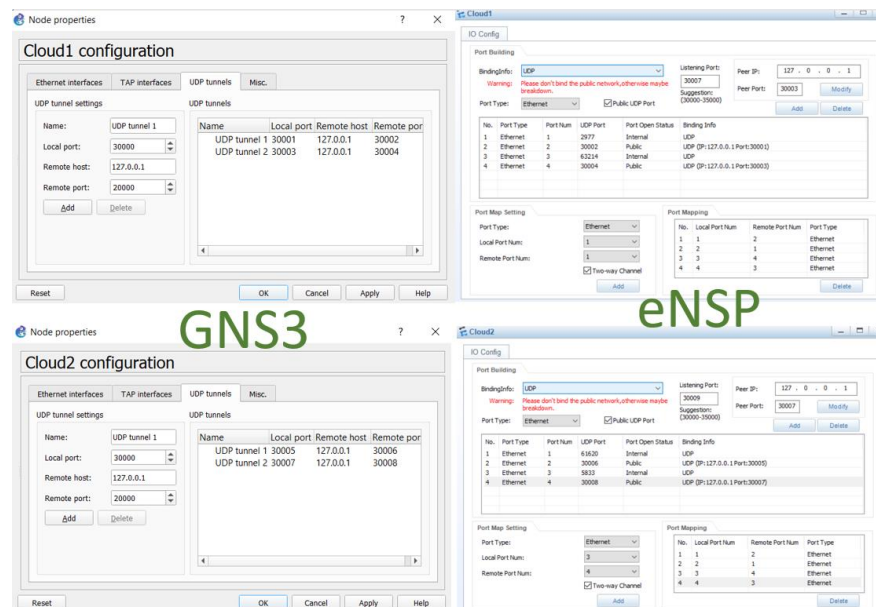


Figura 107.- Configuraciones de túneles UDP.

Imagen elaborada por el Autor

Los puertos de cada router involucrado en la red son asignados con direcciones IP mediante consola y siguiendo la tabla de direccionamiento establecida; los identificadores según la red a la que pertenece cada interfaz se asignan de diferente forma según el fabricante de router, a continuación, se describen los comandos:



## Mikrotik

En el caso de Mikrotik, inicialmente la interfaz solicita clave de acceso, esta es “admin” y contraseña “”, después de ingresar se solicita un nuevo usuario y clave de acceso, en el diseño estos son los siguientes **login: admin**, **password: admin**, las configuraciones de los equipos mikrotik se muestran en las figuras 108 a 112.

**system identity set name= “name”**: comando para proporcionar un nombre de identificación único al sistema.

**ip address add address= “ip/Mask” interfaz= “ether#”**: se asigna una dirección típica IPv4 (4 octetos) junto con la máscara de red a una interfaz específica.

**ip address print**: instrucción que muestra en pantalla los detalles de las interfaces activas (dirección ID, red, interfaz).

```
[admin@MikroTik] >
[admin@MikroTik] > system identity set name=LER_LosVillao
[admin@LER_LosVillao] > ip address add address=192.168.2.49/29 interface=ether1
[admin@LER_LosVillao] > ip address print
Flags: X - disabled, I - invalid, D - dynamic
# ADDRESS NETWORK INTERFACE
0 192.168.2.49/29 192.168.2.48 ether1
[admin@LER_LosVillao] > []
```

Figura 108.- Asignación de IP (Mikrotik-2).

Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@MikroTik] > system identity set name=LSR1
[admin@_SR1] > ip address add address=192.168.2.17/29 interface=ether3
[admin@_SR1] > ip address add address=192.168.2.26/29 interface=ether1
[admin@_SR1] > ip address add address=192.168.2.2/29 interface=ether2
[admin@_SR1] > ip address add address=192.168.2.50/29 interface=ether4
[admin@_SR1] > []
```

Figura 109.- Asignación de IP (Mikrotik-4).

Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@MikroTik] > system identity set name=LER_Colonche
[admin@LER_Colonche] > ip address add address=192.168.2.10/29 interface=ether3
[admin@LER_Colonche] > ip address add address=192.168.1.2/24 interface=ether2
[admin@LER_Colonche] > ip address add address=192.168.2.1/29 interface=ether1
[admin@LER_Colonche] > []
```

Figura 110.- Asignación de IP (Mikrotik-5).

Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@MikroTik] > system identity set name=LER_Manantial
[admin@LER_Manantial] > ip address add address=192.168.2.41/29 interface=ether2
[admin@LER_Manantial] > []
```

Figura 111.- Asignación de IP (Mikrotik-1).

Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@MikroTik] > system identity set name=LER_LasPalmitas
[admin@LER_LasPalmitas] > ip address add address=192.168.2.57/29 interface=ether1
[admin@LER_LasPalmitas] > []
```

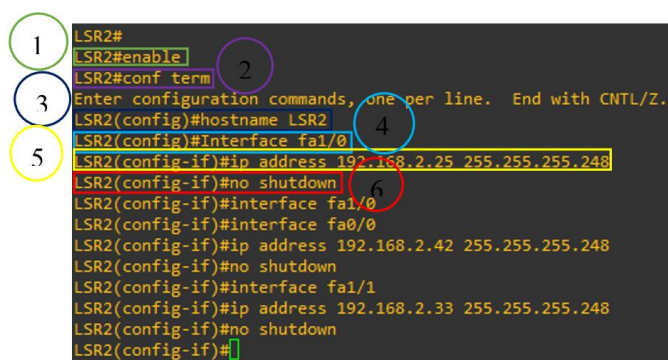
Figura 112.- Asignación de IP (Mikrotik-3).

Imagen elaborada por el Autor

## Cisco C7200

Para realizar las configuraciones iniciales en la interfaz de cisco mostrada en la figura 113, se emplean los siguientes comandos:

1. **Enable:** ingreso al modo privilegiado EXEC.
2. **Conf term:** configura la terminal manualmente desde el modo consola.
3. **Hostname "Name":** modifica el nombre de identificación del router
4. **Interface "fa#/#":** configura el tipo de interfaz, por ende, ingresa al modo de configuración del tipo que se seleccionó.
5. **Ip address "ip" "mask":** asigna una dirección, mascara de subred e inicia el procesamiento IP dentro de una interfaz.
6. **No shutdown:** reinicia el interfaz desactivado.



```
LSR2#
LSR2#enable
LSR2#conf term
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
LSR2(config)#hostname LSR2
LSR2(config)#interface fa1/0
LSR2(config-if)#ip address 192.168.2.25 255.255.255.248
LSR2(config-if)#no shutdown
LSR2(config-if)#interface fa1/0
LSR2(config-if)#interface fa0/0
LSR2(config-if)#ip address 192.168.2.42 255.255.255.248
LSR2(config-if)#no shutdown
LSR2(config-if)#interface fa1/1
LSR2(config-if)#ip address 192.168.2.33 255.255.255.248
LSR2(config-if)#no shutdown
LSR2(config-if)#
```

Figura 113.- Asignación de IP (R1).  
Imagen elaborada por el Autor

## Huawei AR3260-AR

El diseño de la red requiere que el enrutador de Huawei AR3260 disponga de 4 puertos giga ethernet, para esto es necesario agregar una tarjeta de soporte en las configuraciones del equipo como se muestra en la figura 114.

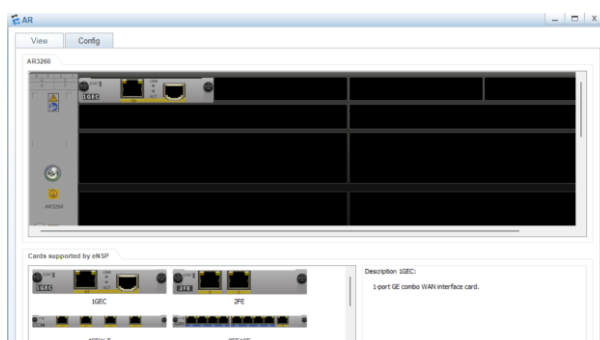


Figura 114.- Configuraciones AR3260.  
Imagen Capturada por el Autor

En la interfaz de línea de comando para configurar el equipo y sus interfaces se muestran en la figura 115, los comandos que se emplean son los siguientes:

1. *Sys*: ingrese a la vista del sistema.
2. *Sysname “name”*: cambia el nombre del router.
3. *Int “g#/#/#”*: ingresa a la configuración del tipo de interfaz determinado.
4. *Ip address “ip” “Mask”*: se asigna una dirección y longitud de la máscara de la red.
5. *Return*: regresa directamente al interfaz del usuario.
6. *Sa*: se guarda correctamente todas las configuraciones ingresadas.

```

<Huawei>
Jun 29 2022 01:08:31-08:00 Huawei %%01DEV/4/ENTUP(1)[0]:1GEC board[4] register s
uccess.
<Huawei>
Jun 29 2022 01:08:31-08:00 Huawei %%01IFNET/4/BOARD_ENABLE(1)[1]:Board 4 has bee
n available.
<Huawei>
Jun 29 2022 01:08:31-08:00 Huawei %%01IFNET/4/IF_ENABLE(1)[2]:Interface GigabitE
thernet4/0/0 has been available.
1 <Huawei>sys
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
2 [Huawei]sysname LSR3
3 [LSR3]int g0/0/0
4 [LSR3-GigabitEthernet0/0/0]ip address 192.168.2.9 255.255.255.248
5 [LSR3-GigabitEthernet0/0/0]return
<LSR3>sys
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR3]int g0/0/1
[LSR3-GigabitEthernet0/0/1]ip address 192.168.2.18 255.255.255.248
[LSR3-GigabitEthernet0/0/1]return
<LSR3>sys
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR3]int g0/0/2
[LSR3-GigabitEthernet0/0/2]ip address 192.168.2.58 255.255.255.248
[LSR3-GigabitEthernet0/0/2]return
<LSR3>sys
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR3]int g4/0/0
[LSR3-GigabitEthernet4/0/0]ip address 192.168.2.34 255.255.255.248
[LSR3-GigabitEthernet4/0/0]return
6 <LSR3>sa
The current configuration will be written to the device.
Are you sure to continue? (y/n)[n]:y
It will take several minutes to save configuration file, please wait.....
Configuration file had been saved successfully
Note: The configuration file will take effect after being activated
<LSR3>

```

Figura 115.- Asignación de IP (AR3260-AR).

Imagen elaborada por el Autor

El siguiente paso y aunque no es un requisito indispensable, a niveles de protocolos de enrutamiento como: BGP, RIP u OSPF; en MPLS se recomienda configurar cada enrutador que conforma la red (MPLS) con direcciones IP “loopback” o también denominada como “direcciones de bucle invertido” las cuales no son adjuntas a ningún tipo de interfaz de red real; los propósitos de usar loopback en MPLS son:

- Para que el LDP las use para el intercambio de información (sesiones).
- Garantizar la sesión LDP sin importar el estado de la interfaz o cambios de direcciones.

- Garantiza el comportamiento de salto adecuado cuando se adjuntan varias etiquetas.

A continuación, en la figura 116 a 120, se describe la asignación de direcciones loopback:

### **Mikrotik**

**Interface bridge add name= “name”**: se crea un interfaz de puente denominada.

**ip address add address= “ip/Mask” interfaz= “Loopback”**: se asigna una dirección IP al interfaz loopback.

```
[admin@LER_LosVillao] >> interface bridge add name=Loopback
[admin@LER_LosVillao] >> ip address add address=10.0.0.5/32 interface=Loopback
[admin@LER_LosVillao] >> █
```

Figura 116.- Asignación de interfaz Loopback (Mikrotik-2).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@LSR1] >> interface bridge add name=Loopback
[admin@LSR1] >> ip address add address=10.0.0.3/32 interface=Loopback
[admin@LSR1] >> █
```

Figura 117.- Asignación de interfaz Loopback (Mikrotik-4).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@LER_Manantial] >> interface bridge add name=Loopback
[admin@LER_Manantial] >> ip address add address=10.0.0.7/32 interface=Loopback
[admin@LER_Manantial] >> █
```

Figura 118.- Asignación de interfaz Loopback (Mikrotik-1).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@LER_Colonche] >> interface bridge add name=Loopback
[admin@LER_Colonche] >> ip address add address=10.0.0.4/32 interface=Loopback
[admin@LER_Colonche] >> █
```

Figura 119. Asignación de interfaz Loopback (Mikrotik-5).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@LER_LasPalmitas] >> interface bridge add name=Loopback
[admin@LER_LasPalmitas] >> ip address add address=10.0.0.6/32 interface=Loopback
[admin@LER_LasPalmitas] >> █
```

Figura 120.- Asignación de interfaz Loopback (Mikrotik-3).  
Imagen elaborada por el Autor

### **Cisco C7200**

Para realizar la configuración de loopback en el enrutador cisco, se emplean los siguientes comandos (véase en la figura 121):

1. **Interface loopback #**: configura el tipo de interfaz y el modo de configuración de la interfaz determinada.

## 2. Ip address “ip” “Mask”: asigna una dirección IP, mascara de subred.

```
1 LSR2(config)#interface loopback 0
LSR2(config-if)#
*Dec 11 03:12:26.299: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
LSR2(config-if)#ip address 10.0.0.1 255.255.255.255 2
LSR2(config-if)#exit
```

Figura 121.- Asignación de interfaz Loopback (R1).  
Imagen elaborada por el Autor

### **Huawei AR3260-AR**

En la consola de línea de comando del equipo se emplean los siguientes códigos (véase en la figura 122):

1. **Interface loopback #:** se ingresa a la interfaz que se quiere configurar o monitorear.
2. **Ip address “ip” “Mask”:** asigna el direccionamiento IP y mascara a la interfaz.

```
1 [LSR3]interface loopback 0
[LSR3-LoopBack0]ip address 10.0.0.2 255.255.255.255 2
[LSR3-LoopBack0]
```

Figura 122.- Asignación de interfaz Loopback (AR3260-AR).  
Imagen elaborada por el Autor

El siguiente paso consiste en habilitar el protocolo dinámico OSPF con el objetivo de establecer tabla de enrutamiento que empleara LDP para la distribución de etiqueta; para ello se debe identificar los enlaces adyacentes al enrutador.

### **Mikrotik**

En los equipos Mikrotik se agregan las redes adyacentes al equipo, así como el loopback con lo que se anuncia a los router vecinos. Las figuras 123 a 127 muestran la configuración necesaria para establecer la tabla de enrutamiento.

**Routing ospf network:** configuración de red OSPF

**add Network= “ip/Mask” área= “Loopback”:** se agrega una red a cierta área OSPF.

```
[admin@LER_LosVillao] >> routing ospf network
[admin@LER_LosVillao] /routing ospf network>> add network=192.168.2.48/29 area=backbone
[admin@LER_LosVillao] /routing ospf network>> add network=10.0.0.5/32 area=backbone
[admin@LER_LosVillao] /routing ospf network>>
```

Figura 123.- Protocolo OSPF (Mikrotik-2).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@SR1] >> routing ospf network
[admin@SR1] /routing ospf network>> add network=192.168.2.48/29 area=backbone
[admin@SR1] /routing ospf network>> add network=192.168.2.0/29 area=backbone
[admin@SR1] /routing ospf network>> add network=192.168.2.16/29 area=backbone
[admin@SR1] /routing ospf network>> add network=192.168.2.24/29 area=backbone
[admin@SR1] /routing ospf network>> add network=10.0.0.3/32 area=backbone
[admin@SR1] /routing ospf network>>
```

Figura 124.- Protocolo OSPF (Mikrotik-4).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@LER_Colonche] >> routing ospf network
[admin@LER_Colonche] /routing ospf network>> add network=192.168.2.0/29 area=backbone
[admin@LER_Colonche] /routing ospf network>> add network=192.168.2.8/29 area=backbone
[admin@LER_Colonche] /routing ospf network>> add network=192.168.1.0/24 area=backbone
[admin@LER_Colonche] /routing ospf network>> add network=10.0.0.4/32 area=backbone
```

Figura 125.- Protocolo OSPF (Mikrotik-5).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@LER_Manantial] >> routing ospf network
[admin@LER_Manantial] /routing ospf network>> add network=192.168.2.40/29 area=backbone
[admin@LER_Manantial] /routing ospf network>> █
```

Figura 126.- Protocolo OSPF (Mikrotik-1).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@LER_LasPalmitas] >> routing ospf network
[admin@LER_LasPalmitas] /routing ospf network>> add network=192.168.2.56/29 area=backbone
[admin@LER_LasPalmitas] /routing ospf network>> █
```

Figura 127.- Protocolo OSPF (Mikrotik-3).  
Imagen elaborada por el Autor

### Cisco C7200

El enrutador cisco, maneja las siguientes instrucciones con lo que, mediante el protocolo OSPF anunciar sus redes adyacentes, así como el loopback a la que se encuentra asociada (véase en la figura 128).

1. **Router ospf 1:** inicia el proceso de redirección OSPF e ingresara al modo de configuración para el proceso de redirección.
2. **Network “ip” área “#”:** habilita la redirección en una red IP.
3. **Wr:** guarda los cambios en la configuración del router.

```
1 LSR2(config)#router ospf 1
LSR2(config-router)#network 10.0.0.1 0.0.0.0 area 0 2
LSR2(config-router)#network 192.168.2.24 0.0.0.7 area 0
LSR2(config-router)#network 192.168.2.40 0.0.0.7 area 0
*Dec 11 06:29:21.791: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 10.0.0.3 on FastEthernet1/0 from LOADING to FULL, Loading Done
LSR2(config-router)#network 192.168.2.40 0.0.0.7 area 0
LSR2(config-router)#network 192.168.2.32 0.0.0.7 area 0
LSR2(config-router)#exit
3 LSR2(config)#exit
LSR2#wr
Building configuration...
[OK]
LSR2#
*Dec 11 06:29:59.175: %SYS-5-CONFIG I: Configured from console by console
```

Figura 128.- Protocolo OSPF (R1).  
Imagen elaborada por el Autor

### Huawei AR3260-AR

En la consola de línea de comando del equipo ilustrada en la figura 129 emplean los siguientes códigos:

1. **ospf # router-id “ip”:** ingresa al interfaz del proceso OSPF.
2. **área “#”:** entra al interfaz del Área # (0, 1...+).

3. **Network “ip” “Mask”**: anuncia el segmento de red donde se encuentra la interfaz de enlace ascendente en el área 0.

```
[LSR3]ospf 1 router-id 10.0.0.2
[LSR3-ospf-1]area 0
[LSR3-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.0.0.2 0.0.0.0
[LSR3-ospf-1-area-0.0.0.0]network 192.168.2.8 0.0.0.7
[LSR3-ospf-1-area-0.0.0.0]network 192.168.2.16 0.0.0.7
[LSR3-ospf-1-area-0.0.0.0]network 192.168.2.32 0.0.0.7
[LSR3-ospf-1-area-0.0.0.0]network 192.168.2.56 0.0.0.7
[LSR3-ospf-1-area-0.0.0.0]
```

Figura 129.- Protocolo OSPF (AR3260-AR).  
Imagen elaborada por el Autor

Para comprobar que el routing se ha establecido correctamente entre todos los enrutadores de la red, se puede analizar las tablas de enrutamiento establecida de forma dinámica por el OSPF.

### Mikrotik

En la siguiente figura 130, se puede observar las interfaces activas conectadas al enrutador “Mikrotik-2” estas se reconocen en la tabla de enrutamiento con la etiqueta ADC, mientras que interfaces activas, agregadas de forma dinámica gracias al protocolo OSPF se resaltan por la etiqueta ADo; la instrucción ejecutada para observar esta información es la siguiente:

**Ip route print**: verifica la tabla de enrutamiento del enrutador.

```
[admin@Mikrotik-2] >> ip route print
Flags: X - disabled, A - active, D - dynamic, C - connect, S - static, r - rip, b - bgp, o - ospf, m - mme, B - blackhole, U - unreachable, P - prohibit
# DST-ADDRESS      PREF-SRC  GATEWAY          DISTANCE
0 ADo 10.0.0.1/32
1 ADo 10.0.0.2/32
2 ADo 10.0.0.3/32
3 ADo 10.0.0.4/32
4 ADC 10.0.0.5/32     10.0.0.5      Loopback         0
5 ADo 10.0.0.6/32
6 ADo 10.0.0.7/32
7 ADo 192.168.1.0/24
8 ADo 192.168.2.0/29
9 ADo 192.168.2.8/29
10 ADo 192.168.2.16/29
11 ADo 192.168.2.24/29
12 ADo 192.168.2.32/29
13 ADo 192.168.2.40/29
14 ADC 192.168.2.48/29 192.168.2.49 ether1           0
15 ADo 192.168.2.56/29
[admin@Mikrotik-2] >>
```

Figura 130.- Tabla de enrutamiento (Mikrotik-2).  
Imagen elaborada por el Autor

### Cisco C7200

La tabla de enrutamiento de los equipos cisco, describe con la etiqueta “C” las interfaces conectadas del equipo y con “O” las detectadas mediante protocolo OSPF, para observar esta información se emplea el siguiente comando como se puede observar en la figura 131:

**Show ip route**: muestra el contenido de la tabla de enrutamiento IP.

```

1 LSR2#show ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

10.0.0.0/32 is subnetted, 7 subnets
O   10.0.0.2 [110/1] via 192.168.2.34, 00:18:18, FastEthernet1/1
O   10.0.0.3 [110/11] via 192.168.2.26, 00:18:18, FastEthernet1/0
C   10.0.0.1 is directly connected, Loopback0
O   10.0.0.6 [110/12] via 192.168.2.34, 00:18:18, FastEthernet1/1
O   10.0.0.7 [110/11] via 192.168.2.41, 00:18:18, FastEthernet0/0
O   10.0.0.4 [110/12] via 192.168.2.34, 00:18:18, FastEthernet1/1
O   10.0.0.5 [110/21] via 192.168.2.26, 00:18:18, FastEthernet1/0
O   192.168.1.0/24 [110/12] via 192.168.2.34, 00:18:18, FastEthernet1/1
192.168.2.0/29 is subnetted, 8 subnets
C   192.168.2.40 is directly connected, FastEthernet0/0
C   192.168.2.32 is directly connected, FastEthernet1/1
O   192.168.2.56 [110/2] via 192.168.2.34, 00:18:18, FastEthernet1/1
O   192.168.2.48 [110/11] via 192.168.2.26, 00:18:22, FastEthernet1/0
O   192.168.2.8 [110/2] via 192.168.2.34, 00:18:23, FastEthernet1/1
O   192.168.2.0 [110/11] via 192.168.2.26, 00:18:23, FastEthernet1/0
C   192.168.2.24 is directly connected, FastEthernet1/0
O   192.168.2.16 [110/2] via 192.168.2.34, 00:18:23, FastEthernet1/1
LSR2#

```

Figura 131.- Tabla de enrutamiento (R1).  
Imagen elaborada por el Autor

### Huawei AR3260-AR

Para observar la tabla de enrutamiento se emplea la siguiente instrucción (véase en la figura 132):

**Display ip routing-table:** muestra las rutas OSPF ingresadas en la tabla de rute del router.

```

1 [LSR3]display ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib
-----
Routing Tables: Public
  Destinations : 28          Routes : 29

Destination/Mask    Proto    Pre  Cost   Flags NextHop         Interface
-----
4/0/0
10.0.0.1/32        OSPF     10   2       D   192.168.2.33       GigabitEthernet
10.0.0.2/32        Direct   0     0       D   127.0.0.1          LoopBack0
10.0.0.3/32        OSPF     10   11      D   192.168.2.17       GigabitEthernet
0/0/1
10.0.0.4/32        OSPF     10   11      D   192.168.2.10       GigabitEthernet
10.0.0.5/32        OSPF     10   21      D   192.168.2.17       GigabitEthernet
0/0/1
10.0.0.6/32        OSPF     10   11      D   192.168.2.57       GigabitEthernet
0/0/2
10.0.0.7/32        OSPF     10   12      D   192.168.2.33       GigabitEthernet
4/0/0
127.0.0.0/8        Direct   0     0       D   127.0.0.1          InLoopBack0
127.0.0.1/32       Direct   0     0       D   127.0.0.1          InLoopBack0
127.255.255.255/32 Direct   0     0       D   127.0.0.1          InLoopBack0
192.168.1.0/24     OSPF     10   11      D   192.168.2.10       GigabitEthernet
0/0/0
192.168.2.0/29     OSPF     10   11      D   192.168.2.10       GigabitEthernet
0/0/0
                   OSPF     10   11      D   192.168.2.17       GigabitEthernet
0/0/1
192.168.2.8/29     Direct   0     0       D   192.168.2.9       GigabitEthernet
0/0/0
192.168.2.9/32     Direct   0     0       D   127.0.0.1          GigabitEthernet
0/0/0
192.168.2.15/32    Direct   0     0       D   127.0.0.1          GigabitEthernet
0/0/0
192.168.2.16/29    Direct   0     0       D   192.168.2.18       GigabitEthernet
0/0/1
192.168.2.19/32    Direct   0     0       D   127.0.0.1          GigabitEthernet
0/0/1
192.168.2.23/32    Direct   0     0       D   127.0.0.1          GigabitEthernet
0/0/1
192.168.2.24/29    OSPF     10   2       D   192.168.2.33       GigabitEthernet
4/0/0
192.168.2.32/29    Direct   0     0       D   192.168.2.34       GigabitEthernet
4/0/0
192.168.2.34/32    Direct   0     0       D   127.0.0.1          GigabitEthernet
4/0/0
192.168.2.39/32    Direct   0     0       D   127.0.0.1          GigabitEthernet
4/0/0

```

Figura 132.- Tabla de enrutamiento (AR3260-AR).  
Imagen elaborada por el Autor

Continuando con la configuración del MPLS, se activa el protocolo de distribución de etiquetas LDP, con la que se gestiona de forma dinámica el etiquetado de paquetes; después se agregan las interfaces adyacentes con las que se comunicara a través de MPLS.



## Mikrotik

Para habilitar la asignación de etiquetas de forma dinámica, se usan las siguientes instrucciones descritas (véase en las figuras 133 a 137):

**mpls ldp set enable= yes transport-address=" Loopback" lsr-id=" Loopback"**: se configura el sistema MPLS, LDP debe estar habilitado, para la distribución de etiquetas para ruta.

**mpls ldp interface add interfaz="ether#"**: se agrega el interfaz que participaran en MPLS.

```
# INTERFACE
[admin@LER_LosVillao] >> mpls ldp set enabled=yes transport-address=10.0.0.5 lsr-id=10.0.0.5
[admin@LER_LosVillao] >> mpls ldp interface add interface=ether1
[admin@LER_LosVillao] >>
```

Figura 133.- Protocolo de distribución de etiquétalas (Mikrotik-2).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@LSR1] >> mpls ldp set enabled=yes transport-address=10.0.0.3 lsr-id=10.0.0.3
[admin@LSR1] >> mpls ldp interface add interface=ether1
[admin@LSR1] >> mpls ldp interface add interface=ether2
[admin@LSR1] >> mpls ldp interface add interface=ether3
[admin@LSR1] >> mpls ldp interface add interface=ether4
[admin@LSR1] >>
```

Figura 134.- Protocolo de distribución de etiquétalas (Mikrotik-4).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@LER_Colonche] >> mpls ldp set enabled=yes transport-address=10.0.0.4 lsr-id=10.0.0.4
[admin@LER_Colonche] >> mpls ldp interface add interface=ether1
[admin@LER_Colonche] >> mpls ldp interface add interface=ether2
[admin@LER_Colonche] >> mpls ldp interface add interface=ether3
[admin@LER_Colonche] >>
```

Figura 135.- Protocolo de distribución de etiquétalas (Mikrotik-5).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@LER_LasPalmitas] >> mpls ldp set enabled=yes transport-address=10.0.0.6 lsr-id=10.0.0.6
[admin@LER_LasPalmitas] >> mpls ldp interface add interface=ether1
[admin@LER_LasPalmitas] >>
```

Figura 136.- Protocolo de distribución de etiquétalas (Mikrotik-3).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@LER_Manantial] >> mpls ldp set enabled=yes transport-address=10.0.0.7 lsr-id=10.0.0.7
[admin@LER_Manantial] >> mpls ldp interface add interface=ether2
[admin@LER_Manantial] >>
```

Figura 137.- Protocolo de distribución de etiquétalas (Mikrotik-1).  
Imagen elaborada por el Autor

## Cisco C7200

Las instrucciones para configuración del protocolo de distribución de etiqueta en cisco se emplean de acorde como se puede observar en la figura 138:

1. **Route ospf 1:** ingresa al modo de configuración global para habilitar OSPF
2. **mpls ldp autoconfig:** habilita la autoconfiguración de MPLS LDP para las interfaces que pertenecen a un proceso OSPF.

```
LSR2(config)#router ospf 1
LSR2(config-router)#mpls ldp autoconfig
LSR2(config-router)#
*Dec 12 18:02:16.111: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 10.0.0.3:0 (1) is UP
LSR2(config-router)#
```

Figura 138.- Protocolo de distribución de etiquétas (R1).  
Imagen elaborada por el Autor

### Huawei AR3260-AR

Inicialmente los equipos Huawei requieren de establecer un identificador de conmutador de etiqueta (LSR), para esta función fue creada el loopback. Consecutivamente se habilita el protocolo de computación de etiquetas en cada interfaz activa del enrutador, las instrucciones empleadas para establecer esta configurar se ejecutan los comandos mostrados en la figura 139.

1. **mpls lsr-id "loopback":** el ID de LSR se establece para una instancia de LDP.
2. **Mpls:** inicio de MPLS
3. **Mpls ldp:** MPLS está habilitado globalmente.

```
[LSR3]mpls lsr-id 10.0.0.2
[LSR3]mpls
Info: Mpls starting, please wait... OK!
[LSR3-mpls]mpls
[LSR3-mpls]quit
[LSR3]mpls ldp
[LSR3-mpls-ldp]quit
[LSR3]interface G0/0/0
[LSR3-GigabitEthernet0/0/0]mpls
[LSR3-GigabitEthernet0/0/0]mpls ldp
[LSR3-GigabitEthernet0/0/0]quit
[LSR3]interface G0/0/1
[LSR3-GigabitEthernet0/0/1]mpls
[LSR3-GigabitEthernet0/0/1]mpls ldp
[LSR3-GigabitEthernet0/0/1]quit
[LSR3]interface G0/0/2
[LSR3-GigabitEthernet0/0/2]mpls
[LSR3-GigabitEthernet0/0/2]mpls ldp
[LSR3-GigabitEthernet0/0/2]quit
```

Figura 139.- Protocolo de distribución de etiquétas (AR3260-AR).  
Imagen elaborada por el Autor

Para verificar el correcto funcionamiento del LDP en los routers, se emplea las siguientes instrucciones (diferentes en cada tipo de router), los resultados muestran los vecinos adyacentes que trabajan bajo el protocolo MPLS.

## Mikrotik

Ejecutar la siguiente instrucción, muestra el estado del protocolo “DO” que significa que se encuentra operativo y se agregó de forma dinámica, se puede observar las direcciones loopback adyacentes al enrutador, la dirección loopback local, así como las direcciones de las interfaces de acceso al enrutador adyacente (véase en las figuras 140 a 144).

### mpls ldp neighbor print

```
[admin@LER_LosVillao] > mpls ldp neighbor print
Flags: X - disabled, D - dynamic, O - operational, T - sending-targeted-hello, V - vpls
#   TRANSPORT      LOCAL-TRANSPORT PEER          SEND-TARGETED ADDRESSES
0 DO 10.0.0.3         10.0.0.5         10.0.0.3:0          no             10.0.0.3
                                           192.168.2.2
                                           192.168.2.17
                                           192.168.2.26
                                           192.168.2.50
[admin@LER_LosVillao] > []
```

Figura 140.- Información de vecinos del LDP (Mikrotik-2).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@SR1] > mpls ldp neighbor print
Flags: X - disabled, D - dynamic, O - operational, T - sending-targeted-hello, V - vpls
#   TRANSPORT      LOCAL-TRANSPORT PEER          SEND-TARGETED ADDRESSES
0 DO 10.0.0.5         10.0.0.3         10.0.0.5:0          no             10.0.0.5
                                           192.168.2.49
1 DO 10.0.0.4         10.0.0.3         10.0.0.4:0          no             10.0.0.4
                                           192.168.1.2
                                           192.168.2.1
                                           192.168.2.10
2 DO 10.0.0.2         10.0.0.3         10.0.0.2:0          no             10.0.0.2
                                           192.168.2.9
                                           192.168.2.18
                                           192.168.2.34
                                           192.168.2.58
3 DO 10.0.0.1         10.0.0.3         10.0.0.1:0          no             10.0.0.1
                                           192.168.2.25
                                           192.168.2.33
                                           192.168.2.42
[admin@SR1] > []
```

Figura 141.- Información de vecinos del LDP (Mikrotik-4).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@LER_Manantial] > mpls ldp neighbor print
Flags: X - disabled, D - dynamic, O - operational, T - sending-targeted-hello, V - vpls
#   TRANSPORT      LOCAL-TRANSPORT PEER          SEND-TARGETED ADDRESSES
0 DO 10.0.0.1         10.0.0.7         10.0.0.1:0          no             10.0.0.1
                                           192.168.2.25
                                           192.168.2.33
                                           192.168.2.42
[admin@LER_Manantial] > []
```

Figura 142.- Información de vecinos del LDP (Mikrotik-1).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@_ER_LasPalmitas] > mpls ldp neighbor print
Flags: X - disabled, D - dynamic, O - operational, T - sending-targeted-hello, V - vpls
#   TRANSPORT      LOCAL-TRANSPORT PEER          SEND-TARGETED ADDRESSES
0 DO 10.0.0.2         10.0.0.6         10.0.0.2:0          no             10.0.0.2
                                           192.168.2.9
                                           192.168.2.18
                                           192.168.2.34
                                           192.168.2.58
[admin@_ER_LasPalmitas] > []
```

Figura 143.- Información de vecinos del LDP (Mikrotik-3).  
Imagen elaborada por el Autor

```
[admin@_ER_Colonche] > mpls ldp neighbor print
Flags: X - disabled, D - dynamic, O - operational, T - sending-targeted-hello, V - vpls
#   TRANSPORT   LOCAL-TRANSPORT PEER           SEND-TARGETED ADDRESSES
0 DO  10.0.0.3      10.0.0.4         10.0.0.3:0      no              10.0.0.3
                                           192.168.2.2
                                           192.168.2.17
                                           192.168.2.26
                                           192.168.2.50
1 DO  10.0.0.2      10.0.0.4         10.0.0.2:0      no              10.0.0.2
                                           192.168.2.9
                                           192.168.2.18
                                           192.168.2.34
                                           192.168.2.58
[admin@_ER_Colonche] > []
```

Figura 144.- Información de vecinos del LDP (Mikrotik-5).  
Imagen elaborada por el Autor

### Cisco C7200

En la figura 145, se muestra la instrucción que se emplea para observar los vecinos reconocibles bajo el protocolo de distribución de etiqueta en cisco.

#### Show mpls ldp neighbor

```
LSR2#show mpls ldp neighbor
Peer LDP Ident: 10.0.0.3:0; Local LDP Ident 10.0.0.1:0
TCP connection: 10.0.0.3.56882 - 10.0.0.1.646
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 33/32; Downstream
Up time: 00:13:02
LDP discovery sources:
FastEthernet1/0, Src IP addr: 192.168.2.26
Addresses bound to peer LDP Ident:
10.0.0.3      192.168.2.2      192.168.2.17      192.168.2.26
192.168.2.50
Peer LDP Ident: 10.0.0.2:0; Local LDP Ident 10.0.0.1:0
TCP connection: 10.0.0.2.50934 - 10.0.0.1.646
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 45/38; Downstream
Up time: 00:05:49
LDP discovery sources:
FastEthernet1/1, Src IP addr: 192.168.2.34
Addresses bound to peer LDP Ident:
192.168.2.34  10.0.0.2      192.168.2.9      192.168.2.18
192.168.2.58
Peer LDP Ident: 10.0.0.7:0; Local LDP Ident 10.0.0.1:0
TCP connection: 10.0.0.7.55396 - 10.0.0.1.646
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 25/24; Downstream
Up time: 00:05:39
LDP discovery sources:
FastEthernet0/0, Src IP addr: 192.168.2.41
Addresses bound to peer LDP Ident:
10.0.0.7      192.168.2.41
LSR2#
```

Figura 145.- Información de vecinos del LDP (R1).  
Imagen elaborada por el Autor

### Huawei AR3260-AR

Inicialmente los equipos Huawei requieren de establecer un identificador de LSR, para esta función fue creada el loopback; consecutivamente se habilita el protocolo de computación de etiquetas en cada interfaz activa del enrutador, las instrucciones empleadas para establecer esta configurar se describen a continuación, en la siguiente figura 146:

#### mpls lsr-id "Loopback"

```

[LSR3]display mpls ldp session

LDP Session(s) in Public Network
Codes: LAM(Label Advertisement Mode), SsnAge Unit (DDDD:HH:MM)
A '*' before a session means the session is being deleted.
-----
PeerID                Status      LAM  SsnRole  SsnAge      KASent/Rcv
-----
10.0.0.1:0            Operational DU   Active  0000:00:01  7/7
10.0.0.3:0            Operational DU   Passive 0000:00:20  81/79
10.0.0.4:0            Operational DU   Passive 0000:00:11  45/45
10.0.0.6:0            Operational DU   Passive 0000:00:09  39/39
-----
TOTAL: 4 session(s) Found.

[LSR3]

```

Figura 146.- Información de vecinos del LDP (AR3260-AR).  
Imagen elaborada por el Autor

Para comprender el comportamiento del protocolo MPLS es necesario conocer la asignación de etiquetas de cada enrutador.

### Mikrotik

La instrucción muestra la etiqueta de entrada (IN-LABEL) y según esta se asigna una etiqueta de salida (OUT-LABEL), estas etiquetas están directamente relacionada con una dirección de destino e interfaz; la información mostrada también da a conocer el próximo salto para llegar al destino (véase las figuras 147 a 149).

### Mpls forwarding-table print

```

redwin@192.168.2.50:~$ mpls forwarding-table print
Flags: H - hardware, L - ldp, V - vpls, T - traffic-eng
# IN-LABEL      OUT-LABELS      DESTINATION      INTERFACE
-----
0  expl-null
1  L 17          16              192.168.2.8/29   ether1
2  L 18          192.168.2.50    192.168.2.24/29 ether1
3  L 23          192.168.2.50    10.0.0.3/32      ether1
4  L 25          192.168.2.50    192.168.2.16/29 ether1
5  L 26          192.168.2.50    192.168.2.0/29   ether1
6  L 36          192.168.2.50    33              192.168.2.32/29 ether1
7  L 40          192.168.2.50    36              10.0.0.2/32      ether1
8  L 41          192.168.2.50    37              10.0.0.6/32      ether1
9  L 42          192.168.2.50    38              192.168.2.56/29 ether1
10 L 43         192.168.2.50    39              192.168.1.0/24   ether1
11 L 44         192.168.2.50    40              10.0.0.4/32      ether1
12 L 63         192.168.2.50    58              10.0.0.1/32      ether1
13 L 64         192.168.2.50    59              10.0.0.7/32      ether1
14 L 65         192.168.2.50    60              192.168.2.40/29 ether1
redwin@192.168.2.50:~$

```

Figura 147.- Tabla de asignación de etiquetas (Mikrotik-2).  
Imagen elaborada por el Autor

```

[admin@SR1] > mpls forwarding-table print
Flags: H - hw-offload, L - ldp, V - vpls, T - traffic-eng
# IN-LABEL NEXTHOP OUT-LABELS DESTINATION INTERFACE
0 expl-null
1 L 16 192.168.2.18 192.168.2.8/29 ether3
2 L 18 192.168.2.49 10.0.0.5/32 ether4
3 L 33 192.168.2.25 192.168.2.32/29 ether1
4 L 36 192.168.2.18 10.0.0.2/32 ether3
5 L 37 192.168.2.18 1030 10.0.0.6/32 ether3
6 L 38 192.168.2.18 1030 192.168.2.56/29 ether1
7 L 39 192.168.2.25 192.168.1.0/24 ether2
8 L 40 192.168.2.1 10.0.0.4/32 ether2
9 L 58 192.168.2.1 10.0.0.1/32 ether1
10 L 59 192.168.2.25 19 10.0.0.7/32 ether1
11 L 60 192.168.2.25 192.168.2.48/29 ether1
[admin@SR1] >

```

Figura 148.- Tabla de asignación de etiquetas (Mikrotik-4).  
Imagen elaborada por el Autor

```

[admin@SR #mwantra] > mpls forwarding-table print
Flags: H - hw-offload, L - ldp, V - vpls, T - traffic-eng
# IN-LABEL NEXTHOP OUT-LABELS DESTINATION INTERFACE
0 expl-null
1 L 100 192.168.2.42 10.0.0.1/32 ether2
2 L 101 192.168.2.42 192.168.2.24/29 ether2
3 L 102 192.168.2.42 192.168.2.32/29 ether2
4 L 103 192.168.2.42 23 192.168.2.56/29 ether2
5 L 104 192.168.2.42 24 192.168.2.48/29 ether2
6 L 105 192.168.2.42 27 192.168.2.16/29 ether2
7 L 106 192.168.2.42 25 192.168.2.8/29 ether2
8 L 107 192.168.2.42 26 192.168.2.0/29 ether2
9 L 108 192.168.2.42 22 192.168.1.0/24 ether2
10 L 109 192.168.2.42 18 10.0.0.6/32 ether2
11 L 110 192.168.2.42 21 10.0.0.5/32 ether2
12 L 111 192.168.2.42 20 10.0.0.4/32 ether2
13 L 112 192.168.2.42 17 10.0.0.3/32 ether2
14 L 113 192.168.2.42 16 10.0.0.2/32 ether2
[admin@SR #mwantra] >

```

Figura 149.- Tabla de asignación de etiquetas (Mikrotik-1).  
Imagen elaborada por el Autor

### Cisco C7200

La instrucción **Show mpls ldp neighbor** ejecutada en la figura 150, permite observar la etiqueta de entrada (local tag), etiqueta que se asignara a los paquetes para llegar a su destino, la interfaz de salida del paquete (outgoing interface) y la dirección del próximo router por donde el paquete pasara (next hop).

```

LSR2#show mpls forwarding-table
Local  Outgoing  Prefix          Bytes tag  Outgoing  Next Hop
tag    tag or VC  or Tunnel Id   switched  interface
16     Pop tag    10.0.0.2/32    0         Fa1/1     192.168.2.34
17     Pop tag    10.0.0.3/32    0         Fa1/0     192.168.2.26
18     1030      10.0.0.6/32    0         Fa1/1     192.168.2.34
19     Pop tag    10.0.0.7/32    672       Fa0/0     192.168.2.41
20     1026      10.0.0.4/32    0         Fa1/1     192.168.2.34
21     18        10.0.0.5/32    0         Fa1/0     192.168.2.26
22     1025      192.168.1.0/24 0         Fa1/1     192.168.2.34
23     Untagged  192.168.2.56/29 0         Fa1/1     192.168.2.34
24     Pop tag    192.168.2.48/29 1218      Fa1/0     192.168.2.26
25     Untagged  192.168.2.8/29 0         Fa1/1     192.168.2.34
26     Pop tag    192.168.2.0/29 0         Fa1/0     192.168.2.26
27     Untagged  192.168.2.16/29 0         Fa1/1     192.168.2.34
LSR2#

```

Figura 150.- Tabla de asignación de etiquetas (R1).  
Imagen elaborada por el Autor.

## Huawei AR3260-AR

Los equipos Huawei emplean la instrucción *display mpls ldp lsp* mostrada en la figura 151 permite mostrar en pantalla la tabla de comportamiento del protocolo MPLS, la primera columna muestra la información del destino y mascara de red (DestAddress/Mask), la segunda columna muestra valor de etiqueta entrada/salida, la tercera muestra la dirección de loopback y las 2 ultimas columnas muestran el próximo salto (nexthop) y la interfaz por la que saldrá el paquete (outinterface).

```
<LSR3>display mpls ldp lsp
LDP LSP Information
-----
DestAddress/Mask  In/OutLabel  UpstreamPeer  NextHop      OutInterface
-----
10.0.0.1/32      NULL/3       -             192.168.2.33 CE4/0/0
10.0.0.1/32      1069/3       10.0.0.1      192.168.2.33 CE4/0/0
10.0.0.1/32      1069/3       10.0.0.3      192.168.2.33 CE4/0/0
10.0.0.1/32      1069/3       10.0.0.4      192.168.2.33 CE4/0/0
10.0.0.1/32      1069/3       10.0.0.6      192.168.2.33 CE4/0/0
*10.0.0.1/32     Liberal/39   -             DS/10.0.0.4
*10.0.0.1/32     Liberal/52   -             DS/10.0.0.3
*10.0.0.1/32     Liberal/41   -             DS/10.0.0.6
10.0.0.2/32      3/NULL       10.0.0.4      127.0.0.1    InLoop0
10.0.0.2/32      3/NULL       10.0.0.3      127.0.0.1    InLoop0
10.0.0.2/32      3/NULL       10.0.0.6      127.0.0.1    InLoop0
10.0.0.2/32      3/NULL       10.0.0.1      127.0.0.1    InLoop0
*10.0.0.2/32     Liberal/17   -             DS/10.0.0.4
*10.0.0.2/32     Liberal/36   -             DS/10.0.0.3
*10.0.0.2/32     Liberal/26   -             DS/10.0.0.6
*10.0.0.2/32     Liberal/16   -             DS/10.0.0.1
10.0.0.3/32      NULL/3       -             192.168.2.17 GE0/0/1
10.0.0.3/32      1028/3       10.0.0.3      192.168.2.17 GE0/0/1
10.0.0.3/32      1028/3       10.0.0.4      192.168.2.17 GE0/0/1
10.0.0.3/32      1028/3       10.0.0.6      192.168.2.17 GE0/0/1
10.0.0.3/32      1028/3       10.0.0.1      192.168.2.17 GE0/0/1
*10.0.0.3/32     Liberal/19   -             DS/10.0.0.4
*10.0.0.3/32     Liberal/24   -             DS/10.0.0.6
*10.0.0.3/32     Liberal/17   -             DS/10.0.0.1
10.0.0.4/32      NULL/3       -             192.168.2.10 GE0/0/0
10.0.0.4/32      1026/3       10.0.0.4      192.168.2.10 GE0/0/0
10.0.0.4/32      1026/3       10.0.0.3      192.168.2.10 GE0/0/0
10.0.0.4/32      1026/3       10.0.0.6      192.168.2.10 GE0/0/0
10.0.0.4/32      1026/3       10.0.0.1      192.168.2.10 GE0/0/0
*10.0.0.4/32     Liberal/40   -             DS/10.0.0.3
*10.0.0.4/32     Liberal/17   -             DS/10.0.0.6
*10.0.0.4/32     Liberal/20   -             DS/10.0.0.1
```

Figura 151.- Tabla de asignación de etiquetas (AR3260-AR).  
Imagen elaborada por el Autor

**Resultados:** como resultado de la configuración, podemos observar en las siguientes imágenes que MPLS, emplea etiquetas para trazar las rutas hacia los destinos (LSP); después de enviar un paquete del LER se asigna unas etiquetas que será interpretado por el siguiente enrutados y de ser el caso, se asignará otra etiqueta.

En el siguiente caso, como se muestra en la figura 152, se traza la ruta entre Mikrotik-2 a Mikrotik-3 mediante la instrucción **Tool traceroute “ip”**.

1. Desde el router Mikrotik-2 se asigna la etiqueta “37” y esta se envía a través de la puerta de enlace 192.168.2.50.
2. El segundo salto en el router Mikrotik-4 se asigna la etiqueta “1030” y se envía al router Huawei a través de la puerta de enlace 192.168.2.18; el router Huawei tiene enlace directo con 10.0.0.6 porque lo que ya no es necesario asignar una nueva etiqueta.

```

[admin@FR_LosVillao] >> tool traceroute 10.0.0.6
# ADDRESS          LOSS SENT    LAST      AVG      BEST     WORST  STD-DEV STATUS
1 192.168.2.50      0%  1  10.7ms  10.7  10.7  10.7  0 <MPLS:L=37,E=0>
2 192.168.2.18     0%  1  10.8ms  10.8  10.8  10.8  0 <MPLS:L=1030,E=0>
3 10.0.0.6         0%  1  9.8ms   9.8   9.8   9.8   0
-- [Q quit]D dump[C-z continue]

```

Figura 152.- Ruta Mikrotik-2 a Mikrotik-3 usando etiquetas.

Imagen elaborada por el Autor.

El segundo ejemplo describe la ruta de Mikrotik-2 a Mikrotik-1 (véase en la figura 153):

1. Desde el router Mikrotik-2 se asigna la etiqueta “59” y esta se envía a través de la puerta de enlace 192.168.2.50.
2. El segundo salto en el router Mikrotik-4 se asigna la etiqueta “19” y se envía al router cisco a través de la puerta de enlace 192.168.2.25; el router cisco tiene enlace directo con 10.0.0.7 porque ya que, no es necesario asignar una nueva etiqueta.

```

[admin@LER_LosVillao] >> tool traceroute 10.0.0.7
# ADDRESS          LOSS SENT    LAST      AVG      BEST     WORST  STD-DEV STATUS
1 192.168.2.50      0%  7  16.6ms  19.9  15.2  23.8  3.4 <MPLS:L=59,E=0>
2 192.168.2.25     0%  7  22.9ms  22    20.4  23.4  0.9 <MPLS:L=19,E=0>
3 10.0.0.7         0%  7  21.3ms  21.2  19.4  23.4  1.1
[admin@LER_LosVillao] >> []

```

Figura 153.- Ruta Mikrotik-2 a Mikrotik-3 usando etiquetas.

Imagen elaborada por el Autor.



## CAPITULO IV DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

### 4.1 CÁLCULO DE USUARIOS VS ANCHO DE BANDA

Considerando el estudio de campo y las preguntas 7 y 8 de la encuesta, se clasifican 3 tipos de usuarios para el diseño; 85% para abonados estándar, 10% premium y 5% corporativos; es decir que 91 usuarios para el diseño serán considerados como estándar, 10 como premium y 5 usuarios como corporativos.

Se consideran 3 factores primordiales que ayudaran a determinar el ancho de banda a contratar con el carrier (empresa que permite el tráfico de datos a otras empresas ISP):

- 1. Velocidad del enlace:** es la tasa de transmisión máxima que se permite las condiciones físicas del enlace o la limitación establecida por el administrador de red; en este caso se toma en consideración el requerimiento de ancho de banda que tienen las actividades de la tabla 1 y el estudio del banco interamericano de desarrollo (BID) sobre el impacto de la infraestructura digital en consecuencia al covid-19 y la mitigación de efectos en el futuro [2]; en el presente trabajo de diseño se ofrece una *velocidad de enlace de 50 Mbps* para cada tipo de usuarios (Nokia calcula que es la velocidad mínima para trabajar, estudiar y jugar sin presentar problemas de conexión [2]).
- 2. Overbooking:** también conocido como reusó, es un método empleado por empresas de telecomunicaciones que permite maximizar la eficiencia de los recursos de un enlace, compartiéndolos entre diferentes usuarios; se caracteriza también por establecer prioridades según la exigencia de los usuarios. *Para los usuarios estándar se asignará un reusó de 6:1; usuarios premium con un reusó de 4:1 y finalmente los corporativos que no se le considerara reusó (1:1).*
- 3. Throughput:** es la tasa de transmisión real que se garantiza a los usuarios; los usuarios estándar tendrán garantizado un *25% de velocidad (12,5 Mbps)*, los *premium un 35% (17,5 Mbps)* y los *corporativos un 50% (25 Mbps)*.

Con estos valores se calcula el ancho de banda total necesario para cumplir con lo analizado anteriormente:

$$BW_T = \left( \frac{\text{Throughput}}{\text{Overbooking}} \right) * \text{Usuarios} [76]$$

Para usuarios estándar:

$$BW_1 = \left( \frac{12,5 \text{ Mbps}}{6} \right) * 91 = 189.5 \text{ Mbps}$$

Para usuarios premium:

$$BW_2 = \left( \frac{17,5 \text{ Mbps}}{4} \right) * 10 = 43,75 \text{ Mbps}$$

Para usuarios corporativo:

$$BW_3 = \left( \frac{25 \text{ Mbps}}{1} \right) * 5 = 125 \text{ Mbps}$$

Con esto se concluye que para ofrecer un servicio de calidad se necesita contratar a algún ISP un ancho de banda dedicado mínimo de 359 Mbps (véase en la tabla 17).

Tipo de usuarios	Clientes	Ancho de banda Por cliente	Throughput Por cliente	Reusó
<b>Estándar</b>	91	50 Mbps	12,5 Mbps	189.5 Mbps
<b>Premium</b>	10	50 Mbps	17,5 Mbps	43,75 Mbps
<b>Corporativo</b>	5	50 Mbps	25 Mbps	125 Mbps
<b>Total</b>				359 Mbps

Tabla 17.- Recursos de red en función de los tipos de usuarios.

Tabla elaborada por el Autor.

## 4.2 DISEÑO DE LA RED

En la siguiente figura 154, se describen y detallan los componentes necesarios para establecer la red heterogénea propuesta para la comuna Manantial de Colonche, se representan la secuencia de conexiones que lograrán el objetivo planteado.

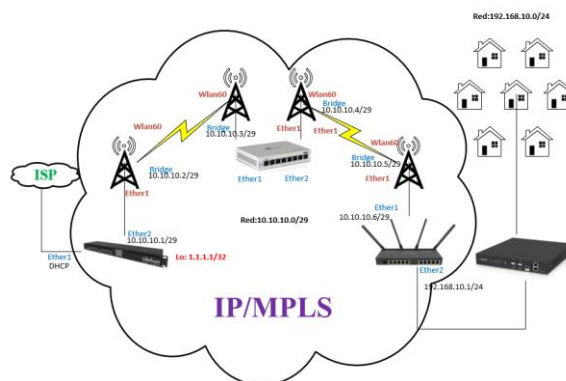


Figura 154.- Diagrama de red final (Colonche-Manantial de Colonche).  
Imagen elaborada por el Autor

#### 4.2.1 RB3011UiAS-RM

Dispositivo del catálogo de Mikrotik con arquitectura ARM que brinda un alto rendimiento (véase en la figura 155), la elección de este equipo para el proyecto se debe a las características técnicas enfocándonos en la frecuencia de trabajo, número de núcleos y memoria RAM; este equipo no tendrá mucha carga de trabajo. A continuación, se muestran otras especificaciones importantes en la tabla 18.



Figura 155.- Router RB3011.  
Imagen tomada de la página "Mikrotik"

Código del producto	RB3011UiAS-RM
Frecuencia nominal del CPU	1.4 GHz
Recuento de núcleo de CPU	2
Tamaño de RAM	1 GB
Puertos ethernet 10/100/1000	10
Cambiar el modelo de chip	QXA8337 – A63C – R
Conector de alimentación	1
PoE in	Si (passive only)
Poe out	Si (port 10)
Voltaje de entrada compatible	10 V - 30 V
Monitor de voltaje	Si
Monitor de temperatura de PCB	Si
Dimensiones	443x92x44mm
Nivel de licencia	5
Sistema operativo	RouterOS
CPU	IPQ – 8064
Consumo máximo de energía	10 W
Puerto SFP	1
Tipo de ranura USB	USB 3.0 tipo A
Número de puertos SUB	1
Puerto serial	RJ45

Tabla 18.- Características del router RB3011.  
Tabla elaborada por el Autor.

#### 4.2.2 WIRELESS WIRE DISH (RBLHGG-60adkit)

Se compone de 2 radios con antenas integradas "LHGG-60ad" que trabajan en la banda de los 60 GHz, el equipo más accesible para proyectos eficiente y económicamente viable (véase en la figura 156); la tecnología 802.11ad y las altas capacidades de transmisión que el

fabricante promete, hacen que esos equipos sean considerados en el presente proyecto, en la tabla 19 se detallan las características de la misma.



Figura 156.- Wireless Wire Dish.

Imagen tomada de la página “Mikrotik”

Código del producto	RBLHGG-60adkit
<b>Unidad</b>	2
<b>CPU</b>	Quad-core ARM Cortex A7, 716 MHZ
<b>Tamaño de RAM</b>	256 MB
<b>Almacenamiento</b>	16 MB Flash
<b>Puertos ethernet 10/100/1000</b>	1
<b>Inalámbrica</b>	Built-in 60 GHz 802.11ad
<b>Cambiar el modelo de chip</b>	QXA8337 – A63C – R
<b>PoE in</b>	802.3af/at
<b>Voltaje de entrada soportado</b>	12 V - 57 V (802.3af/at y PoE pasivo)
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	-40 C... + 70 C
<b>Dimensiones</b>	443x92x44mm
<b>Consumo máximo de energía</b>	5 W
<b>Nivel de licencia</b>	3

Tabla 19.- Características del producto Wireless Wire Dish.

Tabla elaborada por el Autor.

#### 4.2.3 RB4011iGS+5HacQ2HnD-IN

Considerado como uno de los routers más potentes del catálogo de Mikrotik (véase en la figura 157), la carga de trabajo de este equipo será mayor y es por esa razón que se la considero, con 4 núcleos, este dispositivo supera por mucho el RB3011. A continuación, se detallan las especificaciones del producto en la tabla 20.



Figura 157.- RB4011.

Imagen tomada de la página “Mikrotik”

Código del producto	RB4011iGS+5HacQ2HnD-IN
Arquitectura	ARM 32 bit
CPU	AL21400
Recuento de núcleo de CPU	4
Frecuencia nominal del CPU	1.4 GHz
Dimensiones	228 x 120 x 30 mm
Licencia de routerOS	5
Sistema operativo	RouterOS
Tamaño de RAM	1 GB
Tamaño de almacenamiento	512 MB
Tipo de almacenamiento	NAND
MTBF	Aproximadamente 200'000 horas a 25°C
Temperatura ambiente probada	-40°C a 45°C
Aceleración de hardware	Si

Tabla 20.- Características del Router RB4011.

Tabla elaborada por el Autor.

#### 4.2.4 UFIBER OLT-4

En la figura 158, se puede observar la forma física de la UFiber OLT-4 Ubiquiti, siendo compatible con los dispositivos activos empleados, sus características se indican en la tabla 21, además, el costo es ideal para los requerimientos del diseño, con este equipo se puede establecer conexiones a través de una red óptica pasiva y se garantiza la sostenibilidad de expansiones de red a máximo 512 usuarios.



Figura 158.- UFiber OLT-4.

Imagen tomada de la página “UBNT”

<b>Dimensiones</b>	299,80 x 258,95 x 42,55 mm (11,8 x 10,2 x 1,7'')
<b>Peso</b>	
<b>Sin soportes de montaje</b>	1,93 kg (4,25 lb)
<b>Con soportes de montaje</b>	2,13 kg (4,70 lb)
<b>Consumo máximo de energía</b>	35 W (sin incluir los transmisores SFP)
<b>Método de alimentación</b>	Puerto modular 110 – 240 V CA
<b>Fuente de alimentación</b>	CA/CC interno 56 W CC
<b>Rango de tensión admitido</b>	100 – 240 V CA 16 – 25 V CC
<b>Botón</b>	Restablecer
<b>Procesador</b>	MPS 1004Kc de 800 MHz de doble núcleo
<b>Memoria del sistema</b>	DDR3 de 512 MB, NAND de 512 MB
<b>MTBF</b>	Aproximadamente 200'000 horas a 25°C
<b>Luces LED</b>	
<b>Sistema</b>	Estado
<b>Puerto de datos PON</b>	Enlace/Actividad
<b>Puerto de datos SFP+</b>	Enlace/Actividad
<b>Puerto RJ45 (MGMT)</b>	Enlace/Actividad
<b>Interfaces</b>	
<b>Puertos de datos</b>	(4) GPON OLT
	(1) Puerto SPF+ de 1 G/10 G
<b>Puerto de gestión</b>	(1) Puerto ethernet RJ45
<b>Puerto serie de consola</b>	(1) Puerto serie RJ45
<b>Montaje en bastidor</b>	Si
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	De -10°C a 45°C (14°F a 113°F)
<b>Humedad de funcionamiento</b>	10 – 90 % sin condensación
<b>Certificaciones</b>	CE, FCC, IC

Tabla 21.- Características OLT UFiber.  
Tabla elaborada por el Autor.

Para garantizar la factibilidad de los equipos se realizaron pruebas en los lugares estimado de implementación poniendo énfasis en el ancho de banda, distancia y nivel de recepción que los dispositivos usados eran capaces de brindar.

### 4.3 ENLACE COLONCHE-REPETIDOR

En la figura 159 se evidencia las condiciones de implementación para las pruebas fueron directamente influenciadas por las infraestructuras existentes, se observó y determino sitios donde se pueda garantizar la línea de vista entre punto de interés y que no hubiera problemas para acceder a ellos (se pidió permiso a dueños de casas para poder instalar las antenas).

**COORDENADAS: Colonche (2°1'0.88"S 80°40'17.78"O); repetidor (Los Villaos) (2°00'01.40"S 80°40'21.0"O).**



Figura 159.- Antenas con localización en colonche.

Imagen elaborada por el Autor

## ANÁLISIS MATEMÁTICO

Al diseñar un sistema de comunicación inalámbrico terrestre es importante disponer de la potencia necesaria para que la señal llegue a un punto estimado y que el sistema tenga las condiciones líneas de visibilidad directa considerando la curvatura de la tierra, para el diseño del proyecto se considera las siguientes características:

1. **LOS:** con base a la geometría de la tierra (curvatura) y la altura de la antena, la distancia de comunicación máxima desde un punto se determina de mediante la siguiente ecuación 2 denominada distancia de transmisión al horizonte:

$$r_1 = \sqrt{12,74 K h_1} = \sqrt{17h_1} \quad [77]$$

*Ecuación 2.- Línea de vista*

$r_1$  = distancia del Tx al horizonte (km)

$K \approx 4/3$  constante de factor de corrección por la refracción en la atmosfera

$h_1$  = altura de la antena (m)

La distancia de comunicación máxima para el primer tramo del enlace (Colonche-repetidor) considerando su altura en metros sobre el nivel de suelo; en las pruebas de campo se colocó las antenas a una altura de 4 m en Colonche y 2 m en el lugar del repetidor.

$$r_{Colonche-repetidor} = \sqrt{17h_{Colonche}} + \sqrt{17h_{Repetidor}} = \sqrt{17(4)} + \sqrt{17(2)} = \mathbf{14.07 \text{ km}}$$

2. **Zona de fresnel:** un radio enlace necesita un espacio o área libre de obstáculo alrededor de la LOS, la consideración de este parámetro se justifica por el comportamiento expansivo de la onda al propagarse, este parámetro permite analizar las interferencias producidas por obstrucciones y la más importante es la primera zona de fresnel ya que se estima que contiene el 50% de la potencia total de la onda; en la práctica es recomendable tener el 60% de las primera zona de fresnel libre en todo el trayecto de la línea de vista (véase en la figura 160) [77].

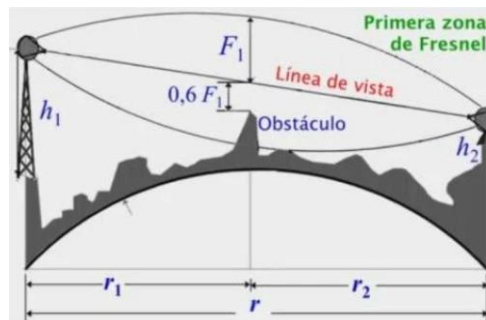


Figura 160.- Diagrama de la primera zona de fresnel.

Imagen tomada de Coimbraweb

La primera zona de fresnel se calcula mediante la ecuación 3:

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} [78]$$

Ecuación 3.- Zona de Fresnel

$r_n$ = radio de n zona de fresnel en metros (n=1, 2, 3, 4, ...)

$\lambda$ = longitud de onda de la señal transmitida (m)  $\lambda = c/f$

$d_1$ = distancia desde el transmisor al obstáculo (m)

$d_2$ = distancia desde el receptor al obstáculo (m)

La primera zona de fresnel para el primer tramo del enlace (Colonche - repetidor) se considera el mayor obstáculo a 0,13 km del transmisor, distancia estimada gracias al perfil de elevación en Google Earth mostrada en la figura 161.



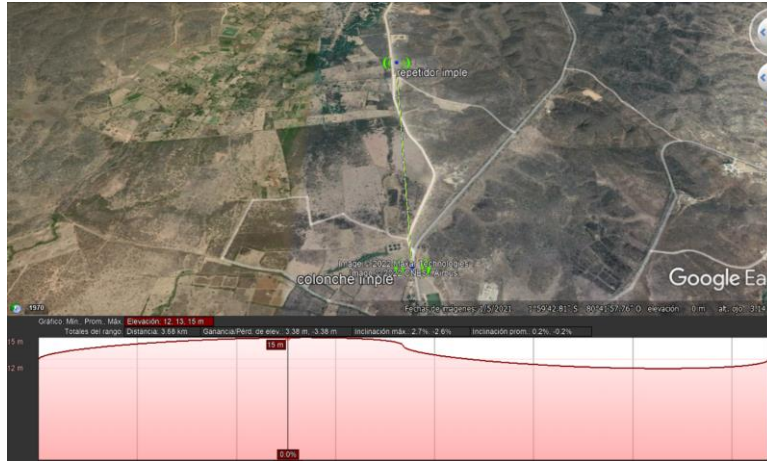


Figura 161.- Perfil de elevación del enlace Colonche- Repetidor.  
Imagen elaborada por el autor

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = \sqrt{\frac{(1)(3 \times 10^8 / 60 \times 10^9)(130)(1710)}{130 + 1710}} = 0,77 \text{ m}$$

La distancia recomendable que debe existir entre la línea de vista y el obstáculo es del 60% de la primera zona de fresnel:  $0,6r_1 = 0,6(0,77) = 0,462 \text{ m}$ . En comparación a los datos obtenido en radio mobile mostrada en la figura 162, en donde la peor zona de fresnel es 80% de la primera zona (**0,59 m**) un valor superior a la calculada.

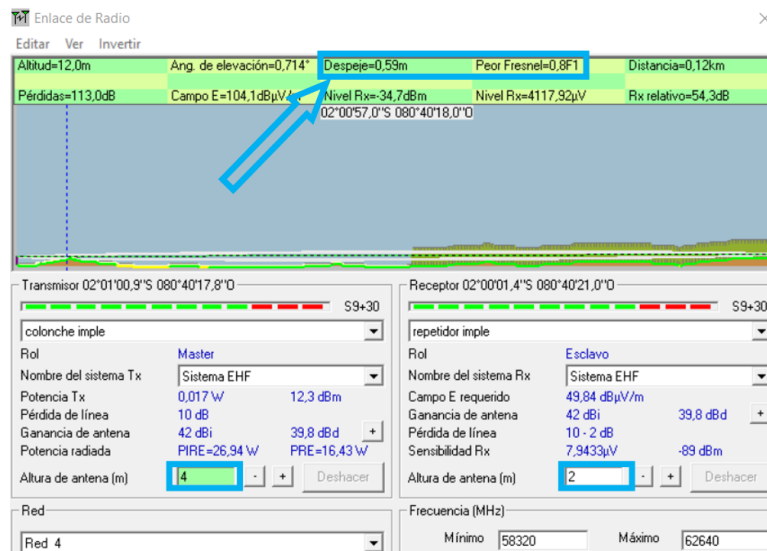


Figura 162.- Radioenlace en radio mobile.  
Imagen elaborada por el autor

**3. Perdida en el espacio libre:** la atenuación causada por medio de comunicación (aire) es la relación entre la potencia en la que se transmite y la potencia en la que se recibe una señal, la ecuación 4, que expresa la pérdida básica por trayecto (path loss) es la siguiente:

$$L_{bf} = 92.44 + 20 \text{Log } r + 20 \log f \text{ [79]}$$

*Ecuación 4.- Ecuación de Friis*

$L_{bf}$ = pérdida en el espacio libre (dB)

$r$ = distancia radial entre antenas (km)

$f$ = frecuencia de la operación del sistema (GHz)

Para que la modelo de ecuación sea aplicable se debe cumplir la condición  $d_f \gg D$  y  $d_f \gg \lambda$  siendo  $d_f$  la distancia de franhoufer o far-field y  $D$  la dimensión del radiador (diámetro de la antena):

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}$$

*Ecuación 5.- Distancia de Franhoufer o far-field*

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{60 \times 10^9} = 5 \times 10^{-3}$$

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2(39.1 \times 10^{-3})^2}{3 \times 10^8 / 60 \times 10^9} = 611,5 \times 10^{-3}$$

$$L_{bs} = 92.44 + 20 \text{Log } (1,84) + 20 \log(60) = \mathbf{133,29 \text{ dB}}$$

Otros factores a considerar son:

- $L_m$ = pérdidas atmosféricas (dB); en la banda de los 60 GHz se estima 15 dB/km según Rec UIT-R P.676-12 [80], como el enlace se acerca a los 2 km se considera 30 dB.
- $L_{at}, L_{ar}$ = pérdidas por acopladores, filtros y circuladores de transmisión y recepción (dB).
- $L_{tt}, L_{tr}$ = pérdidas por alimentadores y conectores de transmisión y recepción (dB), las recomendaciones de la UIT-R BT-1367-2 estima una pérdida por conectores de 0,5 dB.
- $G_t, G_r$ = ganancia isotrópica de la antena de transmisión, recepción (dBi).
- $L_b = L_{bs} + L_m$  (pérdida básica de propagación).  
 $L_b = 133,29 + 30 = \mathbf{163,29 \text{ dB}}$ .
- $L_t = L_b - G_t - G_r$  (pérdida total por trayectoria).  
 $L_t = 163,29 - 42 - 42 = \mathbf{79,29 \text{ dB}}$ .
- $L_{tc} = L_{at} + L_{tt}$  (pérdidas por circuitos totales de transmisión).

Se usa la recomendación de protección civil de España **10 dB** [74].

- $L_{rc} = L_{ar} + L_{tr}$  (pérdidas por circuitos totales de recepción).

- $L_{rc} = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ dB}$ .

De esto se determina las pérdidas totales del sistema [81].

$$L_s = L_t + L_{tc} + L_{rc}$$

*Ecuación 6.- Modelo energético de radioenlace P.341*

$$L_s = 79,29 + 10\text{dB} + 1\text{dB} = 90,29 \text{ dB}$$

**Resumen:** el análisis matemático de LOS demuestra la viabilidad del sistema de radioenlace en función al perfil de relieve y los obstáculos (LOS despeja más del 60% de la 1er zona de fresnel), las pérdidas básicas de espacio libre calculado son igual al previsto por radio mobile (133,3 dB) mientras que en las pérdidas totales se calcula el total de pérdidas menor al resultado obtenido por la simulación, justificable por valores de tolerancia atmosféricas más actuales que se consideraron para la banda de los 60 GHz (véase en la figura 163 - 164).

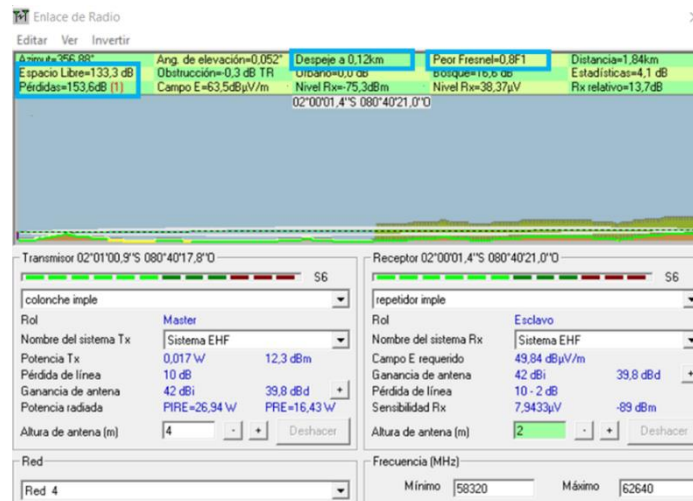


Figura 163: Perfil de elevación de los puntos involucrados.

*Imagen elaborada por el Autor*



Figura 164.- Antena con localización en el punto de repetición.

*Imagen elaborada por el Autor*

Los resultados de la implementación se describen a continuación:

1. Este primer parámetro describe las condiciones características de este sistema, se trabaja con la frecuencia de 58,32 GHz y el enlace se encuentra a una distancia de 1849,03 m.
2. PHY rate proporciona la estimación de rendimiento half-duplex de un enlace, como se puede observar en la figura 181, este valor es de 1925 Mbps.
3. RSSI: es el indicador de fuerza de la señal recibida, en Mikrotik, este valor varío entre 0-80 siendo 0 la representación de un enlace ideal sin perdidas; el valor reflejado en el enlace establecido es de -67 dB un valor medianamente bueno.

Para conocer el rendimiento de ancho de banda en tiempo real sin necesidad de conectar a un ISP, Mikrotik brinda la herramienta “bandwidth test” resaltada en la figura 165, con la que permite conectar a un servidor u otro equipo Mikrotik y verificar el ancho de banda disponible entre estos equipos.

4. El test se hace desde la dirección 10.10.10.2 a 10.10.10.3 (equipos alámbricos ubicado a 1,84 km), para realizarla prueba se emplea el protocolo de datagramas de usuarios (UDP) que permite la transmisión en redes sin conexión de datagramas basadas en protocolo de internet (IP).
5. Tx/Rx total average muestra que la capacidad promedio en tiempo real del enlace en uplink y downlink es 831 Mbps/816,3 Mbps respectivamente, de este valor se estima 1647,3 Mbps de throughput agregado.

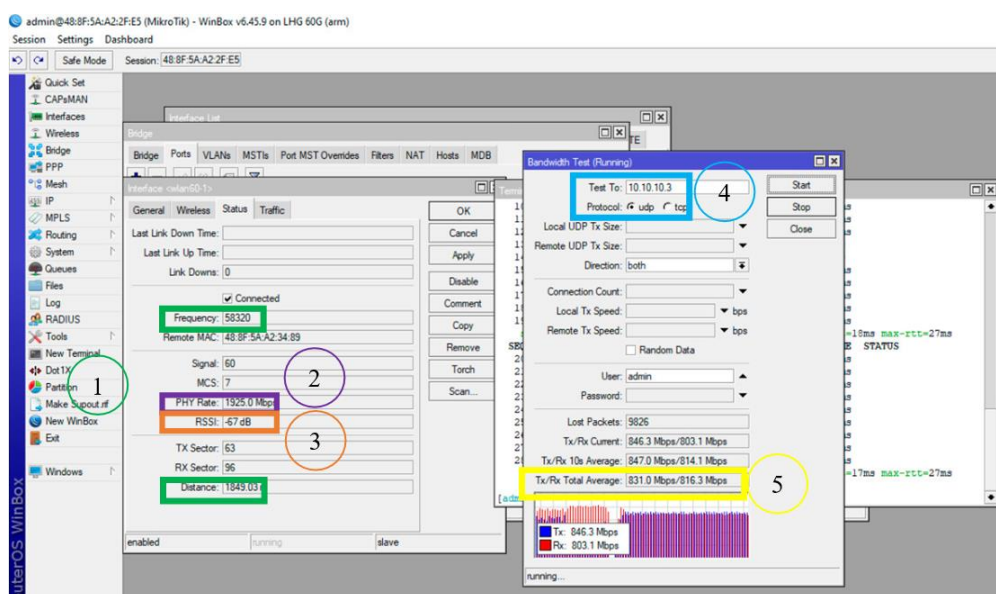


Figura 165.- Resultados del enlace inalámbrico Colonche-Repetidor.  
Imagen elaborada por el Autor

#### 4.4 ENLACE REPETIDOR-MANANTIAL DE COLONCHE

Al igual que la anterior prueba de enlace, la ubicación de los dispositivos fue determinado por la infraestructura existente y mostrada en la figura 166, se garantizar la línea de vista entre punto de interés, las condiciones mejoraron en este enlace, situación que fue reflejada en los resultados obtenidos.

**COORDENADAS:** *Manantial de Colonche (2°59'12.0"S 80°40'44.9"O); repetidor (Los Villaos) (2°00'01.40"S 80°40'21.0"O)*



*Figura 166.- Antena con localización en el punto de repetición.*

*Imagen elaborada por el Autor*

#### ANÁLISIS MATEMÁTICO

1. **LOS:** la distancia de comunicación máxima para el segundo tramo del enlace (repetido-Manantial de Colonche) considerando su altura en metros sobre el nivel de suelo; en las pruebas de campo se colocó las antenas a una altura de 4 m en Manantial de Colonche y 2 m en el lugar del repetidor.

$$r_{Colonche-repetidor} = \sqrt{17h_{Repetidor}} + \sqrt{17h_{Manantial}} = \sqrt{17(2)} + \sqrt{17(4)} = \mathbf{14.07 \text{ km}}$$

2. **Zona de fresnel:** se considera el mayor obstáculo a 0,38 km del repetidor, distancia estimada gracias al perfil de elevación en Google Earth mostrado en la figura 167.

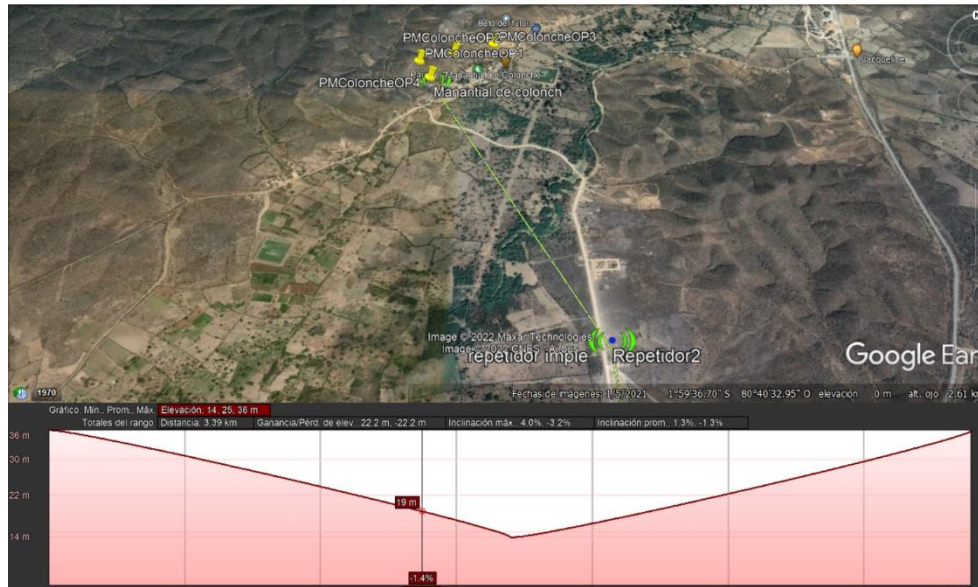


Figura 167.- Perfil de elevación del enlace repetidor- Manantial de Colonche.  
 Imagen elaborada por el autor

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = \sqrt{\frac{(1)(3 \times 10^8 / 60 \times 10^9)(380)(1310)}{380 + 1310}} = 1,21 \text{ m}$$

La distancia recomendable que debe existir entre la línea de vista y el obstáculo es del 60% de la primera zona de fresnel:  $0,6r_1 = 0,6(1,21) = 0,726 \text{ m}$ . En comparación a los datos obtenido en radio mobile en donde la peor zona de fresnel es 3,2 F1 de la primera zona (**3,87 m**) un valor superior a la calculada.

### 3. Perdida en el espacio libre:

Distancia de franhoufer:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{60 \times 10^9} = 5 \times 10^{-3}$$

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2(39.1 \times 10^{-3})^2}{3 \times 10^8 / 60 \times 10^9} = 611,5 \times 10^{-3}$$

$$L_{bs} = 92.44 + 20 \text{Log}(1,69) + 20 \log(60) = 132,56 \text{ dB}$$

Otros factores a considerar son:

- $L_m = 30 \text{ dB}$ .
- $L_{at}, L_{ar}$  = perdidas por acopladores, filtros y circuladores de transmisión y recepción (dB).
- $L_{tt}, L_{tr} = 0,5 \text{ dB}$ .

- $G_t, G_r =$  ganancia isotrópica de la antena de transmisión, recepción (dBi).
- $L_b = L_{bs} + L_m$  (perdida básica de propagación).  
 $L_b = 132,56 + 30 = \mathbf{162,56 dB}$ .
- $L_t = L_b - G_t - G_r$  (pérdida total por trayectoria).  
 $L_t = 162,29 - 42 - 42 = \mathbf{78,56 dB}$ .
- $L_{tc} = L_{at} + L_{tt}$  (perdidas por circuitos totales de transmisión) **10 dB**.
- $L_{rc} = L_{ar} + L_{tr}$  (perdidas por circuitos totales de recepción).  
 $L_{rc} 0,5 + 0,5 = \mathbf{1 dB}$

De esto se determina las pérdidas totales del sistema:

$$L_s = L_t + L_{tc} + L_{rc} = 78,56 + 10dB + 1dB = \mathbf{89,56 dB}$$

**Resumen:** el análisis matemático de LOS demuestra la viabilidad del sistema de radioenlace en función al perfil de relieve y los obstáculos (LOS despeja más del 60% de la 1er zona de fresnel), las pérdidas básicas de espacio libre calculado son igual al previsto por radio mobile (132,56 dB) mostrado en la figura 168 y 169, mientras que en las pérdidas totales se calcula el total de pérdidas menor al resultado obtenido por la simulación, justificable por valores de tolerancia atmosféricas más actuales que se consideraron para la banda de los 60 GHz.

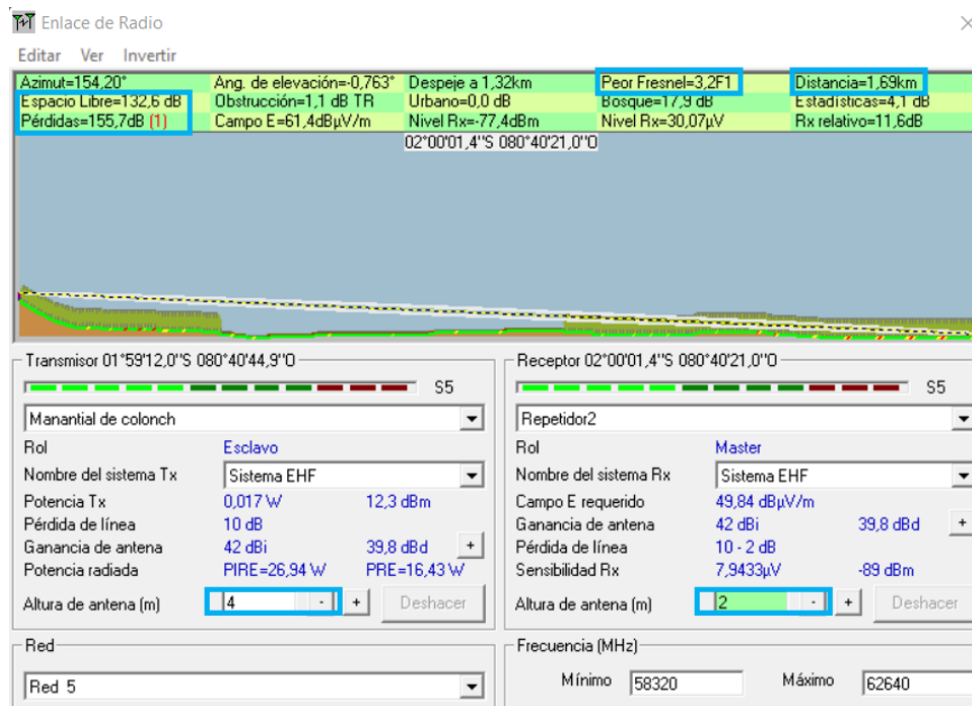


Figura 168.- Perfil de elevación de los puntos involucrados.

Imagen elaborada por el Autor



*Figura 169.- Antena con localización en el punto de repetición.*

*Imagen elaborada por el Autor*

Los resultados de la implementación son:

1. El sistema trabaja con la frecuencia de 58,32 GHz y el enlace se encuentra a una distancia de 1698,10 m.
2. PHY rate proporciona la estimación de rendimiento half-duplex con un valor de 1925 Mbps.
3. RSSI: El indicador de fuerza de la señal recibida es de -60 dB un valor bueno.

Para conocer el rendimiento de ancho de banda en tiempo real se emplea la herramienta “bandwidth test” (véase en la figura 170).

4. El test se hace desde la dirección 10.10.10.4 a 10.10.10.5 (equipos alámbricos ubicado a 1,69 km), para realizarla prueba se emplea el protocolo de datagramas de usuarios (UDP).
5. Tx/Rx total average muestra que la capacidad promedio en tiempo real del enlace en uplink y downlink es 876.7 Mbps/897, 1 Mbps respectivamente, de este valor se estima 1773,8 Mbps de throughput agregado.



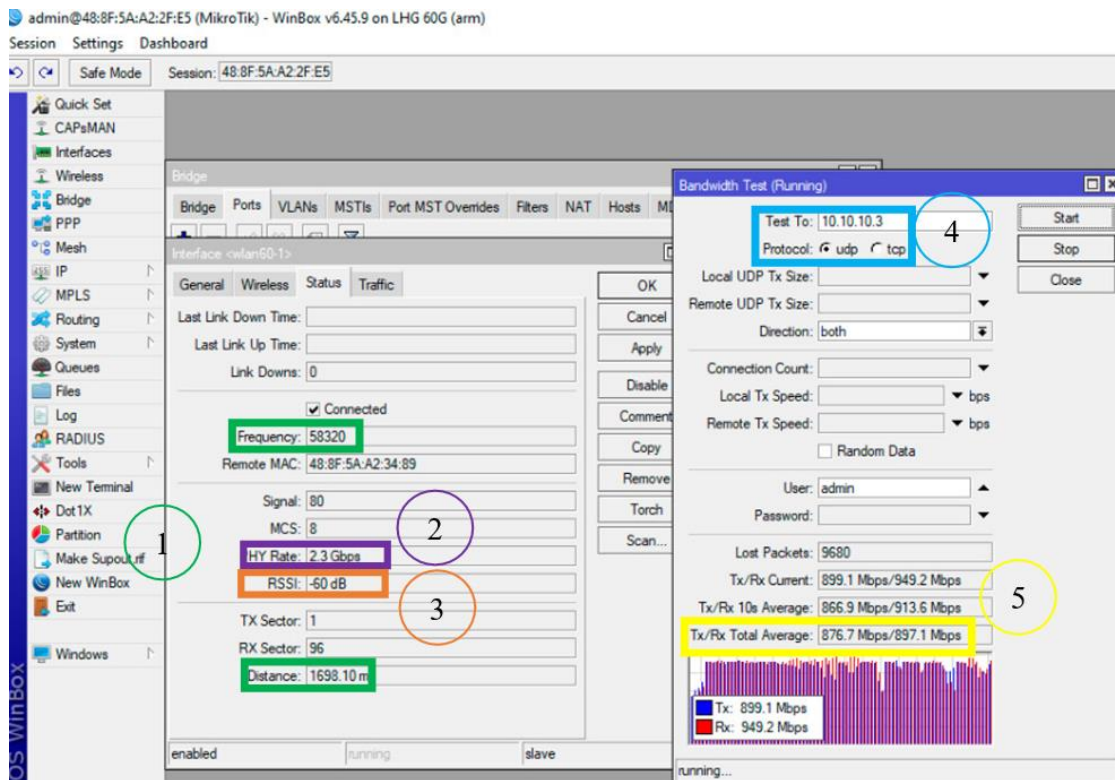


Figura 170.- Resultados del enlace inalámbrico M. Colonche-Repetidor.

Imagen elaborada por el Autor

#### 4.4.1 CONCLUSIÓN DE PRUEBA DE CAMPO

Las condiciones geográficas de los lugares involucrados para el éxito del proyecto, no impiden establecer comunicaciones entre los equipos, como se resalta en las características de esta banda de frecuencia “solo es necesario tener una línea de vista fuera de obstáculos”, los test de ancho de banda son muy buenos y pueden ser mejoradas con infraestructuras solidas de altura de 4 m como el mástil detallado en el capítulo 5 del presente trabajo; considerando un margen de error, se concluye que el sistema en total tiene una capacidad de throughput agregado promedio de 1,5 Gbps y es con este valor que se realizara el diseño de la red de distribución.

El sistema 802.11ad en comparación con otras tecnologías de conexión en exteriores que con más frecuencias son utilizados, destacan del medio alambico ADSL y GPON [82] y del grupo inalámbrico resaltan la familia 802.16 (WIMAX) y 802.11 (WIFI) [83], estas presentan diferencias significativas que son descritas en la siguiente tabla 22:

Sistemas de transmisión	Distancia	Tasa de transmisión	Costo de implementación
<b>GPON</b>	20 km – 60 km	1.2 Gbps - 2.5 Gbps	Alto
<b>ADSL</b>	1,4 km – 5,5 km	10 Mbps – 100 Mbps	Alto
<b>802.16</b>	5 km – 20 km	70 Mbps – 100 Mbps	Bajo
<b>802.11ac</b>	5 km – 20 km	600 Mbps - 1,33 Gbps	Bajo
<b>802.11ad</b>	1 km -2 km	2 Gbps – 7 Gbps	Bajo

Tabla 22.- Tecnologías de transmisión.

Elaborada por el Autor

En la tabla destacan los sistemas GPON y 802.11ad por la capacidad de transmisión de datos que ofrecen.

#### 4.5 DISEÑO MÁSTIL 4 M

El diseño del mástil es desarrollado bajo criterios de fabricación de SYSCOM TOWERS, una empresa que se define a sí misma como el distribuidor líder más importante en el área de telecomunicaciones y seguridad, Sus productos cuentan con certificaciones de calidad, principios y vocabulario (9000) establecida por la organización internacional de normalización (ISO), cuenta con certificación 9001:2015; los modelos de mástiles de SYSCOM TOWERS son de tipo telescópicos. Un mástil telescópico se caracteriza por estar compuesto de varios tubos de diámetros decrecientes (generalmente de sección circular) fabricados de aluminio o acero; la diferencia de diámetro permite que estos se deslicen uno dentro de otro, logrando una estructura compacta cuando se encuentran replegados, son de fácil despliegue y mantenimiento lo que los hace ideales para aplicaciones móviles, portátiles y fijas a nivel del suelo. Para definir el empleo de un mástil telescópico es esencial definir la altura que tendrá el mástil (cuando se encuentre extendida y retraída), peso, dimensiones y distribución de la masa (de los equipos que se ubicaran en la punta del mástil), características que suelen ser expresadas en las hojas de características de empresas fabricantes de estos equipos.

Los componentes del mástil de SYSCOM son los siguientes:

- Secciones de tubo galvanizado, cada una con 3 m de altura, pero con diámetros diferentes, según la altura que se desea alcanza y recomendaciones de la figura 171.



Figura 171.- Set secciones de mástiles.  
Imagen tomada de: syscom

- Base con opresores para soporte del mástil (véase en la figura 172 - 173).

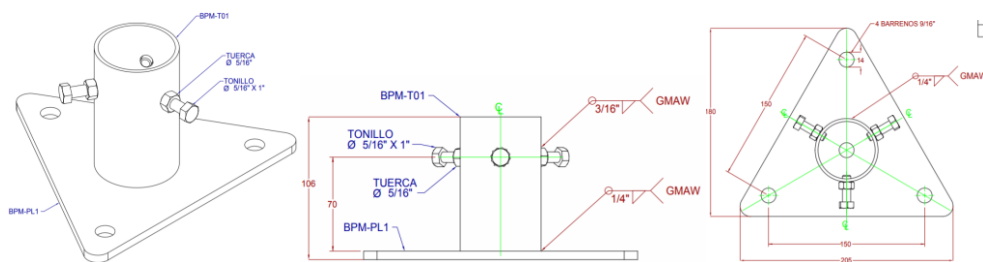


Figura 172.- Modelo del soporte del mástil.  
Imágenes tomadas de: syscom

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PESO KG.
1	BPM-T01	TUBO Ø 2" CED. 30	1	0.708768
2	BPM-PL1	PLACA 1/4"	1	1.06465
3	HNUT 0.3125-18-D-N		3	
4	HBOLT 0.3125-18x10.875-N		3	

Figura 173.- Medidas del soporte/base del mástil.  
Imagen elaborada por el autor.

- Bracket /abrazadera mostrado en la figura 174 empleado para sujeción de retenida 1'' a 2''.



Figura 174.- Abrazadera para sujeción de retenida.  
Imagen tomada de: syscom

- Guardacabos con cuello de 1/4'' (véase en la figura 175).



Figura 175.- Guardacabos.

*Imagen tomada de:syscom*

- Nudo de 3/16 para cable de retenida ilustrado en la figura 176.



*Figura 176.- Nudo de hierro meneable.  
Imagen tomada de: syscom*

- Cable de retenida 1/8'' - 7hilos (véase en la figura 177).



*Figura 177.- Cable de retenida.  
Imagen tomada de:syscom*

- Tensores galvanizados 1/4'' mostrado en la figura 178.



*Figura 178.- Tensor galvanizado.  
Imagen tomada de: syscom*

- Taquetes expansivos tipo Z de 3/8'' x 2'' (véase en la figura 179).



*Figura 179.- Taquete expansor.  
Imagen tomada de: syscom*

- Taquete expansivo con armella, cuya descripción gráfica y ubicación son mostradas en la figura 180.



Figura 180.- Taquete expansivo.  
Imagen tomada del sitio web "Amazon"

SYSCOM brinda el diagrama de instalación que según su criterio es el de mejor aplicación descritos en la figura 181, son empleando el material antes mencionado, así como enlista diferentes recomendaciones que se debe cumplir en la zona de instalación.

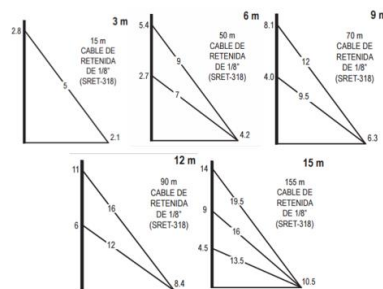


Figura 181.- Recomendaciones de instalación de mástil.  
Imagen tomada de: "syscom".

De las condiciones detalladas en la figura anterior, se deduce lo siguiente:

- Punto de anclaje 70% de la longitud del mástil=2,8 m.
- Altura de instalación de bridas 90%= 3,6.

El diseño final del mástil es de tipo retenida lateral de 4 m de altura, a criterio de los autores se mejoraron medidas y materiales destacados a continuación:

- Base para opresores cuadrado con tubo de 2" (interior) fabricado de acero inoxidable (véase en la figura 182).

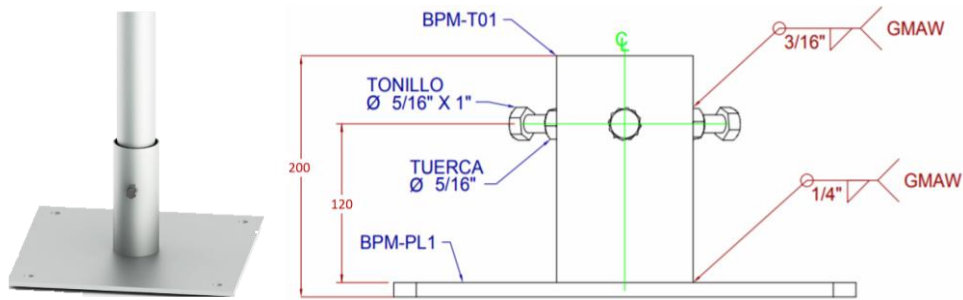


Figura 182.- Medidas de base para los opresores.  
Imagen elaborada por el autor.

- Tubo galvanizando de 2"
- Diagrama de amarres (véase en la figura 183).

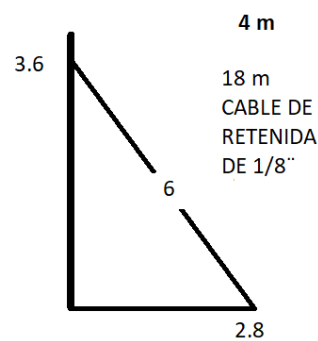


Figura 183.- Esquema de instalación de mástil.  
Imagen elaborada por el autor.

#### 4.5.1 IMPLEMENTACIÓN

El diseño del mástil que se recomienda para el presente proyecto ha sido elaborado e implementado en la UPSE como se muestra en la figura 184 y con el objetivo de observar la estabilidad del diseño y brindar una nueva herramienta al laboratorio de telecomunicaciones.

La ubicación de implementación es sobre el laboratorio de telecomunicación y los puntos de retenidas son los detallados anteriormente.



Figura 184.- Instalación de mástil sobre laboratorio de Telecomunicaciones.  
Imágenes tomadas por el autor.

## 4.6 RED DE PLANTA EXTERNA

En el diseño de la red de planta externa de fibra óptica se realizará en el sector “Manantial de Colonche”, ubicada al norte de cantón Santa Elena, parroquia Colonche, a continuación, se muestra en la figura 185.



Figura 185.- Manantial de Colonche.  
Imagen tomada de Google Earth

### Características del diseño

A continuación, se describirá la ubicación geográfica donde de los equipos que conforman la red de planta externa:

### Centro monitoreo y gestión de servicios

En el área de las telecomunicaciones se denomina central a un edificio, local o caseta que contiene los equipos de conmutación e instalaciones necesarias para la correcta operación de los servicios, entre los equipos activos más importantes en el presente proyecto se encuentra el router y la OLT; la central estará ubicada en el barrio Santa Carmen perteneciente al sector Manantial de Colonche con una longitud de  $1^{\circ}59'10.6''S$  y latitud de  $80^{\circ}$  como se puede observar en la siguiente figura 186.



Figura 186.- Ubicación de central.  
Imagen tomada de Google Earth

## Red de distribución

Para el diseño de red de distribución con una demanda proyectada de 120 usuarios, así mismo se ha proyectado el uso de cable aéreo de 12 hilos bajo las normativas ITU-T G652 según corresponda.

### Selección del tipo de cable de distribución de fibra óptica

Dentro de este aspecto, para el área de distribución se considera el tendido aéreo, creando rutas que alimentaran a la serie de NAPs proyectadas, por ende, teniendo en consideración la utilización de postes de hormigón se descarta los tipos de cable de fibra óptica subterráneo, dejando a consideración los siguientes cables aéreos:

- Cable Figura 8
- Cable OPGW
- Cable ADSS

A continuación, mediante la tabla 23, se encuentran detalladas las características de estos tipos de cables aéreos, de acorde a este se elegirá el cable de fibra óptica:

Características	Fig. 8	OPGW	Cable ADSS
Costo del producto	Medio	Alto	Bajo
Costo de instalación	Bajo	Alto	Bajo
Durabilidad	Alto	Alto	Alto
Instalación	Fácil	Fácil	Fácil
Mantenimiento	Fácil	Difícil	Fácil
Atenuación Max. 1500 nm (dB/Km)	≤0.35	0.35	≤ 0.24
Distancia de Tx.	100 m	10000 m	50 a 1800 m
Disponibles en fibras	SM/MM	SM	SM/MM
Cable dieléctrico	Si	No	Si
Resistencia a rayos	No	Si	Si

Tabla 23.- Comparación de cables aéreos de fibra óptica.  
Tabla elaborada por el autor.

Por lo antes mencionado, para este diseño de red de distribución (GPON) se elige el cable aéreo ADSS con fibra monomodo G652-D, debido a las consideraciones tomadas como el costo, instalación, entre otros.

### Caja óptica de distribución

Las cajas de distribución serán ubicadas en lugares estratégicos (por ejemplo, a mitad de cuadras, esquinas, etc.), las NAPs deberán ser instaladas en los postes existentes, cabe indicar que no se pueden utilizar postes que posean transformadores eléctricos, además, a una distancia mínima de 0.60 metros de los cables de baja tensión para evitar errores de seguridad industrial.



## Herrajes

Los herrajes se determinan dependiendo del diámetro del cable ADSS, no obstante, esta el spam que van a soportar también existe vanos corto, mediano y largo, las cuales varían dependiendo del agarre que deben poseer.

### 4.6.1 DISEÑO EN AUTOCAD

Para crear un diseño topográfico de la zona de trabajo, se emplea Google Earth, programa basado en superposiciones de imágenes satelitales e información geográfica de todo el mundo, este programa adiciona herramientas de integración de puntos, líneas y polígonos que se emplean para establecer el bosquejo de las áreas involucradas en el proyecto propuesto, a continuación, se tiene los siguientes pasos:

1. Establecer una carpeta de trabajo (véase en la figura 187).

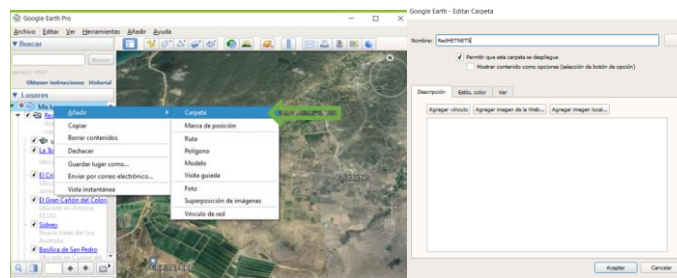


Figura 187.- Establecimiento de un espacio de trabajo.  
Ventana del interfaz de software captada por el autor

2. Marcar la posición de los elementos pasivos como se muestra en la figura 188, según sus coordenadas geográficas.

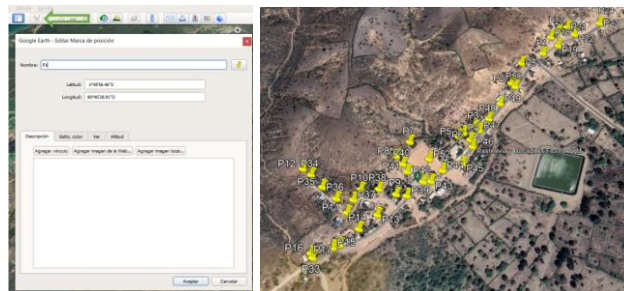


Figura 188.- Ubicación de elementos pasivos.  
Ventana del interfaz del software captada por el autor.

3. Delinear la rutas, calles, manzanas que se puedan observar en las imágenes satelitales correspondientes a la zona del proyecto (véase en la figura 189).



Figura 189.- Trazar de rutas y calles correspondiente a la zona de estudio.  
Ventana del interfaz del software captada por el autor.

4. Se guarda la carpeta por defecto con extensión “.kmz” y se realiza la conversión a extensión “.DXF” en la página “mygeodata” descrita en la figura 190.

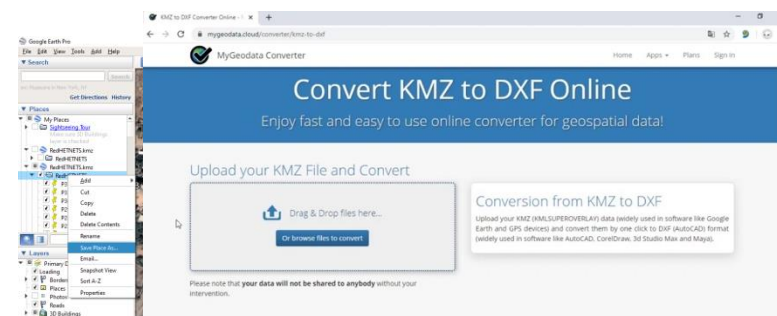


Figura 190.- Cambio de extensión de archivo en Google Earth.

5. De esta forma ya podemos abrir el diseño desde AutoCAD sin problemas (véase en la figura 191).



Figura 191.- Planimetría de manantial de colonche.  
Figura elaborada por el autor

La representación simbólica de lo elemento dentro del diseño de AutoCAD se encuentra referenciada por la siguiente tabla 24.

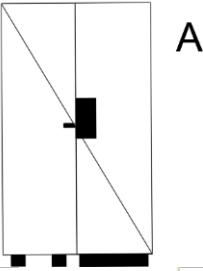

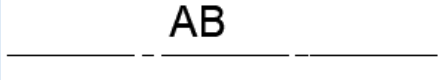
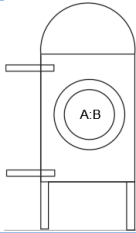

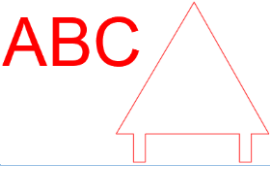
ELEMENTOS	SÍMBOLOS	ESTRUCTURA
Terminal de Distribución Óptica		A: Nombre
Poste		a: Tipo de material del poste b: Código de identificación/altura del poste c: Tipo de estructura
Cable Óptico Aéreo		A: Tipo de material B: Capacidad
Caja de distribución óptica (NAP)		A: Número de hilos de fibra óptica (IN). B: Número de hilos de fibra óptica (OUT).
SPLITTER		Identificador: Tipo de Dispositivo (Splitter). Tipo: Material de derivación (fibra óptica). Capacidad: Número de elementos de entrada y salida (In: Out).
Caja de empalme		A: Tipo de dispositivo (Empalme). B: Tipo de empalme (Derivativo). C: Numero de hilos.

Tabla 24.- Símbolos del diseño de red de planta externa.  
Tabla elaborada por el autor

La infraestructura eléctrica existente son el principal recurso que se representó y se analizó en el diseño, el estado de los postes es excelente, sin embargo, se consideró la inmersión de nuevas estructuras, esto debido a la distancia poco favorable para el propósito; en la figura 192, se puede observar los círculos con relleno azul son los postes ya existentes en la zona y los que no poseen relleno son los que se considera agregar.

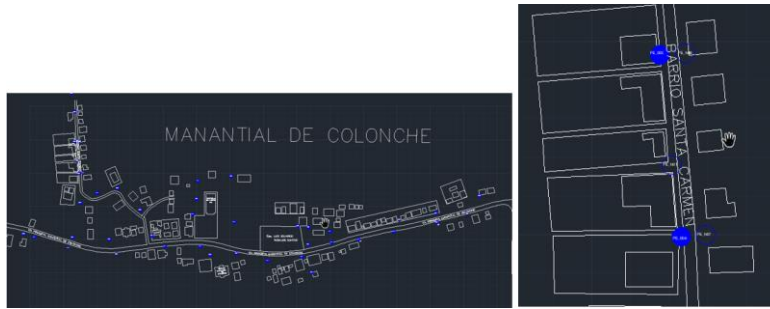


Figura 192.- Ubicación de poste existentes y nuevos.  
Imagen tomada de la ventana de trabajo de Autocad.

El tendido de fibra óptica se origina desde el armario óptico externo; se conoce que en el mercado existen cables aéreo ADSS de fibra monomodo de 144 H, 96 H, 72 H, 48 H, 24 H, 12 H, 6 H, 1 H; por lo que el diseño no puede presentar elementos imposibles de conseguir, el elemento derivativo también es limitado por la capacidad del mercado, en el diseño se observan Splitter de 1:16 e 1:2; en la siguiente figura 193, se detalla la ubicación y tipo de empalme que mejor se adapta a los criterios de los autores.

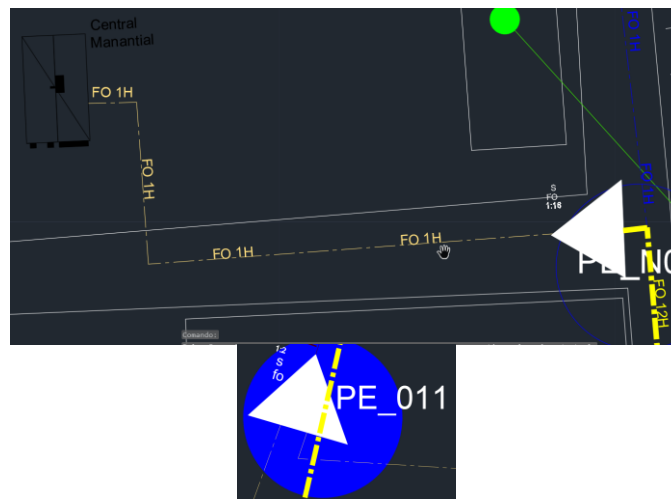


Figura 193.- Splitter de 1er y 2do Nivel.  
Imagen tomada de la ventana de trabajo de Autocad.

Para minimizar las pérdidas de potencia y garantizar el mejor escenario de balanceo de potencia en el sistema, se usan empalmes derivativos para ramificar un enlace puntual dentro del cable de N número de hilos; proceso también conocido como sangrado que es el último paso para extender el sistema a las NAP (véase en la figura 194).

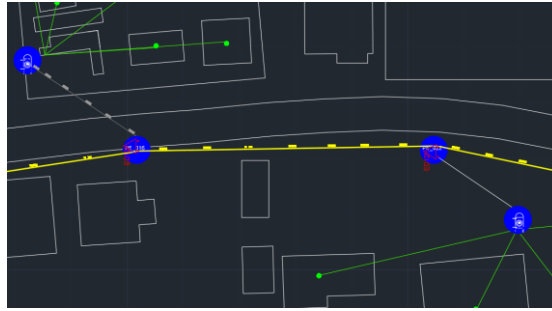


Figura 194.- Ubicación de empalmes (sangrado).  
Imagen tomada de la ventana de trabajo de Autocad.

Como parte final del diseño, en la figura 195, se muestra el recorrido del cable de acometida hasta los clientes potenciales (con servicios a través de un WISP) que se puede observar en el estudio de campo.



Figura 195.- Red de distribución GPON.  
Imagen tomada de la ventana de trabajo de Autocad.

## 4.7 OBLIGACIONES LEGALES

El espectro electromagnético según la ley orgánica de telecomunicaciones en el país, es un recurso de uso público y limitado por el estado el cual requiere de títulos habilitantes para su uso y explotación, estos otorgamientos son emitidos por la ARCOTEL; la última resolución de la ARCOTEL-2018 (índice 2) resuelve como banda de uso libre las frecuencias entre 57 - 64 GHz, rango cuya principal utilización son las redes de área local (RLAN) [84], cuya actividad se encuentra limitada por las recomendaciones de la UIT (REC. M1450-5) [85], y aunque la banda de frecuencia en la que se enfoca el presente trabajo (60 GHz) es no licenciada, es de carácter obligatorio registrar ante la ARCOTEL, el uso de equipos para realizar los enlaces inalámbricos, ya sea de forma privada o mediante concesión de empresa portadora.

Las empresas que requieran de implementar una red de última milla pueden ser legalizadas por una empresa que tenga derechos de concesión para portadora (ejemplo CNT), de esta manera la empresa portadora es la que realiza los trámites pertinentes para registra los circuitos o enlaces del ante la ARCOTEL; el acuerdo de respaldo es un valor agregado a la

contratación de una canal para acceso a internet y esta se debe realizar con la misma empresa. El amparo de última milla para la reventa de servicios se encuentra respaldado en el art.33 del reglamento general a la ley orgánica de telecomunicaciones [86]; se encuentra prohibido que un ISP ofrezca servicios a través de sus propias líneas de acceso sin poseer permiso habilitante de alguna empresa portadora.

La información técnica a presentar para el trámite de obtención de un título habilitante para el uso determinado de una banda libre (UDBL) se la realiza mediante el aplicativo para la validación de información (AVIS), software desarrollado por la ARCOTEL para optimizar el proceso, recursos y lograr mejor eficiencia institucional [87]; a continuación, se detallan lo necesario:

- Formulario de información legal: datos generales del peticionario, representante legal, persona jurídica, últimas reformas, etc.
- Formulario de estructuras: código de la estructura, tipo, altura sobre el nivel de mar, coordenadas geográficas, provincia, cantón, parroquia, localidad y numero de nodos/abonado.
- Formulario de antenas: rango de frecuencia, marca, modelo, tipo, ganancia, polarización, impedancia, diámetro, altura base-antena, azimut, ángulo de elevación.
- Formulario de equipos: tipo de estación, marca, modelo, distancia entre Tx y Rx, tipo de modulación, velocidad de transmisión, ancho de banda, máxima desviación de frecuencia, rango, potencia.
- Formulario de enlaces P-P: códigos de identificación para las estaciones, frecuencias, ancho de banda, polarización, modo de operación, tipo de modulación.
- Formularios de enlaces P-M: códigos de identificación para las estaciones, frecuencias, ancho de banda, polarización, modo de operación, tipo de modulación.
- Formularios RNI: nombre de la empresa, límites poblacional, densidad de potencia, cálculo del PIRE [87].

## CAPITULO V CONFIGURACIÓN DE RED

A continuación, en la figura 196, se observa el diseño o esquema de la red y se detallaran las configuraciones necesarias para establecer comunicación entre los equipos:

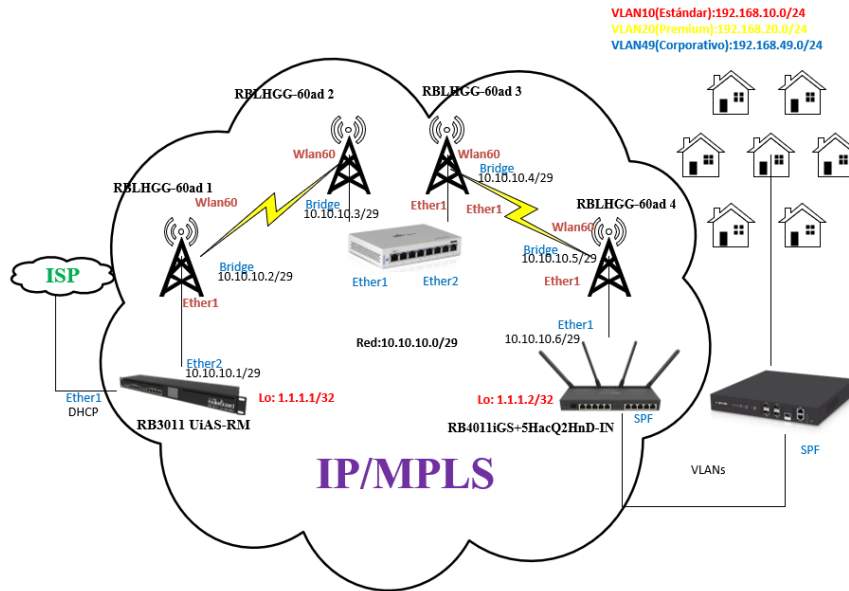


Figura 196.- Esquema de la red HETNETS.  
Imagen elaborada por el autor.

Los equipos se conectan a una computadora a través del puerto ethernet, para su gestión y configuración Mikrotik proporciona un software con interfaz gráfica muy intuitiva llamada “WinBox”, esta aplicación permite a los usuarios administra los equipos de forma sencilla y rápida, como se puede observar en la figura 197.

1. Neighbors: en esta sección de la ventana se muestra de manera automática los dispositivos Mikrotik detectados, se exponen detalles de MAC address, IP, identity, versión y modelo propias de cada dispositivo.
2. Una vez que encontramos el dispositivo de interés en la sección neighbors se selecciona e introduce los identificadores de acceso (login/password), para equipos de fabrica estos son “admin” y “” respectivamente.

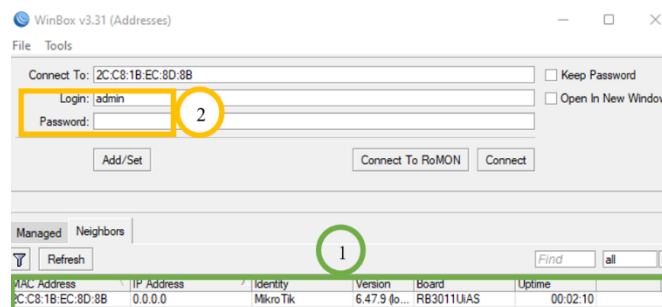


Figura 197.- Interfaz gráfica del software WinBox.  
Ventana del software WinBox captado por el autor.

## 5.1 RB3011 UiAS-RM

Tendrá el papel de administrar la comunicación entre el ISP y la antena que iniciará el enlace inalámbrico. Lo primero a establecer es un identificador del equipo, el router tendrá la etiqueta “Router\_Administrativo”, como se puede ver en la figura 198.

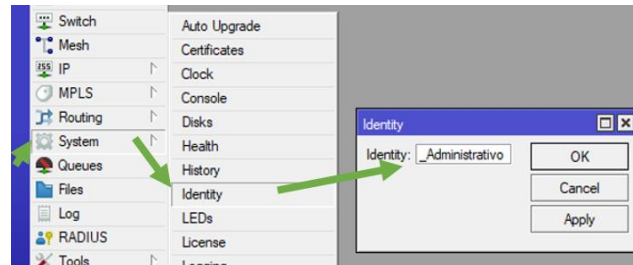


Figura 198.- Identificador del router RB3011 UiAS-RM.  
Ventana del software WinBox captada por el autor.

En la figura 199, se observa los pasos a emplear para organizar las funciones de las interfaces del dispositivo, estos resaltan mediante identificadores (etiquetas):

1. El puerto ether1 es el puerto en donde se establecerá comunicación con el proveedor de servicio de internet y al cual se le asigna la etiqueta de “WAN\_ISP”.
2. El puerto ether2 se reserva para conectar la antena LHGG-60ad y cuya etiqueta es “RBLHG60\_Enlace”.

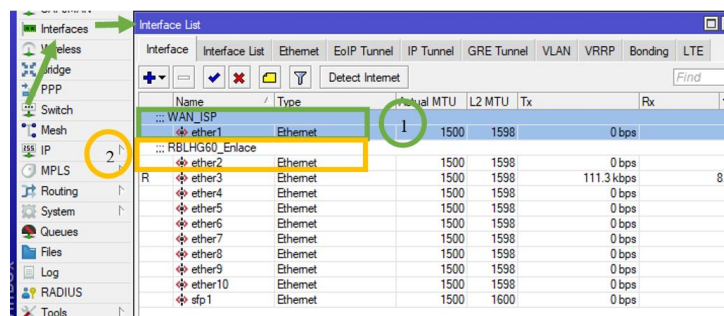


Figura 199.- Etiquetas de las interfaces del router administrativo.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

La interfaz dirección ether1 por su función de comunicación con el ISP, a esta se asignará una dirección IP de forma dinámica; para configurar esto se crea un DHCP para el puerto ether 1, para ello es necesario activar el servicio “DHCP Client” en donde también se establecerá el sistema de nombres de dominio (DNS) y la ruta al gateway del proveedor, a continuación, en la figura 200 se puede observar los pasos a emplear y también se detallan la configuración a realizar:

1. Identifica la interfaz de configuración (ether1).



- Habilita el uso de un sistema dominio (DNS), necesario para la traducción de dominios de direcciones del protocolo de internet (IP) y poder atribuir los recursos de internet.
- Habilita el uso del protocolo de tiempo de red (NTP), usado para sincronizar los sistemas informáticos involucrados en la red.

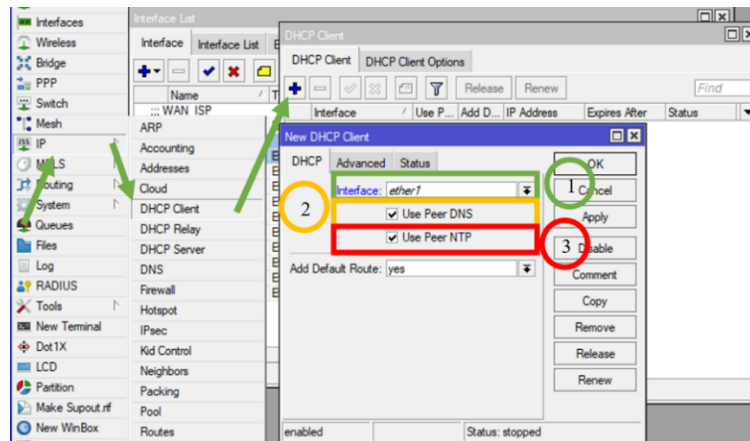


Figura 200.- Asignación de dirección IP al puerto.  
Ventana del software WinBox captada por el autor.

En la siguiente figura 201, esta la configuración que se establece a un servidor alternativo DNS (google) con el fin de obtener mejores ventajas ante los servicios DNS del operador, entre las que destacan una mayor velocidad de traducción del dominio al que se desea acceder, control parental (filtración de acceso a sitios WEB), mayor fiabilidad, estabilidad; beneficios obtenidos principalmente al saltar restricciones establecidos por ciertos operadores.

- Se asigna el o las direcciones IP del servidor DNS que se desea agregar, en este caso se emplea los de google por su gran infraestructura de servidores que permiten una mayor velocidad de respuesta.
- Se agregan de manera dinámica por el proveedor de servicio de internet (ISP).

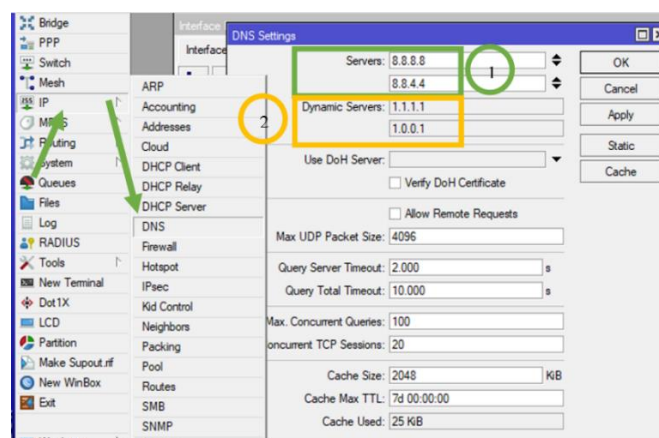


Figura 201.- Configuraciones del servidor alternativo DNS.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

La asignación de direcciones IP del puerto en donde se conectará la antena para el enlace inalámbrico debe tener una IP estática, asignada de forma manual por el diseñador de la red; en WinBox este proceso se la realiza en la ventana “address list” en donde se crea una nueva asignación con los siguientes parámetros como se puede observar en la figura 202:

1. Se ingresa la dirección IP seguida de la máscara de red, en este caso se asigna la IP “10.10.10.1/29”.
2. Es red a la que pertenece la dirección IP colocada.
3. Es la interfaz a la que estará vinculada la dirección IP a crear.
4. Esta dirección se asignó de forma dinámica (D) por el ISP que se encuentra conectado al puerto Ether1.

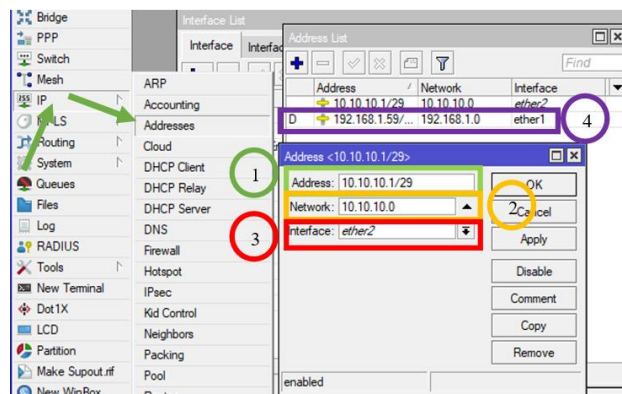


Figura 202.- Asignación de dirección IP manual.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

El siguiente paso es crear la regla de traducción de direcciones de red (NAT), esta herramienta enmascara las direcciones IP privadas permitiendo comunicarse a internet mediante dirección pública y evitando el acceso externo a nuestra red; esta función se la encuentra en la ventana firewall como se puede observar en la figura 203.

1. Chain: cadena que describe la conexión, se establece una cadena de origen NAT (srcnat) con la que el enrutador reemplaza las direcciones de origen privada de un paquete IP con una IP pública para que pueda viajar por el enrutador.
2. Se establece la interfaz de salida para paquetes que han sido procesador por el enrutador.
3. La acción “masquerade” se usa en situaciones donde la IP publica cambia aleatoriamente, en el presente caso se emplea esta acción porque el puerto ether1 está configurado como servidor DHCP esto quiere decir que ante una desconexión se obtiene una IP diferente.

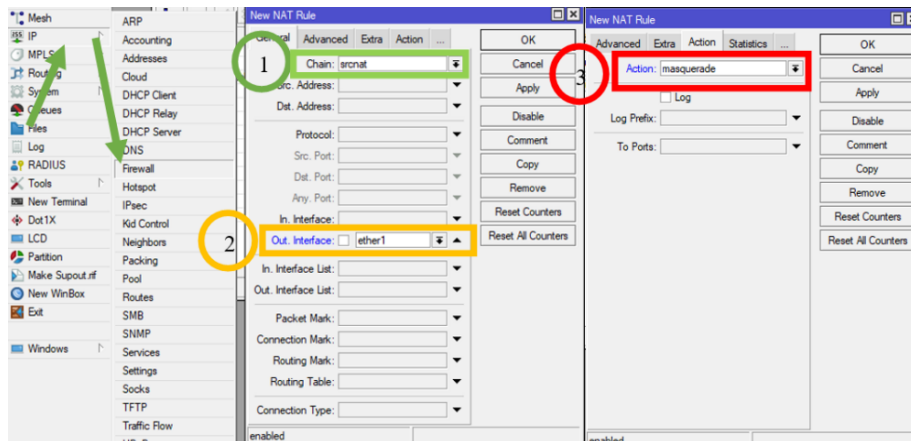


Figura 203.- Crear "New NAT Rule".

Ventana del software WinBox captada por el autor

### 5.1.1 SEGURIDAD

Los sistemas de telecomunicaciones siempre están expuestos a ser vulnerados, es muy importante considerar las siguientes recomendaciones.

- Establecer una credencial de acceso para usuario personalizados (LER3011) con contraseña fuertes (LabUpseRB3011), siguiendo los pasos que se pueden observar en la figura 204.

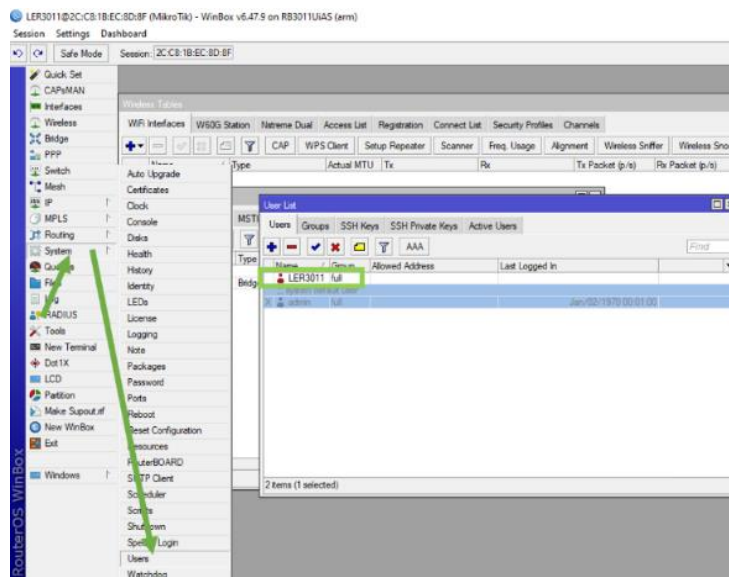


Figura 204.- Lista de usuarios.

Ventana del software WinBox captada por el autor

- En la figura 205, se puede observar los pasos a seguir para omitir conexiones remotas no seguras:
  1. Desactiva métodos de acceso administrativo del enrutador.
  2. **SSH** es un software de seguridad que conectarse a al servidor sin necesidad de contraseña.

**WinBox** permite gestionar el enrutador desde equipos perteneciente a la red 10.10.10.0/29.

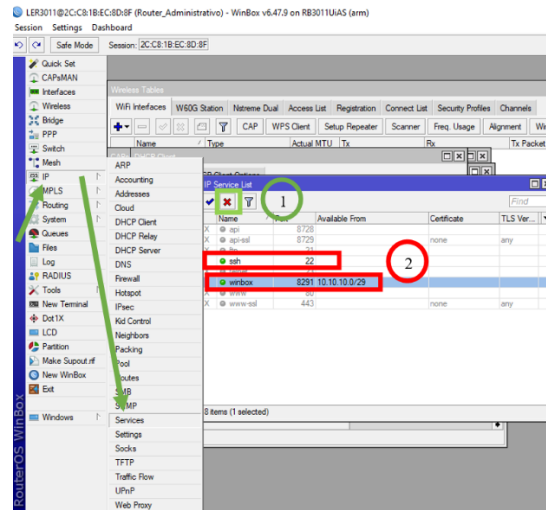


Figura 205.- Establecer credenciales de acceso al router.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

### 5.1.2 MPLS

En la siguiente figura 206, se observa los pasos para la configuración MPLS, para ello se recomienda crear y asignar una dirección de loopback en los routers de bordes:

1. Una interfaz loopback se crea a través de un bridge (puente) a la que no se vincula ninguna interfaz.
2. Al loopback creado se asigna la dirección IP única 1.1.1.1/32.

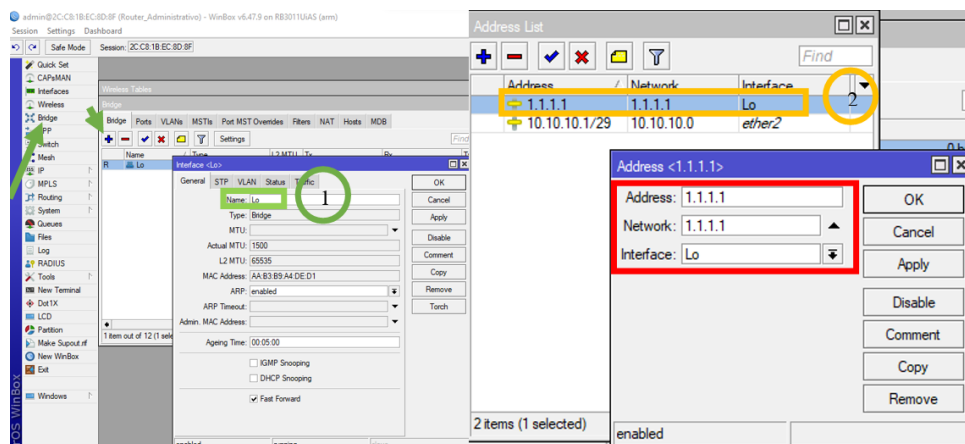


Figura 206.- Asignación de dirección de Loopback.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

La primera condición a cumplir para establecer MPLS es habilitar el protocolo OSPF en los routers de bordes del enlace estableciendo.

1. Se emplea el identificador de loopback único del enrutador, como se muestra en la figura 207.

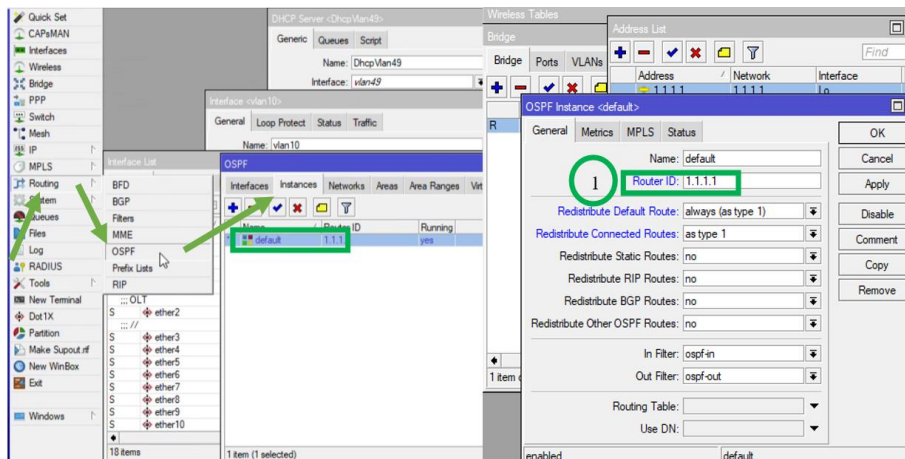


Figura 207.- Habilitar protocolo OSPF.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

2. En la siguiente figura 208, se identifican los enlaces adyacentes al enrutador.

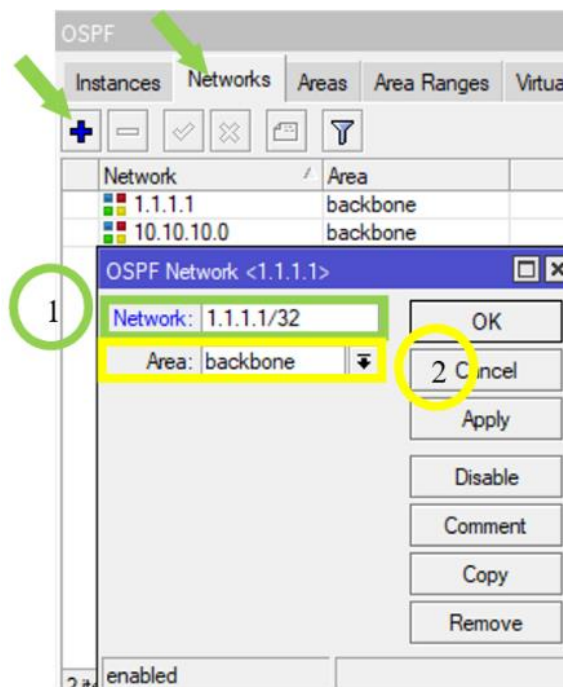


Figura 208.- Enlaces adyacente protocolo OSPF.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

El siguiente paso es habilitar el protocolo de distribución de etiquetas de MPLS como se muestra en la figura 209:

1. Habilita LDP para la gestión de etiquetas.
2. Se introduce el identificador del router de distribuido de etiquetas (LSR).
3. La IP por la que se transportara los paquetes con etiquetas es el loopback.

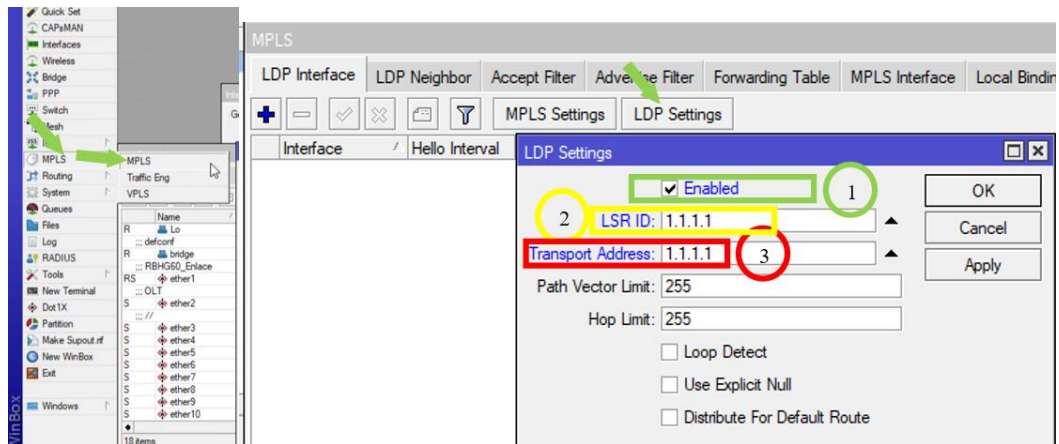


Figura 209.- Habilitación del protocolo de distribución de etiquetas.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

Se continúa, identificando cada interfaz que establecen enlaces dentro de la nube MPLS (véase en la figura 210).

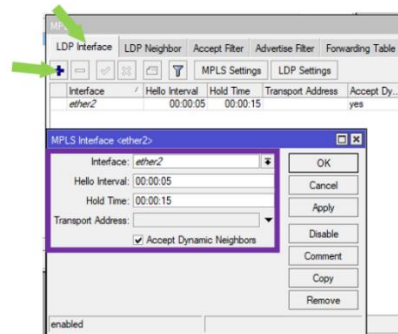


Figura 210.- Identificación del puerto.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

## 5.2 RBLHGG-60ad 1

Este equipo establece un enlace inalámbrico con otros dispositivos del mismo tipo RBLHGG-60ad, el primer paso es ingresar a la interfaz de WinBox, como se muestra en la figura 211.

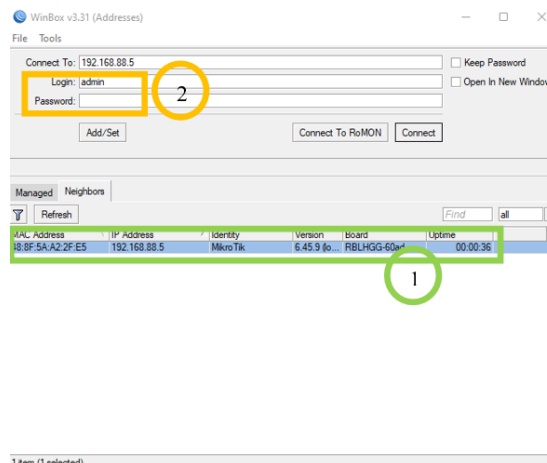


Figura 211.- Interfaz winbox LHG-60ad.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

Para habilitar la interfaz inalámbrica que este dispositivo incorpora se siguen los siguientes pasos, como también se puede observar en la figura 212:

1. Se selecciona el menú interfaz.
2. Abrimos la pestaña “W60G”.
3. Seleccionamos la interfaz inalámbrica wlan60-1.
4. El botón habilita la interfaz seleccionada.

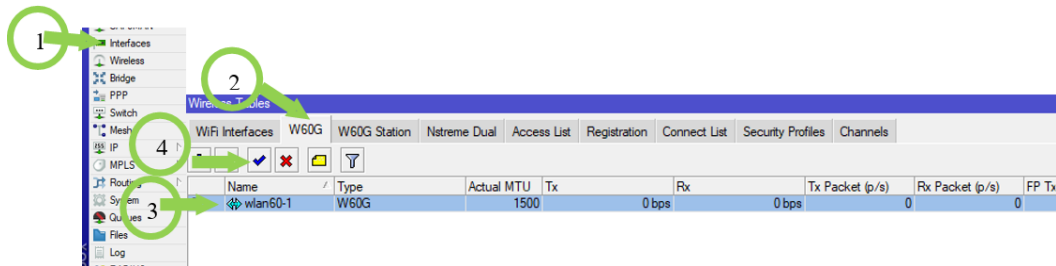


Figura 212.- Interfaz de inicio de WinBox.

Ventana del software WinBox captada por el autor

Los siguientes pasos que se observan en la figura 2013, a continuación, son para establecer un puente (bridge) compuesto del único puerto ethernet del dispositivo y el puerto inalámbrico; estos pasos tienen el objetivo de gestionar de manera conjunta las direcciones del enlace:

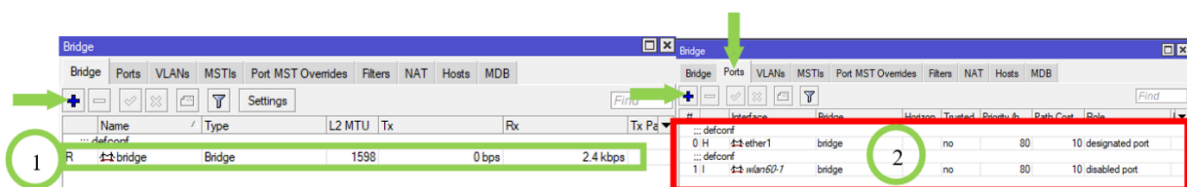


Figura 213.- Establecimiento del puente (Bridge).

Ventana del software WinBox captada por el autor

El bridge anteriormente creado que le asigna la dirección IP “10.10.10.2/29” (véase en la figura 214):

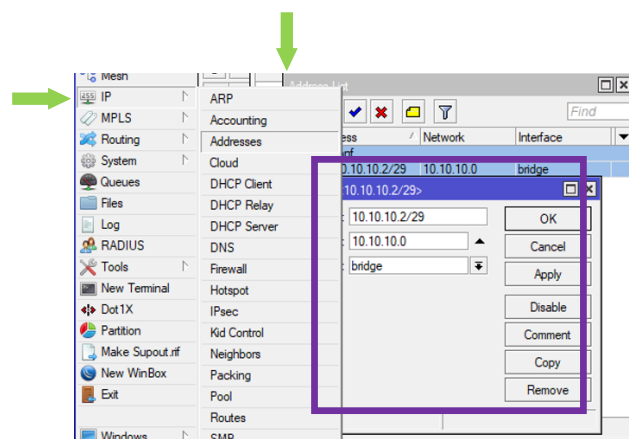


Figura 214.- Dirección IP asignado del bridge anterior.

Ventana del software WinBox captada por el autor

En la figura 215, se muestra el modo de configuración inalámbrica del presente dispositivo, este se limita por el tipo de licencia que admite (level 3), estos modos son “bridge” y “station bridge” cuya descripción y pasos necesarios para su correcto funcionamiento se describen a continuación:

1. Dispositivo transmisor se establece el modo bridge (integra 2 redes separadas físicamente) y brinda un enlace transparente.
2. El método de asignación de frecuencia se la configura en automático, gracias al algoritmo de rendimiento de Mikrotik, el dispositivo asigna la mejor banda de frecuencia en función de las condiciones de implementación.
3. Se le asigna un identificador SSID: MikroTik60GHzA, usado para reconocer el dispositivo en el escaneo de señales.
4. La contraseña: UpseEnlaceA, es empleada para permitir el acceso y conexión.

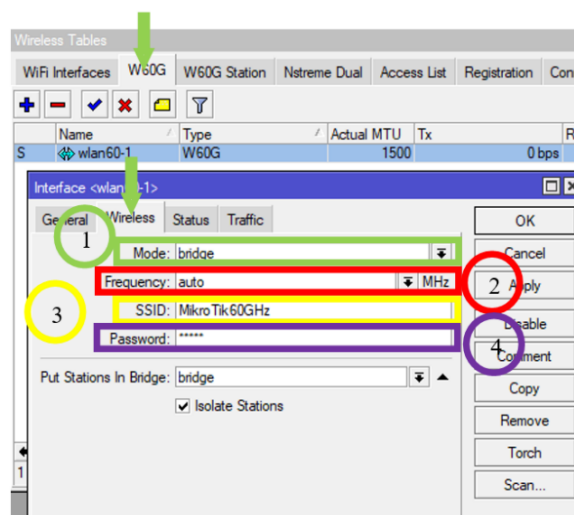


Figura 215.- Configuración del modo inalámbrico.  
Ventana del software WinBox captada por el autor.

Se debe establecer una ruta a la puerta de enlace del router (10.10.10.1) para establecer la comunicación con el dispositivo que se conectara de manera inalámbrica, para realizar este proceso se muestra en la siguiente figura 216:

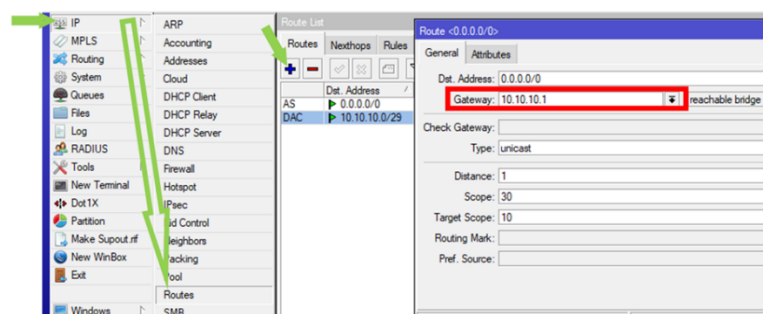


Figura 216.- Establecer ruta del puerto de enlace del router.  
Ventana del software WinBox captada por el autor



### 5.2.1 SEGURIDAD

- Usuarios personalizados (LHG60enlaceA), contraseñas fuertes (LabUpseEnlaceA) y omitir conexiones remotas no seguras.

### 5.3 RBLHGG-60ad 2

El primer paso en este dispositivo, se muestra en la figura 217, esta se configura la estación cliente y al igual que el anterior dispositivo se configura lo siguiente:

1. Se crea un bridge.
2. Al bridge se asigna los puertos ether1 y el puerto inalámbrico.

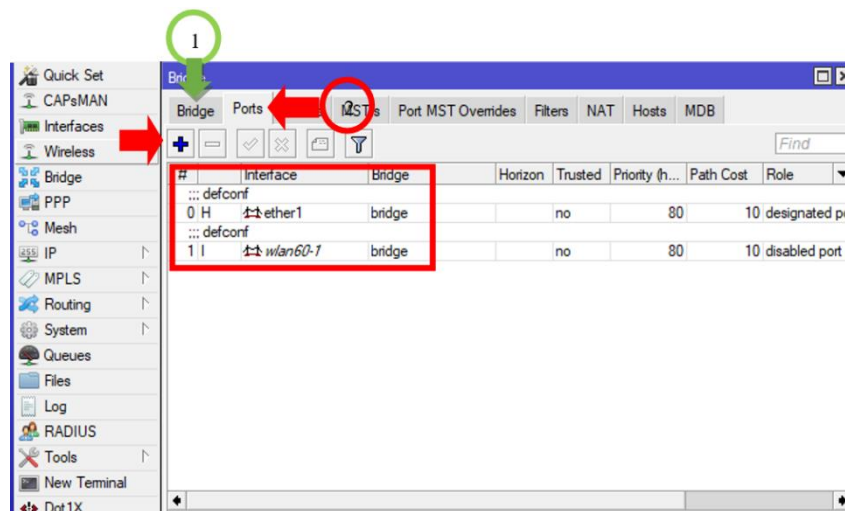


Figura 217.- Configuración bridge.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

El bridge anteriormente creado que le asigna la dirección IP “10.10.10.3/29” (véase en la figura 218):

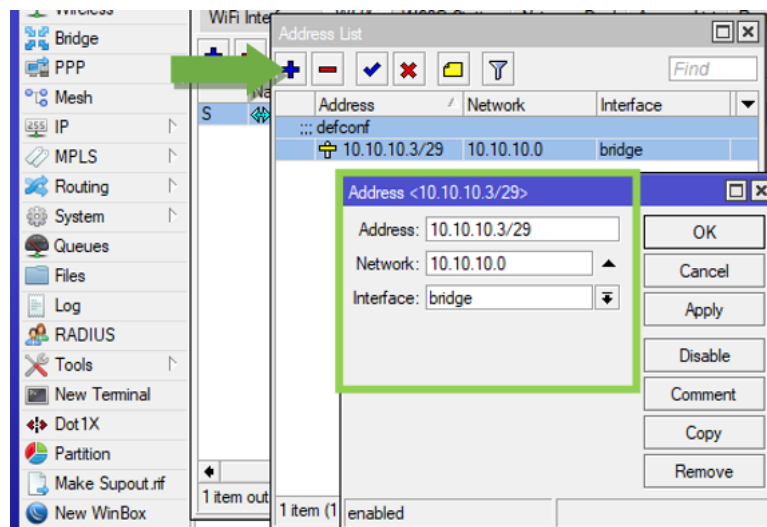


Figura 218.- Dirección IP al bridge.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

El siguiente paso es configurar el método de establecer enlace inalámbrico se puede observar en la figura 219:

1. Dispositivo se establece el modo “station bridge” que brinda un enlace transparente.
2. Se introduce el SSID que se asignó al equipo que se desea conectar (MikroTik60GHzA).
3. Se introduce la contraseña del equipo a conectar (UpseEnlaceA).

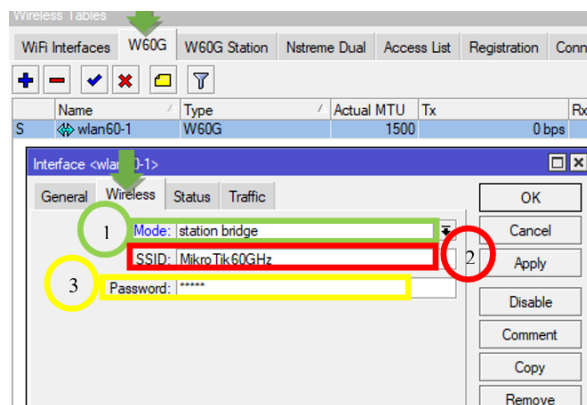


Figura 219.- Configuración de estación cliente.  
Ventana del software WinBox captada por el autor.

Se debe establecer una ruta a la puerta de enlace del router (10.10.10.1) para establecer la comunicación con el dispositivo que se conectara de manera inalámbrica, para realizar este proceso se muestra en la siguiente figura 220:

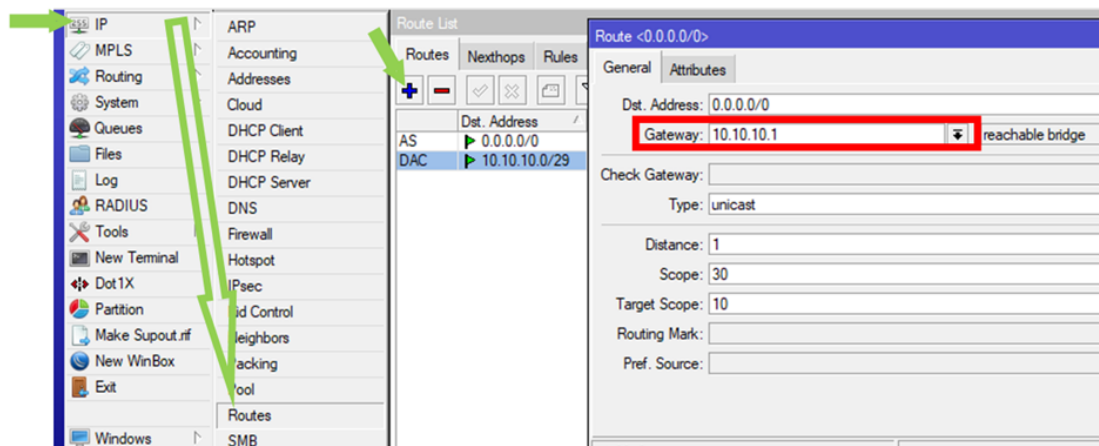


Figura 220.- Establecer ruta del puerto de enlace del router.  
Ventana del software WinBox captada por el autor.

### 5.3.1 SEGURIDAD

- Usuarios personalizados (LHG60enlaceA), contraseñas fuertes (LabUpseEnlaceA) y omitir conexiones remotas no seguras.

## 5.4 RBLHGG-60ad 3

A continuación, se enlistará los siguientes pasos para la configuración del equipo, y se puede apreciar en la figura 221, los pasos a seguir.

1. Se crea un bridge.
2. Al bridge se asigna los puertos ether1 y el puerto inalámbrico.

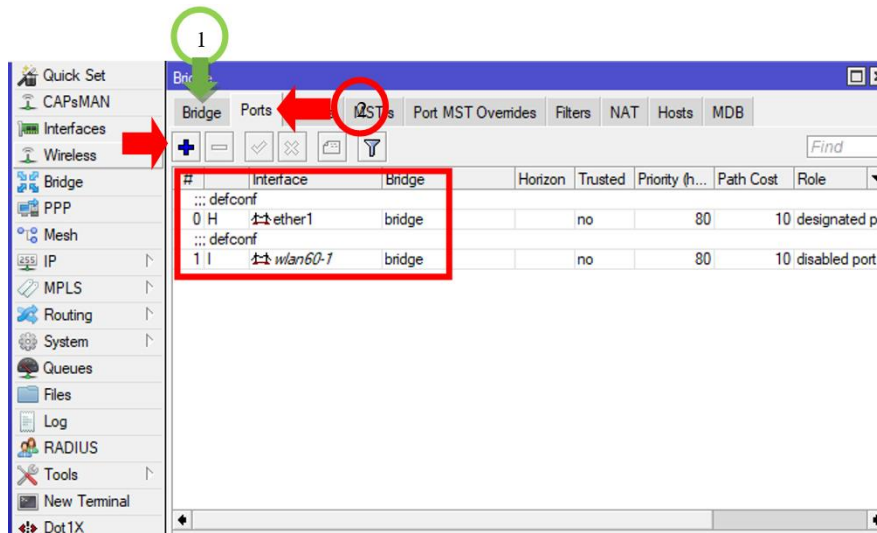


Figura 221.- Configuración bridge.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

El bridge anteriormente creado que le asigna la dirección IP “10.10.10.4/29” (véase en la figura 222):

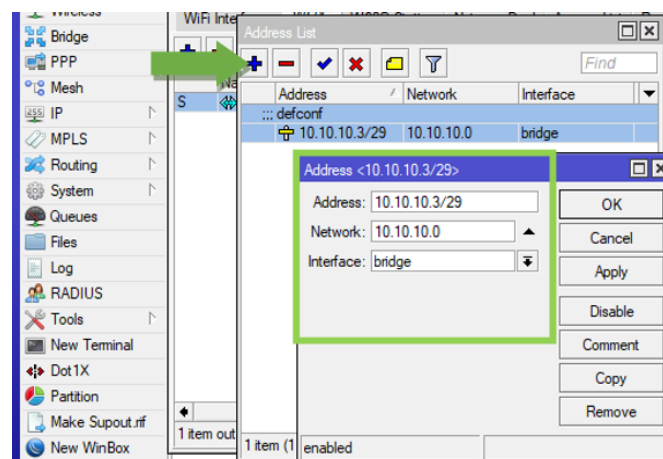


Figura 222.- Dirección IP al bridge.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

En la figura 223, se describe la configuración del canal inalámbrico:

1. Dispositivo transmisor se establece el modo bridge.
2. El método de asignación de frecuencia se la configura en automático.

3. Se le asigna un identificador SSID: MikroTik60GHzB, usado para reconocer el dispositivo en el escaneo de señales.
4. La contraseña: UpseEnlaceB, es empleada para permitir el acceso y conexión.

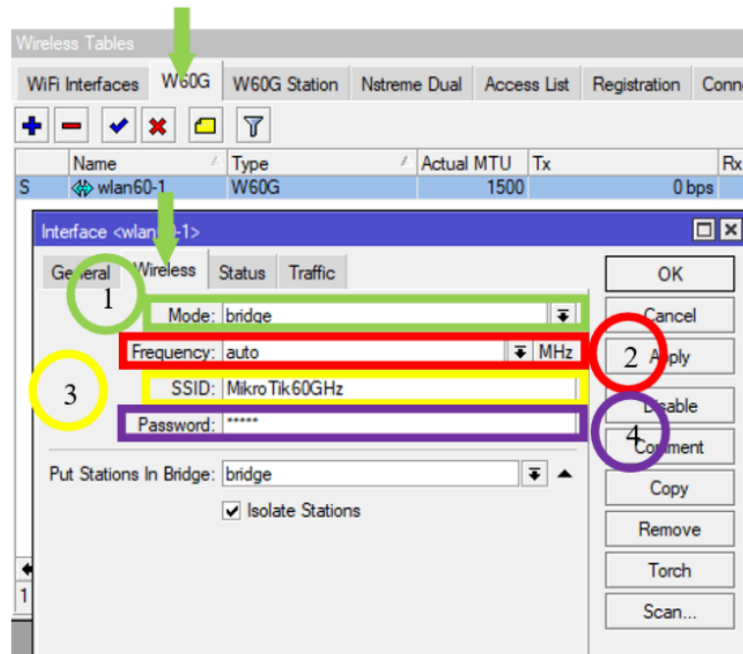


Figura 223.- Configuración del modo inalámbrico.  
Ventana del software WinBox captada por el autor.

Se debe establecer una ruta a la puerta de enlace del router (10.10.10.1) para establecer la comunicación con el dispositivo que se conectara de manera inalámbrica, para realizar este proceso se muestra en la siguiente figura 224:

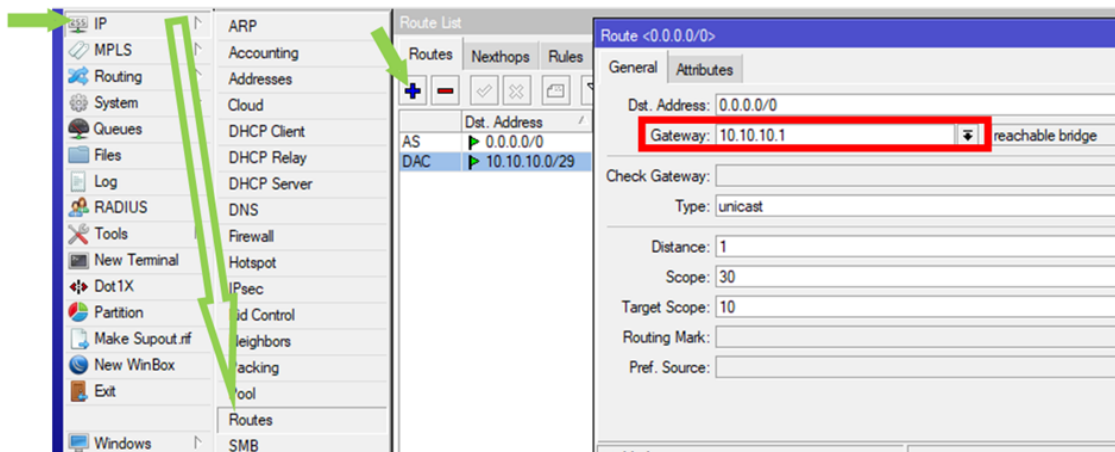


Figura 224.- Establecer ruta del puerto de enlace del router.  
Ventana del software WinBox captada por el autor.

### 5.4.1 SEGURIDAD

- Usuarios personalizados (LHG60enlaceB), contraseñas fuertes (LabUpseEnlaceB) y omitir conexiones remotas no seguras.

### 5.5 RBLHGG-60ad 4

El primer paso en este dispositivo es configura la estación cliente y al igual que en el anterior dispositivo se configura lo siguiente como se observa en la figura 225:

1. Se crea un bridge.
2. Al bridge se asigna los puertos ether1 y el puerto inalámbrico.

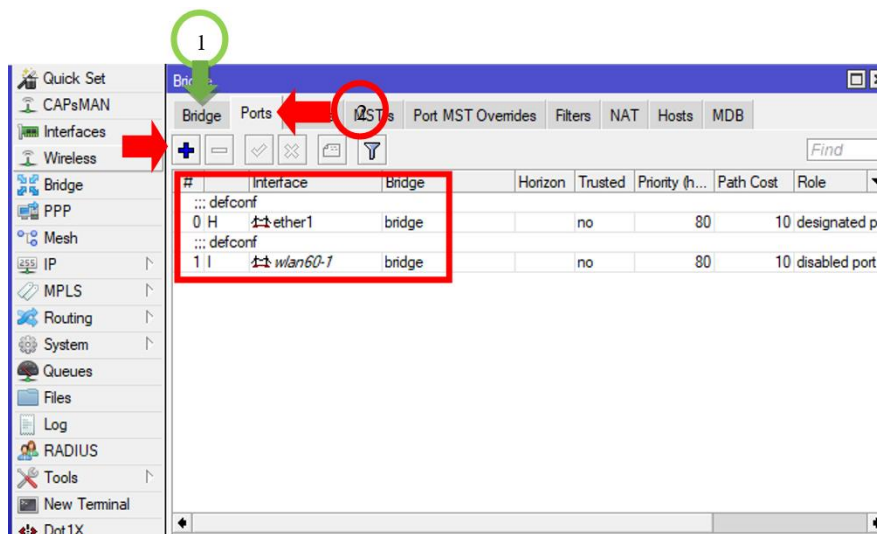


Figura 225.- Configuración bridge.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

El bridge anteriormente creado que le asigna la dirección IP “10.10.10.5/29” (véase en la figura 226):

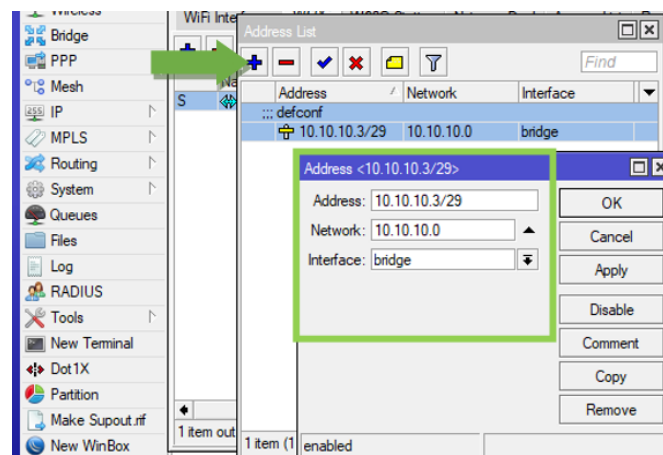


Figura 226.- Dirección IP al bridge.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

La siguiente figura 227, muestra el paso para configurar el método de establecer un enlace inalámbrico:

1. Dispositivo se establece el modo “station bridge” que brinda un enlace transparente.
2. Se introduce el SSID que se asignó al equipo que se desea conectar (MikroTik60GHzB).
3. Se introduce la contraseña del equipo a conectar (UpseEnlaceB).

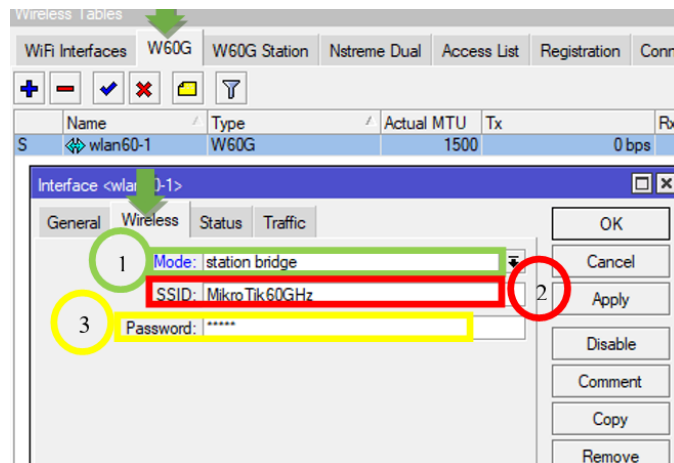


Figura 227.- Configuración de estación cliente.  
Ventana del software WinBox captada por el autor.

Se debe establecer una ruta a la puerta de enlace del router (10.10.10.1), para establecer la comunicación con el dispositivo que se conectara de manera inalámbrica, para realizar este proceso se muestra la siguiente figura 228:

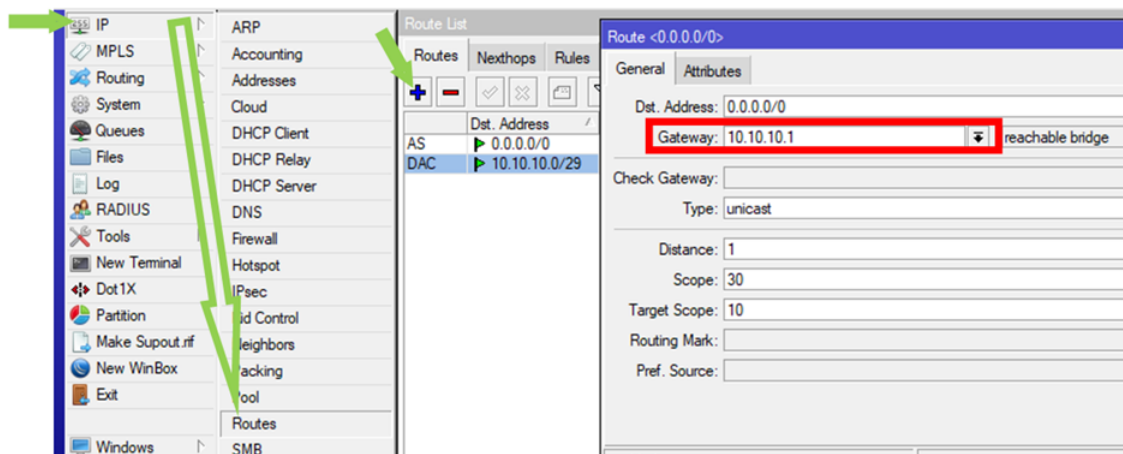


Figura 228.- Establecer ruta del puerto de enlace del router.  
Ventana del software WinBox captada por el autor.

### 5.5.1 SEGURIDAD

- Usuarios personalizados (LHG60enlaceB), contraseñas fuertes (LabUpseEnlaceB) y omitir conexiones remotas no seguras.

### 5.6 RB4011iGS

Tiene el papel de administrar la comunicación entre el enlace inalámbrico en la banda de los 60 GHz y el OLT que administrará la red de distribución. Al igual que los anteriores dispositivos, como se puede observar en la figura 229, los requerimientos de autorización a la configuración son los mismos (login: admin; password: “”).

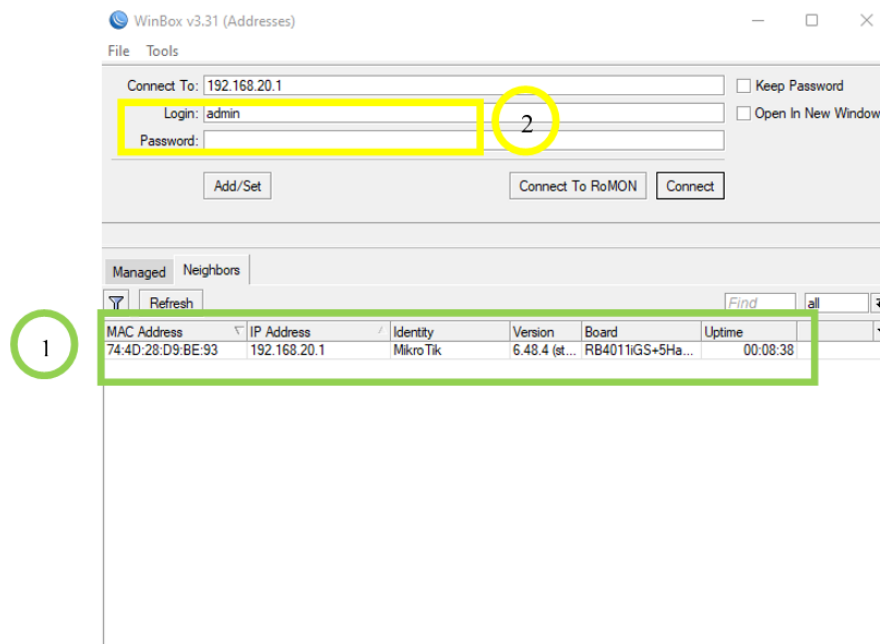


Figura 229.- Interfaz de inicio de WinBox.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

El presente equipo realiza una función primordial para el correcto funcionamiento de la red, para ello se resaltan mediante etiquetas las funciones de las interfaces (véase en la figura 230):

1. El puerto ether1 se reserva para conectar la antena LHGG-60ad y cuya etiqueta es “RBLHG60\_Enlace”.
2. El puerto ether2 es el puerto en donde se establecera comunicación con el OLT y al cual se le asigna la etiqueta de “OLT”.

	Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
R	bridge1	Bridge	1500	1592		132.8 kbps
	RBHG60_Enlace					
	ether1	Ethernet	1500	1592		0 bps
	OLT					
S	ether2	Ethernet	1500	1592		0 bps
	///					
S	ether3	Ethernet	1500	1592		0 bps
S	ether4	Ethernet	1500	1592		0 bps
RS	ether5	Ethernet	1500	1592		131.7 kbps
S	ether6	Ethernet	1500	1592		0 bps
S	ether7	Ethernet	1500	1592		0 bps
S	ether8	Ethernet	1500	1592		0 bps
S	ether9	Ethernet	1500	1592		0 bps
S	ether10	Ethernet	1500	1592		0 bps
	sfp-sfpplus1	Ethernet	1500	1600		0 bps
XS	wlan1	Wireless (QCA9984)	1500	1600		0 bps

Figura 230.- Identificar mediante etiquetas las funciones de puertos.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

En la figura 231, se muestra los pasos a emplear para establecer la dirección de IP del puerto al que se conectara la antena:

1. Se ingresa la dirección IP seguida de la máscara de red, en este caso se asigna la IP “10.10.10.6/29”.
2. Es red a la que pertenece la dirección IP colocada.
3. Es la interfaz a la que estará vinculada la dirección IP a crear.

Address	Network	Interface
10.10.10.6/29	10.10.10.0	ether1

Address <10.10.10.6/29>

Address: 10.10.10.6/29

Network: 10.10.10.0

Interface: ether1

OK Cancel Apply

Disable Comment Copy Remove

Figura 231.- Dirección IP del puerto IP.  
Ventana del software WinBox captada por el autor



### 5.6.1 SEGURIDAD

Los sistemas de telecomunicaciones siempre están expuestos a ser vulnerados, es muy importante considerar las siguientes recomendaciones.

- En la figura 232, se muestra como establecer una credencial de acceso para usuario personalizados (LER4011) con contraseña fuertes (LabUpseRB4011).

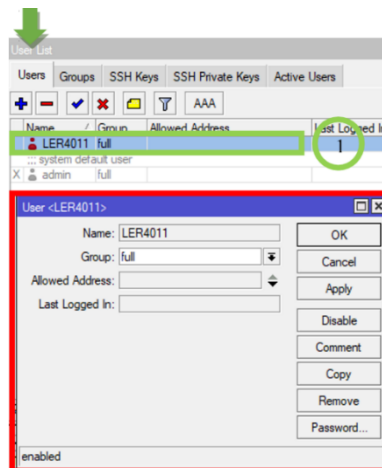


Figura 232.- Lista de usuarios.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

- Omitir conexiones remotas no seguras:
  1. Desactiva métodos de acceso administrativo del enrutador.
  2. **SSH** es un software de seguridad que conectarse a al servidor sin necesidad de contraseña.

**WinBox** permite gestionar el enrutador desde equipos perteneciente a la red 10.10.10.0/29 (véase en la figura 233).

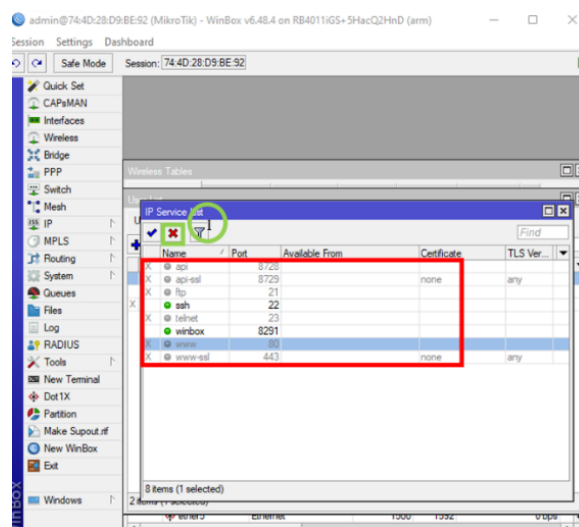


Figura 233.- Personalizar acceso al router.  
Ventana del software WinBox captada por el autor.

## 5.6.2 MPLS

Los mismos pasos anteriores son realizados en el router RB4011iGS para establecer el ruteo por asignación de etiquetas, iniciando con la creación del loopback, como se puede apreciar en la figura 234.

1. Una interfaz loopback se crea a través de un bridge (puente) a la que no se vincula ninguna interfaz.
2. Al loopback creado se asigna la dirección IP única 1.1.1.1/32.

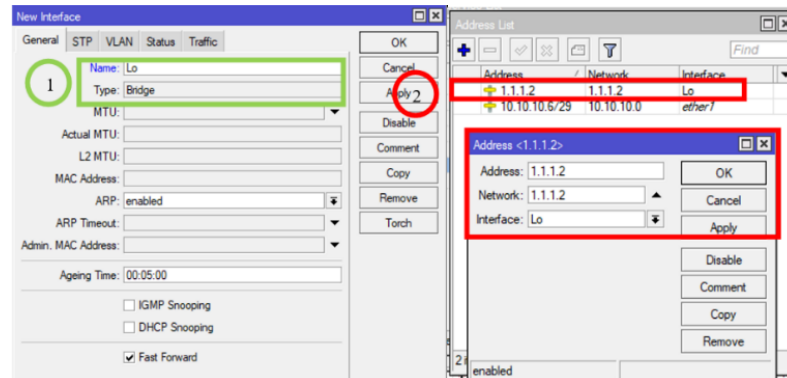


Figura 234.- Creación del loopback.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

Cumpliendo con las condiciones para establecer MPLS se habilita el protocolo OSPF en los routers de bordes del enlace estableciendo, como se observar en la figura 235:

1. Se emplea el identificador de loopback único del enrutador.

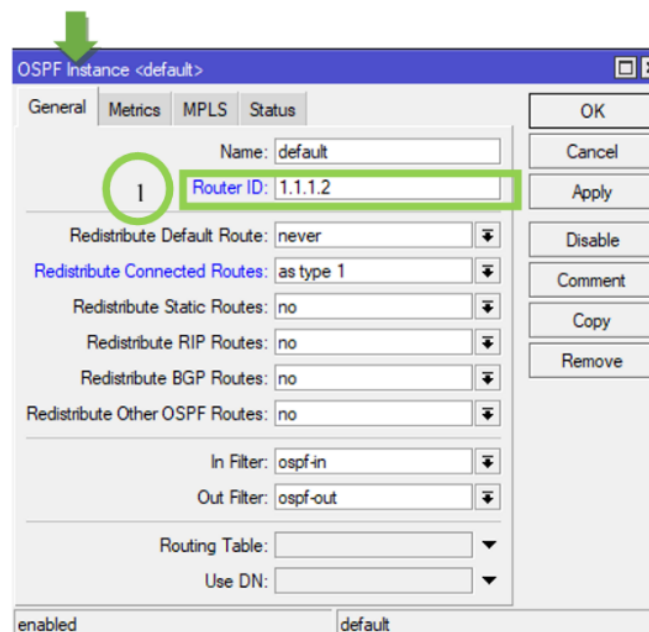


Figura 235.- Habilitar protocolo OSPF.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

2. En la figura 236, se identifican los enlaces adyacentes al enrutador.

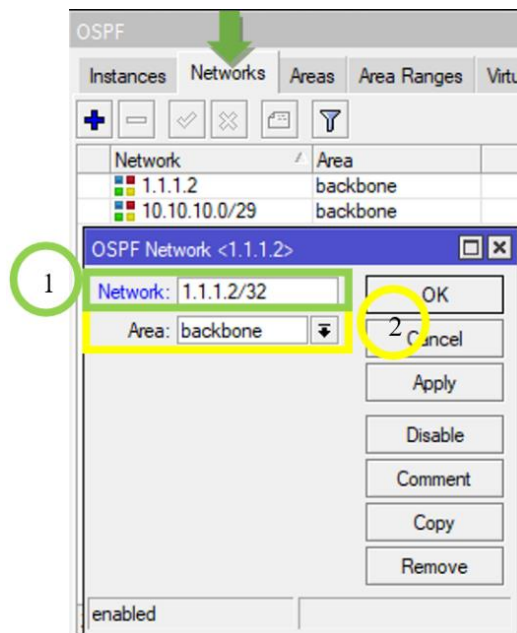


Figura 236.- Habilitar protocolo OSPF.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

Los siguientes pasos habilitan el protocolo de distribución de etiquetas de MPLS, como se muestran en la figura 237:

1. Habilita LDP para la gestión de etiquetas.
2. Se introduce el identificador del router de distribuido de etiquetas (LSR).
3. La IP por la que se transportara los paquetes con etiquetas es el loopback.

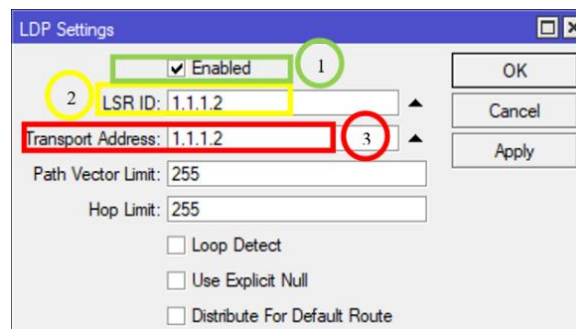


Figura 237.- Habilitar protocolo de distribución de etiquetas.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

Se continúa identificando cada interfaz que establecen enlaces dentro de la nube MPLS (véase en la figura 238).

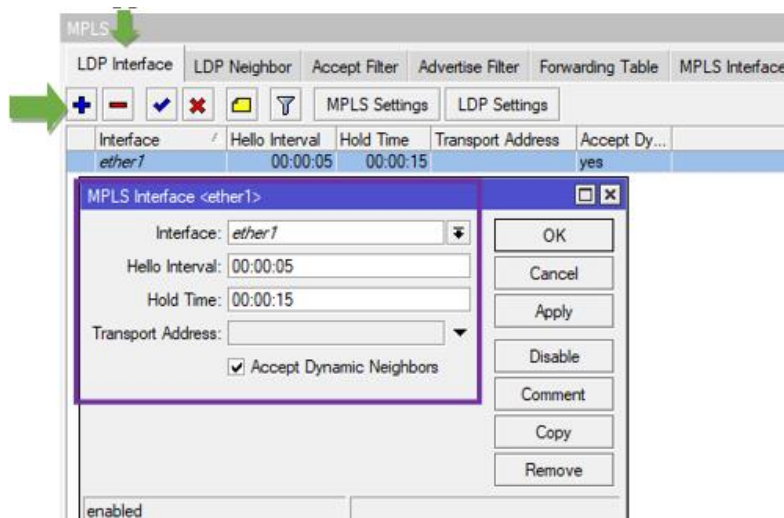


Figura 238.- Identificación del puerto.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

### 5.6.3 CONTROL DE USUARIO POR DHCP SERVER

Existen diferentes formas de controlar al flujo de usuarios, estos pueden ser estática, PPPoE y DHCP:

- Estático: como su nombre lo indica necesita de intervención humana en todo tipo de procesos (asignación de direcciones IP, máscaras de red) y el problema aumenta mientras se amplía el número de abonados:
- PPPoE: el protocolo punto a punto sobre ethernet controla a los usuarios mediante configuraciones de autenticación, usuarios y contraseñas, son asignados según el plan de servicio establecido (solo estando autenticado se le asigna una dirección IP).
- DHCP: permite administrar a los usuarios configurando anchos de bandas de servidores y permitiendo el acceso según la tabla ARP.

Para el presente diseño se consideró el protocolo DHCP por su facilidad en la administración y asignación de direcciones IP. El primer paso para administrar mediante DHCP es crear una VLAN y establecer una etiqueta que las diferencia según su función dentro de la red, dentro de WinBox esta se crea en el menú “interface”, los pasos se describen a continuación en la figura 239:

1. A cada VLAN creada se le asigna un nombre.
2. Las VLAN necesitan de un identificador, numero entero determinado por el administrador.
3. Selección de la interfaz de salida que dará acceso a las VLANs

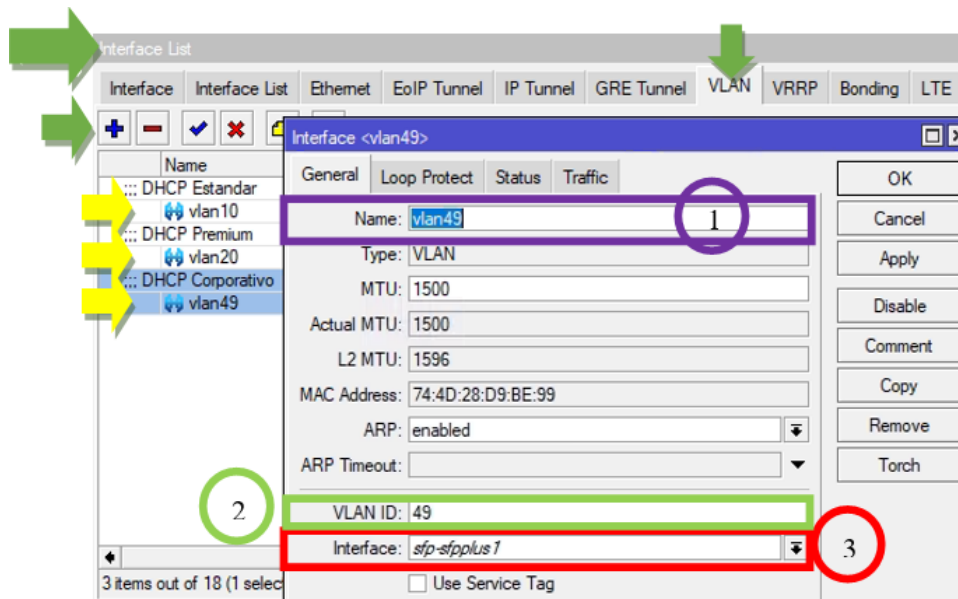


Figura 239.- Interfaz de creación de VLANs.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

4. Se debe asignar una dirección IP de diferente red a cada VLAN, según se observa en la figura 240 (esquema de la red HETNETS).

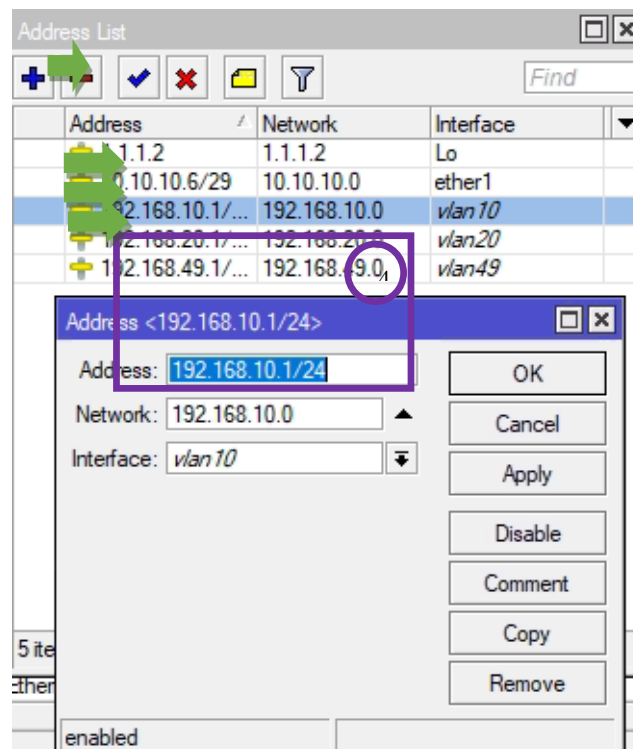


Figura 240.- Interfaz de asignación de dirección IP VLANs.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

5. En la figura 241, se muestran las etiquetas de las interfaces VLANs.

Interface	Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx	Tx	
S	ether5	Ethernet	1500	1592	0 bps	0 bps		
S	ether6	Ethernet	1500	1592	0 bps	0 bps		
S	ether7	Ethernet	1500	1592	0 bps	0 bps		
S	ether8	Ethernet	1500	1592	0 bps	0 bps		
S	ether9	Ethernet	1500	1592	0 bps	0 bps		
S	ether10	Ethernet	1500	1592	0 bps	0 bps		
S	sfp-sfpplus1	Ethernet	1500	1600	0 bps	0 bps		
	::: DHCP Estandar							
	vlan10	VLAN	1500	1596	0 bps	0 bps		
	::: DHCP Premium							
	vlan20	VLAN	1500	1596	0 bps	0 bps		
	::: DHCP Corporativo							
	vlan49	VLAN	1500	1596	0 bps	0 bps		
KS	wlan1	Wireless (QCA9984)	1500	1600	0 bps	0 bps		
S	wlan2	Wireless (Atheros AR9...	1500	1600	0 bps	0 bps		

Figura 241.- Etiquetas VLANs.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

En la siguiente figura 242, se muestra el paso para crear el address list para restringir según servicios a ofrecer, el plan distingue cada VLAN, esta configuración se realiza en el menú firewall.

1. Se asigna el nombre según el grupo de clientes a administrar.
2. Establece la dirección IP de red que agrupa a los clientes.

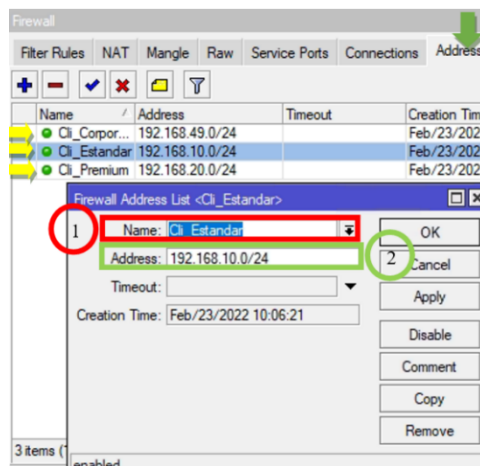


Figura 242.- Crear lista de direcciones.  
Ventana del software WinBox captada por el autor.

Para controlar quien recibe servicio y quien no, en las VLANs se activa el protocolo de resolución de direcciones (ARP) como “reply-only” de esta forma solo le proporciona dirección IP y acceso a internet a los equipos que se encuentren dentro de la tabla ARP, para configurar esta característica como se muestra en la figura 243, se activa lo siguiente:

- **Reply-only:** (solo respuesta), esta opción emplea las direcciones MAC de los dispositivos vecinos para asignar una dirección IP, es necesario introducir cada dirección MAC a la tabla ARP para que al dispositivo se le asigne una IP de forma dinámica.

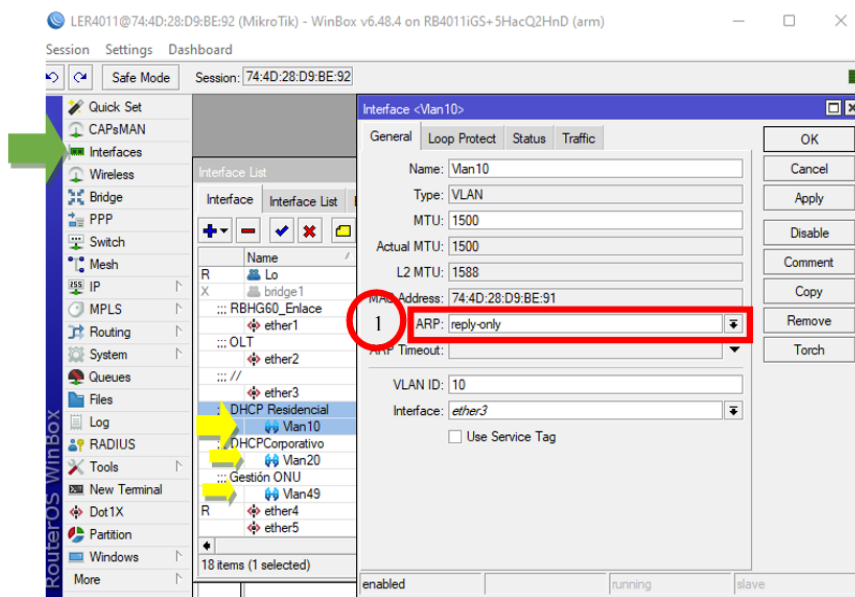


Figura 243.- Activar el ARP.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

El siguiente paso es crear las redes que se gestionará por DHCP que permitirá agrupar a los clientes según su servicio y asignar de manera dinámica la IP, gateway y DNS correspondiente, los pasos y descripción de las configuraciones se establecen a continuación en la figura 244:

1. **Address:** se asigna la dirección y máscara de la red con la que se determina el número de host permitido, la máscara /24 admite 256 host.
2. **Gateway:** es la puerta de enlace con la que se tiene acceso a los recursos de la red, esta es la asignada según su VLAN.
3. **DNS servers:** se asigna a los usuarios el sistema de nombre de dominio de uso público de Google.

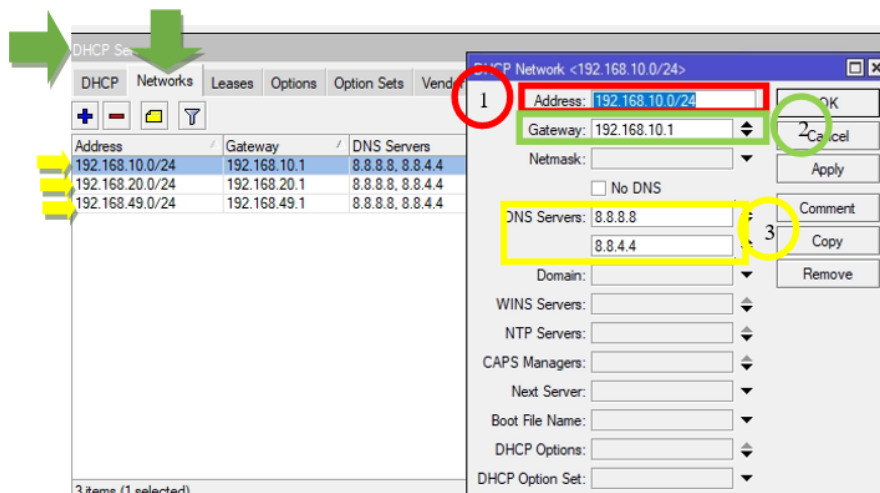


Figura 244.- Crear Gateway y DNS para cada VLANs.  
Ventana del software WinBox captada por el autor.

Para evitar entregar que se entregue IPs de forma dinámica sin previa autorización ARP se configura a cada servidor DHCP creado, lo siguiente, como se muestra en la figura 245:

1. Address Pool: es un conjunto de direcciones empleadas para asignación de IP de forma dinámica, al establecerla como “static only” solamente el cliente en la pestaña leases (submenú de arrendamiento en donde se detalla la IP asignada según la MAC del dispositivo del cliente).
2. Se habilita “add ARP for leases” para que todo identificador MAC que se encuentra en el leases se añade de forma dinámica a la tabla ARP.

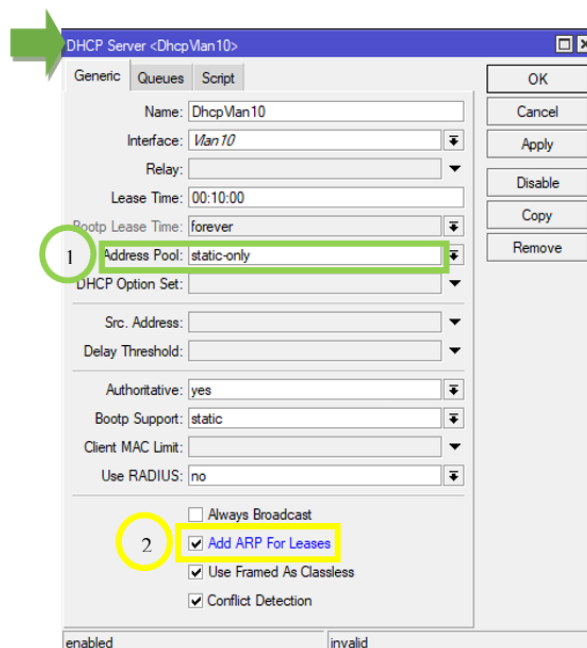


Figura 245.- Configuración de direcciones Pool.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

Para agregar un dispositivo en una VLAN, se necesita conocer el MAC address del equipo (ONU) y de forma manual agregar a la lista leases, los pasos y detalles para realizar esta acción se detallan a continuación en la figura 246:

1. La ventana leases es donde se encuentran los dispositivos agregados.
2. Status: muestra el estado del equipo agregado: “waiting” cuando el equipo no es detectado por el sistema y “bound” cuando el dispositivo cliente ha sido detectado y asignado una IP correctamente.
3. Address: se asigna una dirección IP, esta debe estar en el rango de la red VLAN a la que estará asociada.
4. MAC address: se introduce el identificador único MAC del dispositivo que formara parte de la red.



5. Server: se selecciona el servidor VLAN según el tipo de plan a ofrecer al abonado.

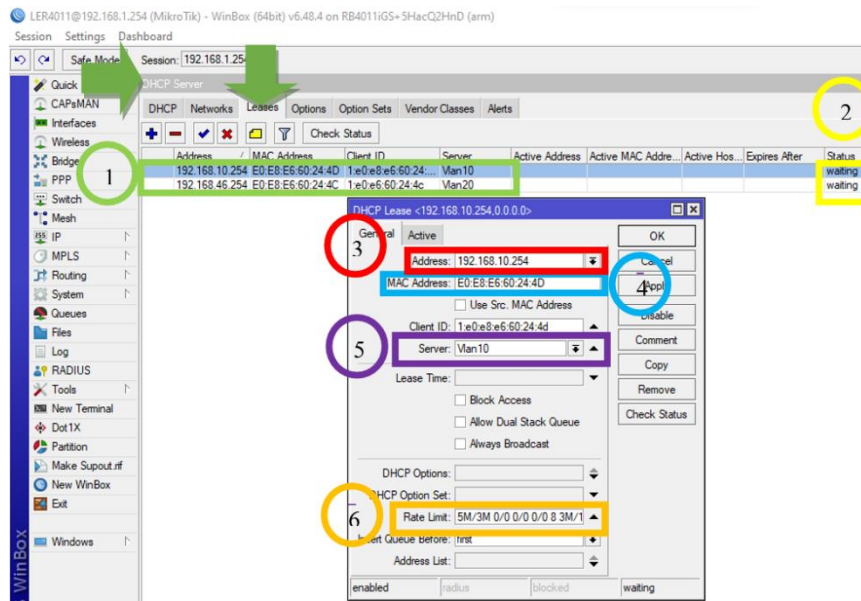


Figura 246.- Asignación de dirección IP.

Ventana del software WinBox captada por el autor

## 5.6.4 COLAS PARA GESTIONAR REUSÓ

A continuación, se muestra en la figura 247, cómo poner en práctica el análisis realizado en el capítulo 4, sobre el cálculo de usuarios vs ancho de banda; al agregar un dispositivo a la tabla de arrendamiento (leases) se requiere de establecer la manera en que se distribuirá los recursos para dicho usuario, esta se la realiza en la opción de “rate limit” destacada a continuación:

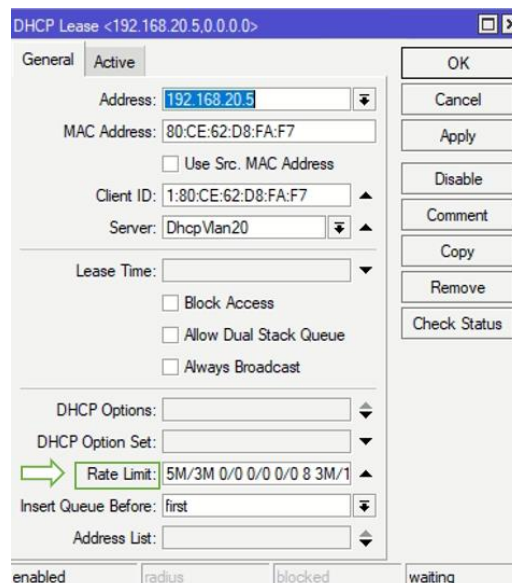


Figura 247.- Gestión de recursos para usuarios.

Ventana del software WinBox captada por el autor

Para establecer correctamente esta opción, es necesaria conocer la estructura de la cola dinámica en la que se debe introducir nuestra información (véase en la figura 248):

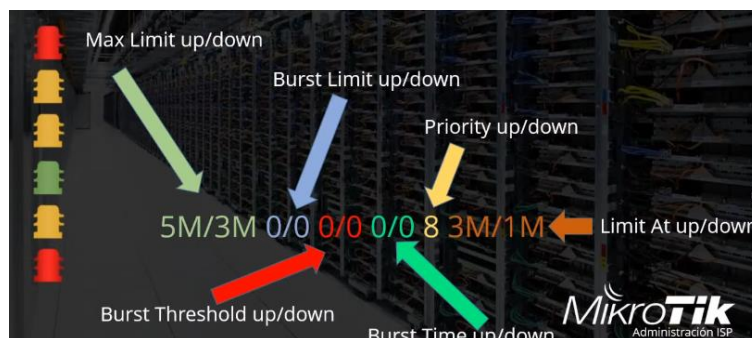


Figura 248.- Estructura de una cola dinámica.  
Imagen toma del curso de Mikrotik SAS

- **Max limit up/down.** - representan la capacidad máxima de transmisión de datos en carga y descarga, que un cliente puede obtener.
- **Burst limit up/down.** – define la velocidad máxima de carga y descarga en el que se permite brindar un ancho de banda “extra”.
- **Burst threshold up/down.** – umbral que muestra, bajo que velocidad el algoritmo de ancho de banda extra empezara a funcionar.
- **Burst time up/down.** – tiempo en el que se permitirá al usuario obtener un ancho mayor a lo establecido.
- **Priority up/down.** – el nivel de prioridad más bajo es 8 y la más alta es 1.
- **Limit at up/Down.** – es el mínimo ancho de banda que se reserva para un cliente.

De esta forma para un usuario de categoría estándar, la estructura de cola dinámica se representaría como en la siguiente figura 249:

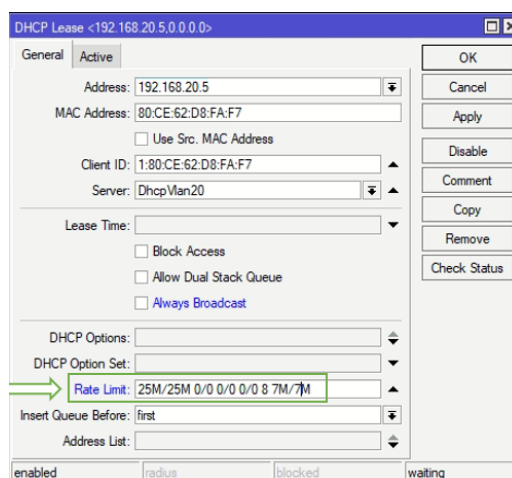


Figura 249.- Cola dinámica para usuario estándar.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

Cuando se agrega correctamente la información a la lista leases, esta se agrega de forma dinámica a la lista AR, como se muestra en la siguiente figura 250:

1. Describe es estado del abonado (dynami, complete, host).
2. Detalla la dirección IP asignada al equipo abonado.
3. Muestra la dirección única del dispositivo.
4. Especifica la interfaz a la que se encuentra asociado la terminal cliente.

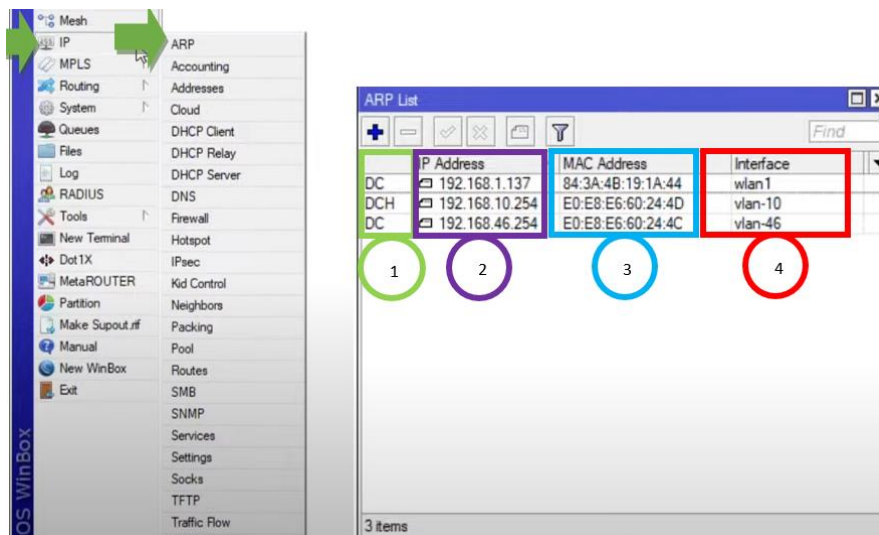


Figura 250.- Dispositivos conectados.

Ventana del software WinBox captada por el autor

El siguiente paso para administrar correctamente el reusó es limitar el consumo de los recursos de la red según los requerimientos por servicio, para esto se emplea “simple queues”, una herramienta de Mikrotik que permite controlar de manera sencilla el tráfico de nuestra red, su estructura se detalla en las siguientes figuras 251 y 252:

- Inner Queue: es la responsable solo de la distribución del recurso de la red.
- Leaf Queue: son los que consumen los recursos que son repartidos por el Inner Queue.

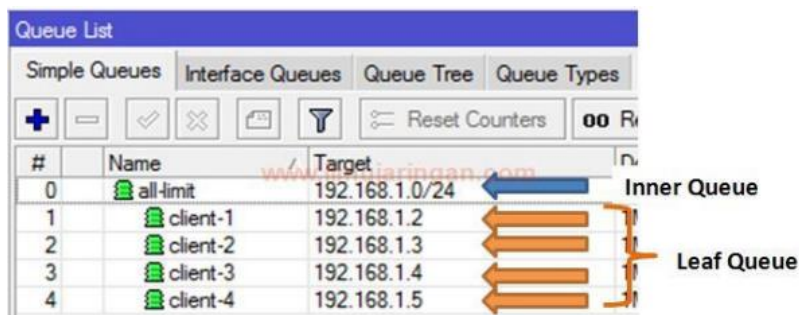


Figura 251.- Estructura jerárquica de HTB.

Imagen toma del trabajo de Juan Manuel Diaz

1. **Name:** se introduce el nombre identificador de cada Inner Queue.
2. **Target:** es la red que administrara a los hosts esta puede ser una dirección IP, en este caso la VLAN ya se encuentra vinculada a dicha dirección
3. **Max Limit:** es el valor máximo de ancho de banda que la cola padre (Inner Queue) permite a sus hijos (Leaf Queue), mientras más alta es la prioridad esta alcanza la velocidad primero (1= prioridad más alta, 8= prioridad más baja); el valor añadido en esta configuración es el calculado para reusó en el capítulo 4 (cálculo de usuarios vs ancho de banda) y la suma del ancho de banda usado de todos los clientes no debe ser superior a este).

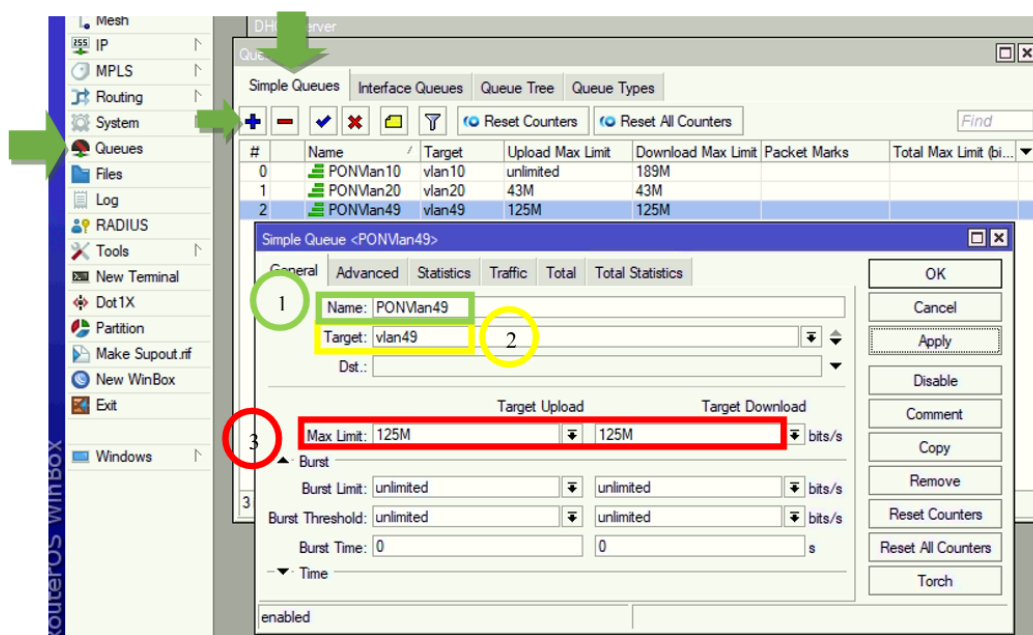


Figura 252.- Queue list según el servicio.

Ventana del software WinBox captada por el autor

## 5.7 ANÁLISIS DE COSTOS

En un proyecto es importante la factibilidad económica, con finalidad de demostrar que la inversión a realizar sea justificada, por ende, es necesario trabajar con un esquema que examine costos y ventas.

### Inversión Inicial

Realizado el diseño y una vez seleccionado todo el equipamiento para que pueda ser implementado y dé cobertura a los usuarios localizados en el área determinada del recinto Manantial de Colonche, por ello es necesario calcular la inversión inicial, así como los gastos de operación por un periodo de 5 años.

Por otra parte, la dificultad de prever la durabilidad de un proyecto no existe una manera específica para definir, no obstante, se requieren tomar en cuenta factores como los activos del proyecto que operan regularmente y el número de años tanto del que es requerido para el servicio que ofrecerá como el lapso que transcurre hasta los activos requeridos durante el proceso productivo dejan de ser competitivos.

Con respecto a lo anterior se suele tomar un ciclo fijo de tiempo de 5 años para propósitos productivos, a continuación, en la tabla 25, se detalla el presupuesto de los equipos a utilizar.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Total</b>
1	RBLHGG-60 AD KIT	\$420.00	\$420.00
1	RB3011 UIAS-RM	\$250.00	\$250.00
1	RB4011Igs+5HacQ2HnD-IN	\$430.00	\$430.00
1	UF-OLT-4	\$1800.00	\$1800.00
	<b>Total</b>		\$2900.00
	<b>Iva</b>		\$348.00
	<b>Total + IVA</b>		\$3371.20

*Tabla 25.- Presupuesto en equipos.  
Tabla elaborada por el autor.*

Los costos de los equipos se obtuvieron a través del proveedor CONSTELEC con el IVA 12%. En la tabla 26 siguiente, se detalla los elementos empleados para establecer la infraestructura de un mástil de 4 m de altura (se requiere de 3).

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Total</b>
25	Cable acerado 1/8" (7 hilos)	\$0,33	\$8,25
4	Tubo Galv. 2" (50.8x2mm)	\$6,00	\$24,00
6	Guardacabos inoxidables 1/4"	\$0,65	\$3,9
4	Perno de expansión 1/2"x 2- 1/4"	\$0,50	\$2,00
12	Grillete para cable 3/16"	\$0,82	\$9.84
3	Templadores	\$0,58	\$1,74
1	Broca debor Germany P. concreto	\$2,00	\$2,00
1	Soporte para mástil 2"	\$30,00	\$30,00
<b>Total</b>			<b>\$81,73</b>

*Tabla 26.- Presupuesto de mástil.  
Tabla elaborada por el autor.*

En la siguiente tabla 27, se detalla el presupuesto para implementar la red de distribución, el número de equipos y cables, posterior a esta se tiene la tabla 28, detallando el monto de mano de obra de la red externa del diseño de AutoCAD.

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Total</b>
<b>1000</b>	m	Cable aéreo fibra óptica ADSS 12 hilos	\$1,26	\$1.260,00
<b>400</b>	m	Cable fibra óptica (DROP) 1 hilo	\$77,00	\$77,00
<b>10</b>	U	Caja de empalme fibra óptica 12 hilos	\$64,99	\$649,90
<b>1</b>	U	Splitter 1:16	\$101,05	\$101,05
<b>1</b>	U	Splitter 1:2	\$28,67	\$28,67
<b>4</b>	U	NAP 1:16	\$100,23	\$400,92
<b>9</b>	U	NAP 1:8	\$92,71	\$834,39
<b>6</b>	U	Poste de hormigón 10 m	\$316,22	\$1.897,32
<b>Total</b>				<b>\$5.249,25</b>

*Tabla 27.- Presupuesto de red de distribución.  
Tabla elaborada por el autor.*

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Total</b>
<b>1000</b>	m	Tendido de cable aéreo ADSS 12 hilos de fibra óptica G.652.D	\$0,41	\$410,00
<b>400</b>	m	Tendido de Cable aéreo ADSS 1 Hilos de Fibra Óptica	\$0,41	\$164,00
<b>10</b>	u	Instalación de caja de empalme para la instalación de Splitter	\$21,00	\$210,00
<b>13</b>	u	Instalación en poste de NAP porta Splitter 16 conectores, 8 conectores	\$27,50	\$357,50
<b>13</b>	u	Instalación de Splitter 1:8, 1:16 conectorizados para instalación en NAPs	\$3,00	\$39,00
<b>10</b>	u	Sangrado de cable de FO 12H	\$5,00	\$50,00
<b>22</b>	u	Fusiones por hilo	\$6,90	\$151,80
<b>1</b>	u	Armario de hormigón prefabricado	\$398,41	\$398,41
<b>Total</b>				<b>\$1.780,71</b>

*Tabla 28.- Presupuesto en mano de obra.  
Tabla elaborada por el autor.*

### Costo de título habilitante para acceso a internet

Según el art 38 de la resolución 15-16-ARCOTEL-2019 establece que los derechos a pagar para obtener el título habilitante por el Registro de Servicio de Acceso a Internet son de \$500 dólares americanos.

Por otro lado, la explotación del uso de frecuencias tiene un valor mensual de pago de \$28 dólares por enlace backhaul y por red de acceso un valor de \$32 dólares.

También existen otros medios para obtener el costo para el acceso a internet como otros proveedores que brindan este tipo de servicio dentro de la provincia Santa Elena y sus alrededores, entre estos están Netlife, CNT, Claro, Movistar, TELCONET, etc.

### Costos de Operación

A continuación, se presenta en la tabla 29, la inversión total para el funcionamiento del ISP, en las cuales se toman en consideración el costo de equipos y permisos de operación.

Cantidad	Descripción	Valor Mensual	Valor Anual
1	Plan BACKUP Corporativo CNT 350Mbps (\$5,28 por Mbps)	\$1.890,24	\$22.682,88
1	Servicio Técnico	\$425,00	\$5.100,00
10	Arriendo	\$200,00	\$2.400,00
13	Servicios Básicos	\$80,00	\$960,00
<b>TOTAL</b>		<b>\$2.595,24</b>	<b>\$31.142,88</b>

*Tabla 29.- Inversión inicial.  
Tabla elaborada por el autor.*

En resumen, la inversión inicial para la implementación del proyecto es el detallado en la siguiente tabla 30:

<b>PRESUPUESTO</b>	
<b>MATERIALES</b>	\$8.865,64
<b>MANO DE OBRA</b>	\$1.780,71
<b>PERMISOS</b>	\$500,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$11.146,35</b>

*Tabla 30.- Presupuesto de inversión total.  
Tabla elaborada por el autor.*

### **Ingresos por Servicio**

Para brindar el servicio de acceso a internet se diseñó 3 tipos de costos, estándar, premium y corporativo, para los diversos tipos de usuarios que adquieran el servicio dentro del mercado, los mismo que podrán cancelar mensualmente, como esta detallado en la siguiente tabla 31.

<b>Tipo de servicio</b>	<b>Costo Mensual (\$)</b>
<b>Estándar</b>	28
<b>Premium</b>	30
<b>Corporativo</b>	38

*Tabla 31.- Tipo de servicios.  
Tabla elaborada por el autor.*

Para estimar los costos para los tipos de servicios, se consideró el resultado de la pregunta 8 realizada en la encuesta, al igual que los costos referenciales del mercado.

Por otra parte, el usuario que adquiera el servicio tendrá que cumplir con un lapso mínimo de 6 meses, cuya clausula se indicara dentro del contrato, así mismo, como clausulas sobre el equipo del cliente o suscriptor.

### **Ingresos anuales**

A continuación, en las tablas 32 a 37, se presentan los ingresos estimados en una proyección a 5 años de la implementación del proyecto; para estimar el porcentaje de aumento de abonados en el mercado se emplean las informaciones de las encuestas nacional de empleo y desempleo (ENEMDU 2010-2013) en donde se refleja el crecimiento de 7,8% de hogares con acceso a internet en áreas rurales y se tiene en consideración también que en la provincia de Santa Elena solo el 29,5% de su población tiene acceso a internet [88]; dado estos criterios se considera un aumento del 5% de abonados por servicio.

#### *Ingresos 1 Año*

<b>INGRESOS DEL SERVICIO POR 1 AÑO</b>				
<b>Detalle Plan</b>	<b>N° de Usuarios</b>	<b>Costo \$</b>	<b>Ingreso Mensual</b>	<b>Ingreso Anual</b>
<b>Estándar</b>	91	28	2548	30576
<b>Premium</b>	10	30	300	3600
<b>Corporativo</b>	5	38	190	2280
		<b>Total (\$)</b>	3038	36456

*Tabla 32.- Ingreso año I.  
Tabla elaborada por el autor.*

**Total, ingresos por un año = 36456**



### *Ingresos por Año 2*

<b>INGRESOS DEL SERVICIO POR 2 AÑO</b>				
<b>Detalle Plan</b>	<b>N° de Usuarios</b>	<b>Costo \$</b>	<b>Ingreso Mensual</b>	<b>Ingreso Anual</b>
<b>Estándar</b>	105	28	2940	35280
<b>Premium</b>	15	30	450	5400
<b>Corporativo</b>	7	38	266	3192
		<b>Total (\$)</b>	3656	43872

*Tabla 33.- Ingreso año 2.  
Tabla elaborada por el autor.*

Total, ingresos por el año 2 = **43972**

### *Ingresos por Año 3*

<b>INGRESOS DEL SERVICIO POR 3 AÑO</b>				
<b>Detalle Plan</b>	<b>N° de Usuarios</b>	<b>Costo \$</b>	<b>Ingreso Mensual</b>	<b>Ingreso Anual</b>
<b>Estándar</b>	118	28	3304	39648
<b>Premium</b>	20	30	600	7200
<b>Corporativo</b>	7	38	266	3192
		<b>Total (\$)</b>	4170	50040

*Tabla 34.- Ingreso año 3.  
Tabla elaborada por el autor.*

Total, ingresos por el año 3 = **50040**

### *Ingreso por Año 4*

<b>INGRESOS DEL SERVICIO POR 4 AÑO</b>				
<b>Detalle Plan</b>	<b>N° de Usuarios</b>	<b>Costo \$</b>	<b>Ingreso Mensual</b>	<b>Ingreso Anual</b>
<b>Estándar</b>	128	28	3584	43008
<b>Premium</b>	24	30	720	8640
<b>Corporativo</b>	8	38	304	3648
		<b>Total (\$)</b>	4608	55296

*Tabla 35.- Ingreso año 4.  
Tabla elaborada por el autor.*

Total, ingresos por el año 4 = **55296**

### *Ingreso por Año 5*

<b>INGRESOS DEL SERVICIO POR 5 AÑO</b>				
<b>Detalle Plan</b>	<b>N° de Usuarios</b>	<b>Costo \$</b>	<b>Ingreso Mensual</b>	<b>Ingreso Anual</b>
<b>Estándar</b>	143	28	4004	48048
<b>Premium</b>	29	30	870	10440
<b>Corporativo</b>	9	38	342	4104
		<b>Total (\$)</b>	5216	62592

*Tabla 36.- Ingreso año 5.  
Tabla elaborada por el autor.*

Total, ingresos por el año 5 = **62592**

## Flujo neto de efectivo

DESCRIPCIÓN	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ingresos	\$36.456,00	\$43.972,00	\$50.040,00	\$55.296,00	\$62.592,00
Gatos	\$31.142,88	\$31.142,88	\$31.142,88	\$31.142,88	\$31.142,88
Ganancia	\$5.313,12	\$12.829,12	\$18.897,12	\$24.153,12	\$31.449,12

Tabla 37.- Flujo neto efectivo.  
Tabla elaborada por el autor.

### 5.7.1 CÁLCULO DE VAN, TIR, (B/C) Y EL PRI

En un proyecto es fundamental identificar su viabilidad y se la conoce como rentabilidad, para realizar el presente proyecto se debe efectuar una inversión inicial, posterior a esa inversión se pretender tener una rentabilidad durante el transcurso del tiempo.

Los indicadores comúnmente empleados para establecer la viabilidad de un proyecto son: el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), relación beneficio costo (B/C) y el periodo de retorno de la inversión (PRI), estos factores permiten saber si avanzar o no con el proyecto o inversión realizada.

**VAN:** consiste en actualizar los cobros o pagos de una inversión para conocer el valor de ganancias o pérdidas con esa inversión, en otras palabras, es un criterio de inversión.

El indicador antes mencionado permite determinar si el valor ofrecido está por encima o debajo de las ganancias en caso de vender la propuesta o proyecto.

El VAN se calcula con la ecuación 7 [89]:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Ecuación 7.- Valor Anual Neto

Donde:

- $V_t$ : representa los flujos de caja en cada periodo.
- $I_0$ : representa a el valor de desembolso de la inversión inicial.
- $N$ : representa el número de periodos considerados.
- $K$ : representa a la tasa de descuento.

VAN posee la siguiente interpretación:

- $VAN < 0$ , proyecto no rentable.
- $VAN = 0$ , proyecto es indiferente realizarlo.

- VAN > 0, proyecto rentable.

Para la tasa de descuento (k) se considera el flujo de interés efectiva establecida para junio del 2022 según la resolución 603-2020-F de la junta de política y regulación monetaria y financiera del Ecuador, información anual estimado para producción de pequeñas y medianas empresas (PYMES) con el valor de 10,25%.

$$\begin{aligned}
 VAN &= \sum_{t=1}^5 \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \\
 &= \frac{5.313,12}{(1+0,1025)^1} + \frac{12.829,12}{(1+0,1025)^2} + \frac{18.897,12}{(1+0,1025)^3} + \frac{24.153,12}{(1+0,1025)^4} \\
 &\quad + \frac{31.449,12}{(1+0,1025)^5} - 11.146,35 = \mathbf{53.983,49}
 \end{aligned}$$

Finalmente, el VAN > 0 nos indica que el proyecto es rentable, es decir, se puede desarrollar.

**TIR:** es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión, considerando otras opciones de inversión de mínimo riesgo, en otras palabras, es la que mide la viabilidad que ofrece una inversión.

Para calcular la TIR se tiene la siguiente ecuación 8 [90]:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_T}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_T}{(1+TIR)} + \frac{F_T}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

*Ecuación 8.- Tasa interna de retorno.*

Donde:

- $F_t$ : representa al flujo de dinero en cada periodo.
- $I_0$ : representa a la inversión que se realiza en  $t=0$ .
- $N$ : representa el número de periodo de tiempo.
- $K$ : representa a la tasa de descuento.

TIR posee la siguiente interpretación:

- TIR > k; proyecto rentable.
- TIR = k; proyecto indiferente realizarlo.
- TIR < k; proyecto no rentable.

Reemplazando la ecuación se obtiene:

$$0 = \frac{5.313,12}{(1+TIR)} + \frac{12.829,12}{(1+TIR)^2} + \frac{18.897,12}{(1+TIR)^3} + \frac{24.153,12}{(1+TIR)^4} + \frac{31.449,12}{(1+TIR)^5} - 11.146,35$$

De acorde al cálculo del TIR realizado en excel se obtiene un valor de 97%, siendo mayor que k, es decir, la tasa de descuento e igual al **10,25%**, concluyendo que el proyecto es rentable y listo para el desarrollo de este.

**B/C**: indicador que mide el grado de progreso y bienestar que un proyecto genera a una colectividad, es decir, toma los ingresos y egresos, para determinar los beneficios que generara el proyecto.

Para tener una interpretación relacionado al beneficio vs costo, este se debe comparar con 1:

- B/C < 1; se interpreta que se obtendrá valores mayores al beneficio, es decir, el proyecto no es rentable.
- B/C = 1; se interpreta que no se obtendrá ganancias debido a que los beneficios son iguales a los costos.
- B/C > 1; se interpreta que los beneficios superan los costos, por ende, el proyecto es viable.

Para obtener el cálculo de B/C es mediante la siguiente ecuación 9 [91]:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_1^n VAN_N}{INVERSION INICIAL}$$

*Ecuación 9.- Relación beneficio / Costo.*

Donde:

- B/C: relación Beneficio vs Costo
- VAN: valor Actual Neto.
- N: representa al periodo a valorar.

Realizando el procedimiento para la obtención del cálculo a través de Excel, se obtienen lo siguiente:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_1^n VAN_N}{INVERSION INICIAL} = \frac{65.129,84}{11.146,35} = 5,84$$

La relación B/C mayor a 1 demuestra que los beneficios son mayores en relación con los costos, el proyecto es viable.

**PRI:** indicador que mide el periodo de tiempo en el que se recuperara el total de inversión inicial, para obtener el cálculo se utiliza la siguiente ecuación 10 [92]:

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d}$$

*Ecuación 10.- Periodo de recuperación de la inversión.*

Donde:

- A: representa al año inmediato anterior en el que se recupera la inversión inicial.
- B: representa a la inversión inicial.
- C: representa el flujo de efectivo acumulado.
- D: representa el flujo de efectivo del año que recupera la inversión inicial.

En la siguiente tabla 38, se observa el flujo efectivo con relación al periodo de recuperación, de esta forma obtenemos los datos necesarios para establecer el PRI del proyecto de interés.

	<b>Flujo de efectivo</b>	<b>Periodo de Recuperación</b>
<b>0</b>	-11.146,35	-11.146,35
<b>1</b>	5.313,12	-5.833,23
<b>2</b>	12.829,12	6.995,89
<b>3</b>	18.897,12	25.893,01
<b>4</b>	24.153,12	50.046,13
<b>5</b>	31.449,12	81.495,25

*Tabla 38.- Flujo de efectivo / periodo de recuperación.  
Tabla elaborada por el autor*

$$PRI = 1 + \frac{(11.146,35 - 5.313,12)}{12.829,12} = 1,4688$$

$$0,4688 \text{ años} \times 12 \text{ meses} / 1 \text{ año} = 5,616 \text{ meses} \quad 0,616 \times 30 \text{ días} / 1 \text{ mes} = 168 \text{ días}$$

La estimación del tiempo de recuperación de la inversión es de **1 año, 5 meses y 18 días**; en conclusión, general, los valores obtenidos del análisis de la factibilidad de un proyecto (VAN, TIR, B/C y PRI) son suficiente para determinar el presente proyecto con gran capacidad de éxito post implementación.

## CONCLUSIONES

- El estudio de campo evidencio que la situación actual de la comuna Manantial de Colonche frente a los sistemas de telecomunicaciones en pequeños sectores es inexistente y en otros no cumple con las expectativas de los habitantes; la eficiencia de la tecnología, actualmente desplegada ha sido afectada por la creciente demanda de servicios, aumento del volumen de construcción de viviendas afectando principalmente a la LOS de los equipos, que en conjunto con la mala administración de los recursos de la red le es imposible cumplir la calidad de servicio a sus abonados.
- El uso de una red heterogénea permite mejorar la eficiencia espectral y de servicio en el área geográfica de análisis; los equipos RBLHGG-60 AD KIT con tecnología inalámbrica en la banda de los 60 GHz (802.11ad) presentaron excelentes resultados en las pruebas de campos realizadas a largas distancias; la alta capacidad de transmisión a una baja latencia permite dar soporte a la cantidad poblacional presente y futura de la comuna manantial de colonche con servicios de alta demanda de recursos analizados para tecnología de 5G de hasta 50 Mbps por usuario. El uso de la banda de los 60 GHz en enlaces conlleva bajos costos de implementación y reducción de tiempo en comparación a soluciones alámbricas; dado que los sectores rurales tienen poca densidad poblacional, el tiempo de recuperación de la inversión es mayor a la estimada en el presente proyecto.
- La tecnología de distribución óptica en espacios geográficos no superior a  $2 \text{ km}^2$  ayuda a disminuir riesgos de conectividad causado por agentes externos a la red (clima y expansión urbana); la capacidad de transmisión y estabilidad es mayor a la inalámbrica; el diseño de la red de distribución realizada en AutoCAD a escala real, detalla el espacio geográfico de la comuna Manantial de Colonche y la ubicación de los elementos que conforman la red óptica.
- MPLS es confiable y eficiente, la conmutación de etiquetas reduce la latencia que en sistemas de múltiples rutas impactaría de mejor manera; la emulación realizada demuestra la escalabilidad del sistema, así como la compatibilidad con equipos de diferentes proveedores (MIKROTIK, CISCO, HUAWAI).

## RECOMENDACIONES

- Dado el amplio catálogo de equipos que trabajan en la banda de los 60 GHz es importante verificar que los dispositivos que se elijan cuenten con las certificaciones de la comisión federal de comunicaciones con lo que se garantiza que se cumple con los límites regulados para el uso de radiación.
- Al realizar futuros estudios, se recomienda mejorar el diseño topográfico con herramientas profesionales para el levantamiento de información como: teodolito, piquetes, GPS topográfico con los que se facilita medir los relieves que representan los terrenos.
- En caso de expansión de la red de distribución, la longitud del despliegue de fibra óptica no debe ser superior a los 20 km definido para el estándar GPON, sin embargo, la longitud de la FO eficiente puede disminuir según la atenuación máxima de la red causados por elementos pasivo (cables, conectores y empalmes).
- Los equipos empleados para el presente proyecto y la infraestructura instalada sobre el laboratorio de telecomunicaciones necesitan de mantenimiento periódico mínima recomendada de una vez al año, siendo el mástil de la antena la de prioridad (revisar anclaje y tensores).

### Alternativa ante la incorrecta operatividad del dispositivo Ufiber OLT-4

Dado el fortuito inconveniente con la terminal de línea óptica (OLT), se pone en manifiesto un diseño alternativo, optado para valorar las capacidades y correcto funcionamiento de la infraestructura implementada; el esquema de red mostrado en la siguiente figura 253, comprende de los siguientes elementos no considerados en el diseño anterior:

- **ONT Huawei HG8310M:** es un equipo terminal de red óptica, diseñado para soluciones FTTH con soporte al acceso de banda ancha, brinda servicio DHCP para los abonados y compatibilidad de asignación dinámica DNS; es un elemento ligero (180 g), consumo máximo (3 W) en su interfaz posee acceso óptico a través de 1 puerto GPON SC/UPC, 1 puerto ethernet gigabit e indicadores leds (POWER, LON, LOS, LAN) [93].
- **Media converter TP-Link MC220L:** es un convertor de medios diseñado para convertir entre medio de transmisión de fibra óptica 1000BASE-SX/LX y medios de cobre 10/100/1000Base-T. Este dispositivo amplió la distancia de

transmisión, en el caso de fibra multimodo de hasta 0,55 km y fibra de modo único hasta 10 km, los puertos físicos disponibles son RJ45 (capacidad 1000 Mbps) y un puerto SFP gigabit [94].

- **EdgeSwitch 10x:** es un switch administrable, posee 8 puertos gigabit ethernet (RJ45) y 2 puertos SFP, suministrando hasta 1 Gbps, su gestión es a través del sistema de gestión de red ubiquiti (UISP) entre sus características técnicas relevantes es la alimentación mediante PoE pasivo de 24 V, su máximo consumo de energía es de 8 W, soporta hasta 10 Gbps.2 [95]

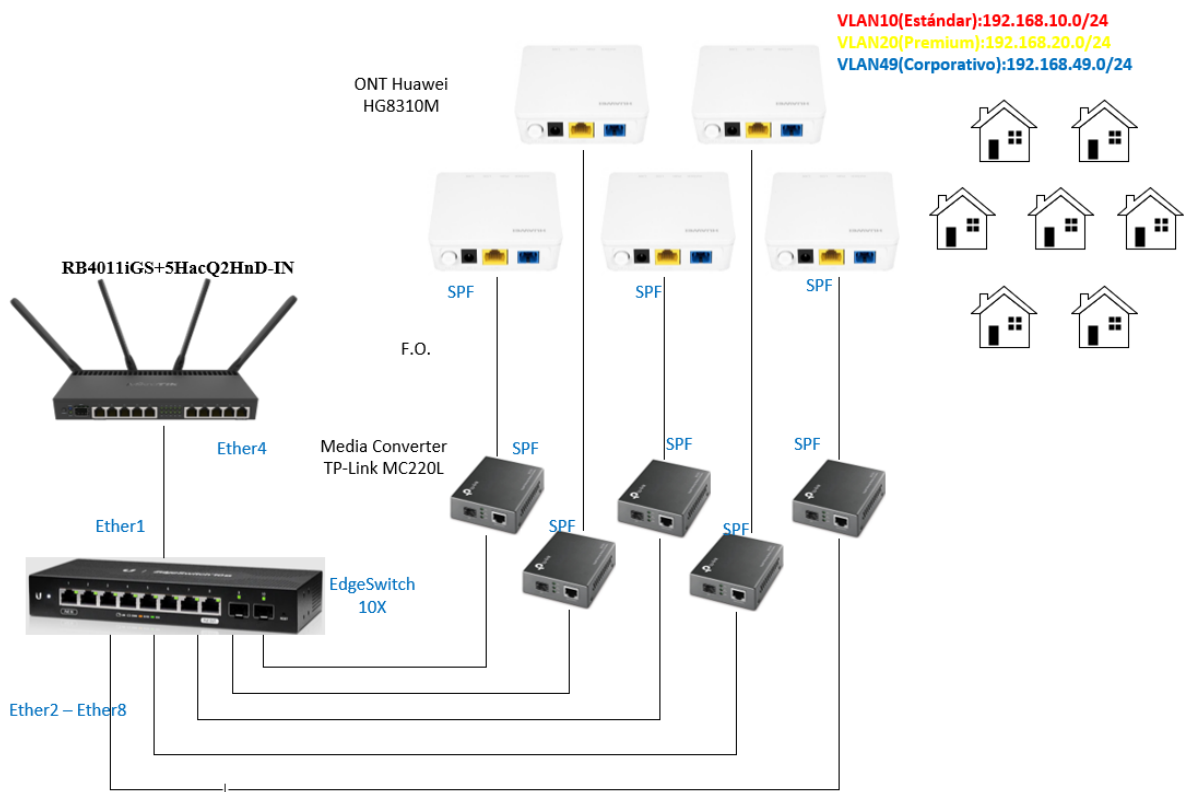


Figura 253.- Diseño alternativo de red de distribución.  
 Elaborada por el autor

Dado las configuraciones establecidas en el router RB4011iGS y descritas en capítulo 4, como alternativa a la OLT se realiza el cambio del puerto de gestión de las VLANs (SFP) al puerto ethernet (Ether4), como se muestra en la figura 254, a continuación:



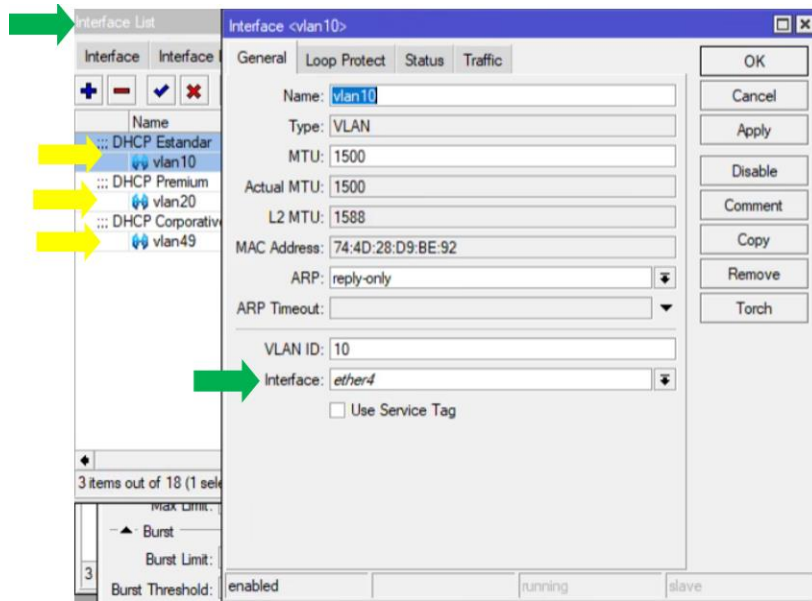


Figura 254.- Puerto de gestión VLANs.  
Elaborada por el autor

El siguiente paso es configurar el switch, para ello se ingresa a la interfaz de gestión del dispositivo como se puede observar en la figura 255, a continuación, se tiene los siguientes pasos:

1. A través de un navegador, se accede a la IP por defecto 192.168.1.2 y como se muestra a continuación se requiere de identificadores de accesos, estos por defecto son (Username: ubnt / Password: ubnt)

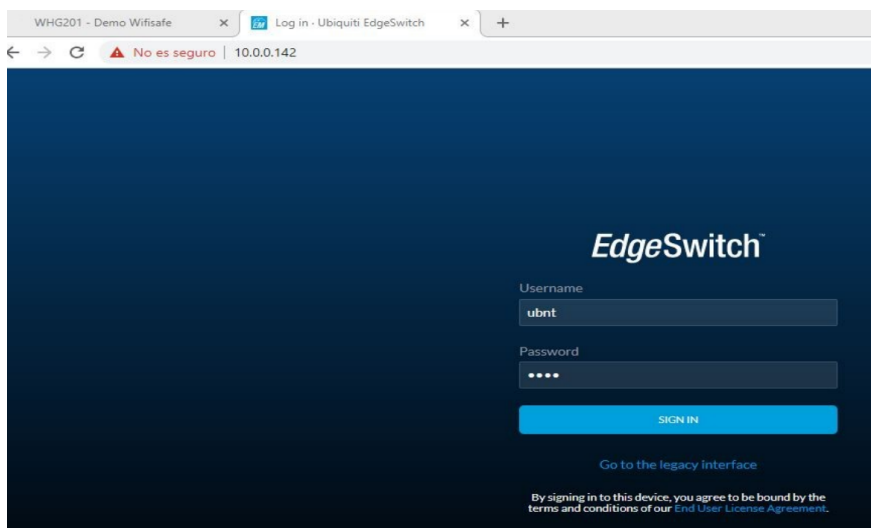


Figura 255.- Interfaz de acceso EdgeSwitch.  
Elaborada por el autor

2. Para crear VLANs en el switch nos dirigimos al menú “VLANs”, ubicado al lado izquierdo de la interfaz gráfica del switch, posteriormente se crea una nueva VLAN como se muestra a continuación en la figura 256.

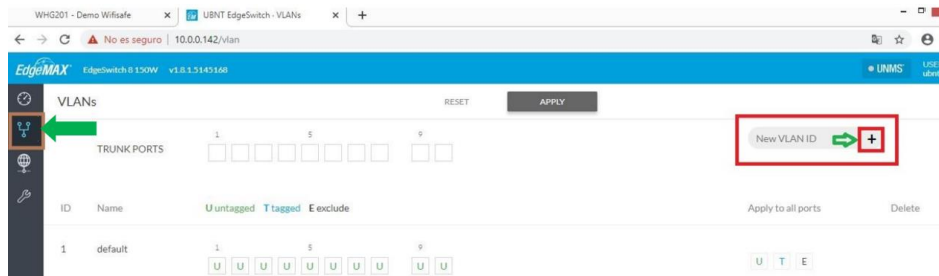


Figura 256.- Menú VLAN Edge Switch.  
Elaborada por el autor

3. Las VLANs creadas deben tener el mismo ID que las creadas en el router RB401 liGSv (véase en la figura 257).

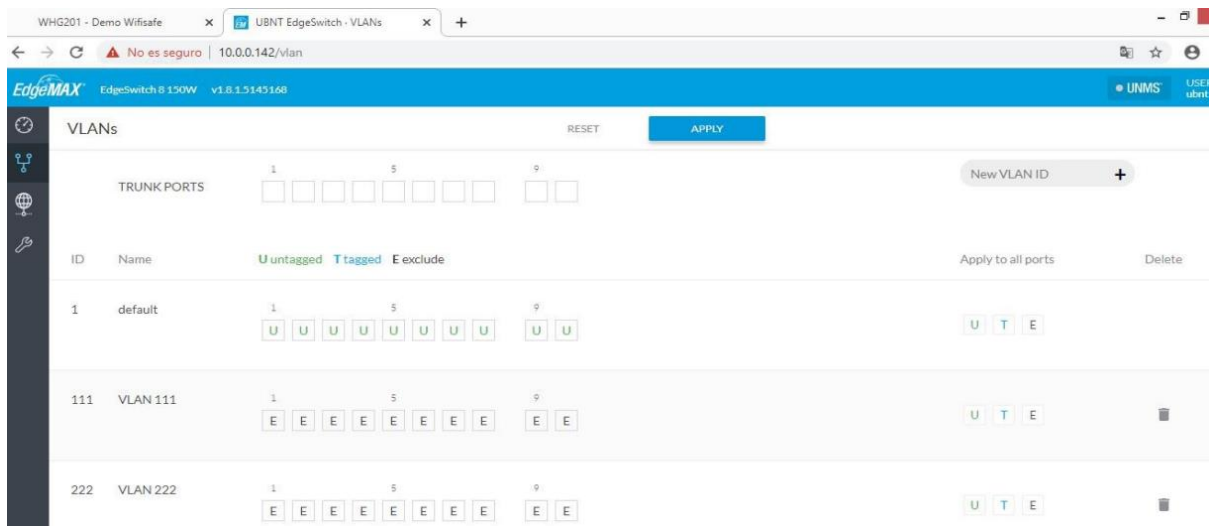


Figura 257.- VLANs creadas (ID: 10/20/49).  
Elaborada por el autor

4. Para definir la acción de los puertos y su asociación en relación con las VLANs se emplean las siguientes etiquetas (véase en la figura 258):
  - Untagged “U” (sin etiquetar): se emplean para que los host o dispositivos conectados al puerto solo puedan comunicarse a una VLAN específica.
  - Tagged “T” (etiquetado): se asigna al puerto donde todo tráfico de entrada o salida debe ser etiquetado con ID para que pueda ser reenviado a donde corresponda.
  - Exclude “E” excluir: el puerto excluido no participa dentro de la VLAN asignada.

	1	5	9
Default	U U U U E E E E		U U
VLAN 10	T E E E E E E U		E E
VLAN 20	T E E E E E U E		E E
VLAN 49	T E E E E U E E		E E

Figura 258.- Concesión de función a puertos ethernet.  
Elaborada por el autor

De esta forma para agregar un dispositivo en una VLAN, se necesita conocer el MAC address del equipo (ONU) y de forma manual agregar a la lista leasses, los pasos se muestran en la figura 259, además, detalles para realizar esta acción se detallan a continuación:

1. La ventana leasses es donde se encuentran los dispositivos agregados.
2. Status: muestra el estado del equipo agregado: “waiting” cuando el equipo no es detectado por el sistema y “bound” cuando el dispositivo cliente ha sido detectado y asignado una IP correctamente.
3. Address: se asigna una dirección IP, esta debe estar en el rango de la red VLAN a la que estará asociada.
4. MAC Address: se introduce el identificador único MAC del dispositivo que formara parte de la red.
5. Server: se selecciona el servidor VLAN según el tipo de plan a ofrecer al abonado.

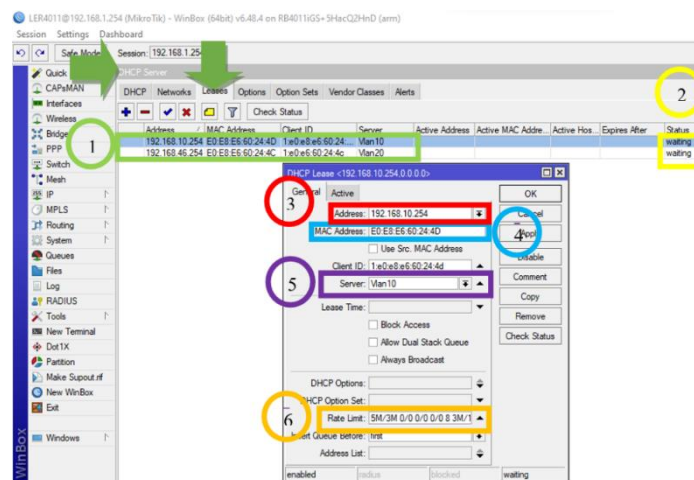


Figura 259.- Asignación de dirección IP.  
Ventana del software WinBox captada por el autor

## REFERENCIAS

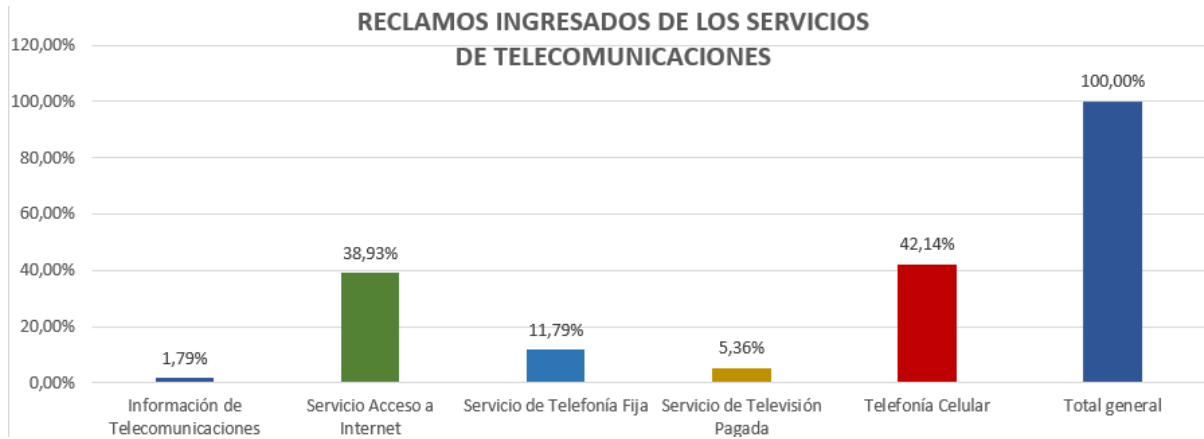
- [1] EY Build a better working World, «Digital transformation for 2020 and beyond,» EYGM Limited, 2020.
- [2] A. García Zaballos, E. Iglesias, M. Cave, A. Elbittar , A. Guerrero , E. Mariscal y W. Webb, «El impacto de la infraestructura digital en las consecuencias del COVID-19 y en la mitigación de efectos futuros,» Banco interamericano de desarrollo, 2020.
- [3] BID, «Conectividad rural en america latina y el caribe,» IICA, 2020.
- [4] F. Zurbano Quintana, «REDES HETEROGÉNEAS Y VIRTUALIZACIÓN PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE LAS REDES MÓVILES,» Revista Telem@tica, Cuba, 2016.
- [5] Agilent Technologies, «Wireless LAN at 60 GHz - IEEE 802.11ad,» Agilent Technologies,, Estados unidos, 2013.
- [6] M. Urresti, J. Linne y D. Basile, Conexión total, Buenos Aires: Grupo editorial universitario, 2015.
- [7] J. Brito Gomez, «Evolucion de las redes moviles hasta hoy en día y el impacto de las red movil de quinta generación,» Universidad Autónoma de sinaloa, Mazatlán, 2019.
- [8] A. O. Salavarría Noboa, «Estudio de desempeño de red 5G para la aplicacion y prestaciones de nuevos servicios en la facultad de educacion tecnica,» Universidad católica de santiago de guayaquil, Guayaquil, 2020.
- [9] S. Cueva Pino, «ESTUDIO DE UN MODELO DE RED MULTISERVICIO NGN,» UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS, Guayaquil, 2016.
- [10] 5GAuRA Consortium, «Application-aware User-centric pRogrammable Architectures for 5G,» 5GAuRA, 2017.
- [11] E. Apú Picado, «Análisis de las tecnologías de redes heterogeneas (Hetnet) en los sistemas móviles,» Universidad de costa rica Facultad de ingenieria, San José, 2012.
- [12] Vaca, Jose; Bernal, Paul; Lara, Román, «Plan de negocios par aimplementaicon de redes heterogeneras (HETNET),» Espe, Sangolquí, 2015.
- [13] L. Matías Rodríguez y M. E. Millán Rodríguez, «Estudio de factividad de un BACKBONE MPLS para brindar servicio de VPN, para acceder a un FILE SERVER desde un punto remoto,» Universidad católica de santiago de guayaquil, Guayaquil, 2010.
- [14] S. A. Zapata Ramirez, «Diseño de una red de FTTH para el acceso de Banda ancha en el condomiinio Galilea- Castilla,» Universidad nacional de PIURA, Piura, 2019.
- [15] ESPOL, «Taller de plan estratégico participativo de la comuna manantial de colonche,» Escuela superior Politécnica del litoral, Guayaquil, 2001.
- [16] J. A. Nieto Quinde, «Diagnóstico de la situación socioeconómica de la comuna manatiasl de colonche,» Universidad estatal península de santa elena, Santa elena, 2018.
- [17] J. P. Tigrero Ortiz , «Análisis y Diseño de Infraestructura de comunicaciones para la comuna manatial de guangala,» Universidad estatal peninsula de santa elena, Santa Elena, 2017.
- [18] W. Carrion Torres y D. Cevallos Cuenca, «Estudio y diseño de la red de fibra optica para el transporte de aplicaciones triple play en el trayecto Cuenca-Giron-Pasaje,» Universidad Politecnica Salesiana , Cuenca, 2011.
- [19] L. Valle, «Los servicios Inalambricos,» C&T- Universidad de palermo, Palermo.

- [20] TeleGeography, «Submarine Cable Map,» TeleGeography, 2021.
- [21] E. Arias, «Infraestructura de red de datos para WISP,» Universidad de buenos aires, Buenos Aires, 2016.
- [22] H. A. Olmos Zorrilla y K. Pinos Arevalo, «Analisi de la factibilidad tecnica y economica para la implementacion de un WISP,» Repositorio institucional de la universidad de guayaquil, Guayaquil, 2017.
- [23] J. Salazar, «Redes Inalambricas,» TechPedia, Praga, 2016.
- [24] C. Pérez Vega, J. Saíñz de la Maza y A. Casanueva López, «Introduccion a los sistemas de telecomunicación,» Universidad de cantabria, santander, 2007.
- [25] S. Gallardo Vázquez, Elementos de sistemas de telecomunicaciones, Madrid: Ediciones Paraninfo SA, 2015.
- [26] L. S. M. Badillo, «Telecomunicaciones I (Redes Locales),» Mtra. Marlene Olga Ramirez Chavero, México, 2014.
- [27] UNITEL, «Normas sobre cable estructurado».
- [28] J. A. Castillo, «PROFESIONALES REVIEW,» Profesional Review, Málaga, 2020.
- [29] Galache, «Cable de par trenzado,» GEEKNETIC, Madrid, 2002.
- [30] C. José, «cable par trenzado características, construccion, tipo y categoria,» 2020.
- [31] M. Rogelio, «Cable de cobre,» Red IRIS, 2007.
- [32] Cervinor, «Cables y conductores electricos especiales,» servi.
- [33] J. Felix, «Cable de par trenzado,» Ecuared, 20.
- [34] N. d. Seguridad, «Elementos de transmision para la seguridad electrónica,» *Líder sobre Empresas, Productos y Servicios de Seguridad*, nº 38, pp. 116-128, 2008.
- [35] V. G. D. F. M.C., «Fundamentos de telecomunicaciones,» INSTITUTO TECNOLOGICO DE MERIDA, Merida, 2016.
- [36] L. G., «CABLE COAXIAL,» elcajondeelectronico.com, 2017.
- [37] V. Carlos, «SISUTELCO,» sisutelco, 2020.
- [38] V. A. Ibrahín, «SISTEMAS DE FIBRA OPTICA».
- [39] Co, Foc Technology, «Tipos de fibra multimodo: OM1 vs OM2 vs OM3 vs OM4 vs OM5,» Fibresplitter, 2019.
- [40] UIT, «Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos,» Suiza, Ginebra, 2003.
- [41] UIT, «Gigabit-capable passive optical networks (G-PON):,» Switzerland, Geneva, 2020.
- [42] UIT-T, «Unión InternacionaL de Telecomunicaciones REC-G.984.5,» UIT-REC, 2022.
- [43] UIT-T, «Unión Internacional de Telecomunicaciones REC-G984.6,» UIT-REC, 2008.
- [44] TRICALCAR, «Estándares en tecnologías Inalámbrica,» Asociación Civil Nodo TAU, 2007.
- [45] IEEE.org, «Información de membresía y ramas estudiantiles,» IEEE, 2021.
- [46] J. J. Yunquera Torres, «Diseño de una red Wi-Fi para la E.S.I,» ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS DE SEVILLA, Sevilla, 2005.
- [47] J. J. Aguis Horno, «Redes de Área local Inalambricas,» Universidad de sevilla, Sevilla, 2008.
- [48] D. M. Arguello, «Gigabit Wi-Fi: Visión general y desafíos técnicos,» Universidad Nacional de La plata, La plata, 2016.

- [49] Business Wire, «FCC Adopts New Rules for Unlicensed V-Band, Extending the Coverage to 57-71 GHz,» Vubiq Networks, Inc., Irvine, 2016.
- [50] MathWorks, «Beamforming,» MathWorks, 2022.
- [51] J. Hernandez Ontiveros, «Protocolo de control de acceso al medio (MAC) basado en CSMA/CA,» CICESE, Mexico, 2007.
- [52] O. Alimenti, G. Reggiani y G. Friedrich, «Evaluacion de EDCA 802.11e en tiempo real con agrupamiento por clase de prioridad,» Red de Universidades con Carreras en Informática (RedUNCI), La plata, 2012.
- [53] J. A. Lorenzo, «Realiza un enlace Wi-Fi de varios kilómetros con estas antenas,» Redes Zone, 2020.
- [54] E. Mier Ruiz, «Protocolo de enrutamiento RIP, OSPF y EIGRP,» Universidad tecnologica de bolivar , Cartagena, 2008.
- [55] CISCO, «Introduccion a OSPF,» CNNA, 2020.
- [56] E. Castro Ullauri, «Disño y simulacion de una red MPLS para interconectar estaciones remotas utilizando el emulador GNS3,» Universidad politecnica salesiana , Guayaquil, 2015.
- [57] J. Barbera, «MPLS: Una arquitectura de backbone para la Internet del siglo XXI,» RedIRIS, 2007.
- [58] National Geographic, «Qué es el 5G y cómo nos cambiará la vida,» National Geographic, España, 2019.
- [59] M. CID, «Aplicaciones de la tecnologia 5G,» Xataka, España, 2015.
- [60] Federal Communications Commission, «Broadband Speed Guide,» FCC, Washington, 2020.
- [61] EL UNIVERSO, «Noticias El Universo,» 2021.
- [62] P. Garcia Garnacho, «Manual de uso de Radio Mobile,» UPC, Catalunya, 2006.
- [63] K. Suqui Carchipulla, «Estudio e implementacion de un radio enlace con tecnologia Mikrotik para el I.S.P. JJsistemas en el canton Gualaquiza,» Universidad politecnica salesiana, Cuenca, 2010.
- [64] SYSCOM, «Manual de Usuario v1.0,» CISCO.
- [65] M. Fuszner, «Graphical Network Simulator,» GNS3.
- [66] S. De la Luz, «GNS3,» Redes Zone, 2015.
- [67] GNS3, «Introduccion a GNS3,» GNS3.
- [68] HUAWEI, «Introduccion al simulador de red de Huawei eNSP,» Huawei, 2019.
- [69] Amit Bhatt, «AutoCAD 2022 - Beginners Guide,» CADFolks, 2021.
- [70] R. «Geocoding, coordenadas y aplicación GPS con UTM Geo Map,» GLS, Madrid, 2018.
- [71] C. Carut y M. Zappettini, «Google Earth una herramienta para la enseñanza,» Facultad de humanidades y ciencias de la educacion, La plata, 2009.
- [72] H. H. D. Ortiz, Redes Inalambrica, Lima: Marco, 2009.
- [73] O. Chacon Galarza, «Diseño de una red inalambrica utilizando la tecnologia WIMAX para proveer servicio de internet en la zona urbana de la ciudad de Iatacunga,» Universidad catolica del ecuador, Quito, 2017.
- [74] I. Pellejero, «Manual de Cálculo de coberturas con Radio Mobile,» Proteccion Civil España, Barcelona.

- [75] V. Ridins, «60 GHz PTP and P2MP multipoint capabilities,» MUM Bulgaria, Latvia, 2019.
- [76] R. Anrrango, «Calcular el ancho de banda por cliente,» 2015.
- [77] E. Coimbra G., «Calculos de radioenlaces,» Coimbra, 2013.
- [78] J. Martínez, «Zonas de fresnel en un radioenlace,» Prored, 2018.
- [79] J. Torres y A. Pinto Mangones, «Modelo para la estimación de las pérdidas de propagación en redes WLAN,» Scielo, Cordoba , 2016.
- [80] UIT-R, «Atenuación debida a los gases atmosféricos,» UIT, 2019.
- [81] UIT-R, «Noción de perdidas de transmision en los enlaces radioelectricos,» UIT, 2016.
- [82] J. Muñoz Jiménez, «Planificacion y administracion de redes,» Sphinnx, 2017.
- [83] Gecko, «Wifi 802.11 a,b,g,n,ac,ad,» Gecko, 2022.
- [84] ARCOTEL, «Resolucion ARCOTEL 2018,» ARCOTEL, Quito, 2018.
- [85] UIT, «Recomendaciones UIT-R M.1450-5,» ITU, Ginebra, 2014.
- [86] Secretaria General Juridica, «Reglamento General a la ley organixa de telecomunicaciones,» Lexis, Quito, 2016.
- [87] ARCOTEL, «Instructivos y formatos: Red privada,» ARCOTEL, Quito, 2016.
- [88] INEC, «Tecnologias de la informacion y comunicaciones (TIC'S) 2013,» Ecuadorencifras, quito, 2013.
- [89] Enciclopedia Económica, «Enciclopedia Económica,» 2022.
- [90] Matias, Torres, «Rankia,» 2021.
- [91] Crehana, «Crehana,» 2021.
- [92] Solunion, «Solunion,» 2020.
- [93] HUAWEI, «Hardware Description choLife HG8310M,» Huawei.
- [94] TP-link, «Convertidor Multimedia SFP Gigabit, 1 Puerto RJ45 1000 Mbps, 1 Puerto SFP,» Tp-link, 2022.
- [95] Ubiquiti Network, «Edge Switch 10x,» UI.

## ANEXOS



*Anexo 1.- Reclamos de los Servicios de telecomunicaciones.  
Autor: ARCOTEL 2021*

### Anexo 2



*Anexo 2.- Test de velocidad WISP.  
Imágenes capturadas por el autor*





Universidad Estatal Península de Santa Elena  
Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones  
Encuesta dirigida a los usuarios de la comuna  
Manantial de Colonche



**Objetivo:** Evaluar la calidad del servicio que la actual infraestructura de telecomunicación brinda a los usuarios de la comuna Manantial de Colonche y estimar la aceptación de un cambio de infraestructura.

**Instrucciones:** Marque con una X la opción deseada.

1. ¿Qué tan familiarizado se encuentra con los servicios de las redes de comunicaciones?  
Mucho  Poco  Nada
2. ¿Cuenta con uno o más de los siguientes servicios de telecomunicaciones?  
Internet  Televisión por cable  Televisión satelital   
Telefonía fija  Ninguna
3. ¿Cuál es el proveedor a los que usted ha contratado el servicio de internet?  
CNT  Netlife  Salinas Net  Manantial Net  Otro
4. ¿Qué tipo de plan tiene contratado?  
1Mbps - 4Mbps (Menos de \$20)  4Mbps - 5Mbps (\$20 - \$26)   
6Mbps - 10Mbps (\$27 - \$31)  10Mbps - 15Mbps (más de \$31)
5. ¿Cuál es el tiempo promedio diario que utiliza el servicio de "Internet"?  
1 - 2 Horas  3 - 5 Horas  6 - 8 Horas  10 - 12 Horas
6. ¿Cuáles son los principales usos que le da al internet?  
Noticias  Estudios  Entretenimiento
7. ¿Qué grado de satisfacción tiene del servicio que posee en su hogar?  
Muy satisfecho  Satisfecho  Insatisfecho  Indiferente
8. ¿Cuál de las siguientes opciones, considera usted que es el problema del servicio que posee?  
Velocidad  Disponibilidad  Seguridad  Calidad
9. ¿Cree conveniente el cambio de infraestructura de red por el cual usted actualmente recibe el servicio de internet?  
Si  No  Tal vez
10. ¿Usted estaría de acuerdo en pagar una cantidad mayor o igual de la que cancela por un mejor servicio?  
Si  No  Tal vez
11. ¿Qué tan importante considera usted, que es el servicio de internet en la actualidad?  
Muy importante  Importante  No importante  Indiferente
12. ¿Cree usted que los servicios de telecomunicaciones ayudan al desarrollo de los sectores rurales?  
Si  No  Tal vez

*Anexo 3.- Formato de encuesta.  
Imagen elaborada por el autor*

TCB

GRANT OF EQUIPMENT  
AUTHORIZATION

TCB

Certification  
Issued Under the Authority of the  
Federal Communications Commission  
By:

Timco Engineering, Inc.  
849 NW State Road 45  
Newberry, FL 32669

Date of Grant: 03/05/2018  
Application Dated: 03/02/2018

Mikrotikls SIA  
Brivibas gatve 214i  
Riga, LV-1039  
Latvia

Attention: Edmunds Zvegincevs , engineer, R&D

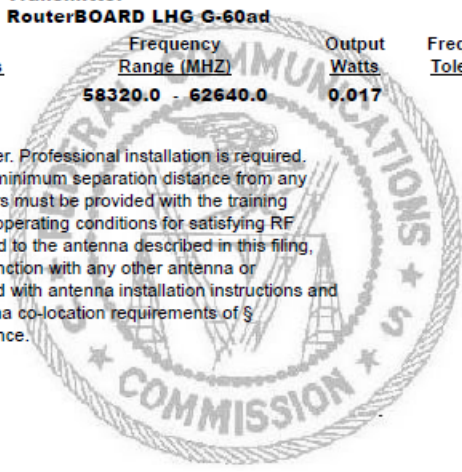
NOT TRANSFERABLE

EQUIPMENT AUTHORIZATION is hereby issued to the named GRANTEE, and is VALID ONLY for the equipment identified hereon for use under the Commission's Rules and Regulations listed below.

FCC IDENTIFIER: TV7LHGG60AD  
Name of Grantee: Mikrotikls SIA  
Equipment Class: Part 15 Low Power Communication Device  
Transmitter  
Notes: RouterBOARD LHG G-60ad

<u>Grant Notes</u>	<u>FCC Rule Parts</u>	<u>Frequency Range (MHZ)</u>	<u>Output Watts</u>	<u>Frequency Tolerance</u>	<u>Emission Designator</u>
	15C	58320.0 - 62640.0	0.017		

Output Power listed is maximum conducted power. Professional installation is required. This device must be installed so as to provide a minimum separation distance from any persons of at least 51 cm. Installers and operators must be provided with the training information, antenna installation and transmitter operating conditions for satisfying RF exposure compliance. Use of this device is limited to the antenna described in this filing, and must not be co-located or operating in conjunction with any other antenna or transmitter. Users and installers must be provided with antenna installation instructions and transmitter operating conditions, including antenna co-location requirements of § 1.1307(b)(3), for satisfying RF exposure compliance.



Anexo 4.- Certificado de autorización FCC.  
Imágenes capturadas por el autor

Product code	RBLHGG-60adkit
Units	2
CPU	Quad-core ARM Cortex A7, 716 MHz
Size of RAM	256 MB
Storage	16 MB Flash
10/100/1000 Ethernet ports	1
Wireless	Built-in 60 GHz 802.11ad
Wireless chip model	QCA6335
PoE in	802.3af/at
Supported input voltage	12 V - 57 V (802.3af/at and passive PoE)
Operating temperature	-40 C .. +70 C
Dimensions	Ø 391 x 222 mm
Max Power consumption	5 W
License level	3

## LHG 60G kit

- For distances up to 1500 m+
- Antenna gain 42 dBi
- Total EIRP under 55dBm
- EN 302 217 – Fixed Point to Point compliant
- License level 3



*Anexo 5.- Especificaciones técnicas RBLHGG-60.  
Imágenes capturadas de "mikrotik.com"*

Product code	RBLHG-5nD (International) RBLHG-5nD-US (USA)
CPU nominal frequency	600 MHz
Size of RAM	64 MB
Storage	16 MB Flash
10/100 Ethernet ports	1
Wireless	Built-in 5 GHz 802.11a/n, dual-chain
Wireless regulations	Specific frequency range can be limited by country regulations
Wireless chip model	AR9344
Operating frequency	International 5150 - 5875 MHz
	USA 5170 - 5250 MHz 5725 - 5835 MHz
Antenna gain	24.5 +/- 0.5 dBi
Antenna beam width	7°
Cross polar	15 dBi
Port to port isolation	20 dB
Front to back ratio	25 dB
Return loss	10 dB
VSWR	1.925:1
PoE in	Yes
Supported input voltage	11 V - 30 V (passive PoE)
Wind loading	186N @ 205 km/h
Operating temperature	-40 to 70° C
Operating humidity	5 to 95% noncondensing
Shock and vibration	ETSI300-019-14
ETSI specification	EN 302 326 DN2
Dimensions	Ø 391 x 222 mm; package 450 x 450 x 145 mm
Weight	Unit: 560 g; package: 1.98 kg
Max Power consumption	6 W

*Anexo 6.- Especificaciones técnicas RBHG-5nD.  
Imágenes capturadas de "mikrotik.com"*



*Anexo 7.- Perfil Territorial parroquia Colonche.  
Imágenes elaborado por el autor*

## IMÁGENES DEL TERRITORIO RURAL MANANTIAL DE COLONCHE



*Anexo 8.- Comuna Manantial de Colonche.  
Imagen tomada por el autor*



*Anexo 9.- Escuela "Luis Eduardo Rosales Santos".  
Imagen tomada por el autor*



*Anexo 10.- Entrada a la comunidad Manantial de Colonche.  
Imagen tomada por el autor*



*Anexo 11.- Vista lateral de la comunidad.  
Imagen tomada por el autor*

## INFRAESTRUCTURA DE WISPS EXISTENTES



*Anexo 12.- Punto de Recepción y Distribución.  
Imagen tomada por el autor*



*Anexo 13.- Estructura de alimentación y gestión de equipos.  
Imagen tomada por el autor*



*Anexo 14.- Equipo local del cliente CPE.  
Imagen tomada por el autor*



*Anexo 15.- Suscriptores de WISP.  
Imagen tomada por el autor*



## INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA EXISTENTE



*Anexo 16.- Calle principal Manantial de colonche.  
Imagen tomada por el autor*



*Anexo 17.- Vía Barrio Santa Carmen.  
Imagen tomada por el autor*

### Impacto del incremento en la conectividad de banda ancha en el hogar

País	PIB/persona (dólares)	Ganancia en confinamiento de 3 meses (dólares)	Ganancia en confinamiento de 6 meses (dólares)
Argentina	14.500	2.625	6.250
Brasil	16.700	3.175	7.350
Chile	15.000	2.750	6.500
Colombia	6.430	608	2.215
Costa Rica	11.570	1.893	4.785
Ecuador	6.220	555	2.110
Guatemala	4.470	118	1.235
Perú	15.000	2.750	6.500
México	9.200	1.300	3.600
Paraguay	5.800	450	1.900
República Dominicana	7.220	805	2.610
Uruguay	16.350	3.088	7.175
Venezuela	11.100	1.775	4.550

Anexo 18.- Incremento de hogares con conectividad de países latinoamericanos.  
Imagen tomada de trabajo "Conectividad rural en América latina y el caribe"

### ESTUDIO DE CAMPO



Anexo 19.- Toma de puntos geográficos (postes).  
Imagen tomada por el autor



Anexo 20.- Encuesta a la comunidad "Manantial de Colonche".  
Imagen tomada por el autor



Anexo 21.- Entrevista con el presidente de la Comuna Manantial de Colonche.  
Imagen tomada por el autor

## PRUEBAS DE ENLACES



Anexo 22.- Direccionamiento de para correcto enlace.  
Imagen tomada por el autor



Anexo 23.- Antena con direccionamiento a la Tx.  
Imagen tomada por el autor

## IMPLEMENTACIÓN DE MÁSTIL



Anexo 24.- Instalación de soporte de retenidas en mástil.  
Imagen tomada por el autor



Anexo 25.- Instalación de base/sopORTE de mástil 4m.  
Imagen tomada por el autor



Anexo 26.- MÁSTIL 4m sobre el laboratorio de telecomunicaciones "UPSE".

Imagen tomada por el autor

## PRESUPUESTO PARA GASTO DE CAPITAL Y GASTOS DE OPERACIONES

Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Total
1	RBLHGG-60 AD KIT	\$420.00	\$420.00
1	RB3011 UIAS-RM	\$250.00	\$250.00
1	RB4011Igs+5HacQ2HnD-IN	\$430.00	\$430.00
1	UF-OLT-4	\$1800.00	\$1800.00
	<b>Total</b>		\$2900.00
	<b>Iva</b>		\$348.00
	<b>Total + IVA</b>		\$3371.20

Anexo 27.- Presupuesto de elementos activos de la propuesta tecnológica.

Imagen tomada por el autor

Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Total
25	Cable acerado 1/8" (7 hilos)	\$0,33	\$8,25
4	Tubo Galv. 2" (50.8x2mm)	\$6,00	\$24,00
6	Guardacabos inoxidable 1/4"	\$0,65	\$3,9
4	Perno de expansión 1/2"x 2- 1/4"	\$0,50	\$2,00
12	Grillete para cable 3/16"	\$0,82	\$9.84
3	Templadores	\$0,58	\$1,74
1	Broca debor Germany P. concreto	\$2,00	\$2,00
1	Soporte para mástil 2"	\$30,00	\$30,00
<b>Total</b>			<b>\$81,73</b>

Anexo 28.- Presupuesto de elementos para implementación del mástil.

Imagen tomada por el autor

Cantidad	Unidad	Descripción	Valor Unitario	Total
1000	m	Cable aéreo fibra óptica ADSS 12 hilos	\$1,26	\$1.260,00
400	m	Cable fibra óptica (DROP) 1 hilo	\$77,00	\$77,00
10	U	Caja de empalme fibra óptica 12 hilos	\$64,99	\$649,90
1	U	Splitter 1:16	\$101,05	\$101,05
1	U	Splitter 1:2	\$28,67	\$28,67
4	U	NAP 1:16	\$100,23	\$400,92
9	U	NAP 1:8	\$92,71	\$834,39
6	U	Poste de hormigón 10 m	\$316,22	\$1.897,32
<b>Total</b>				<b>\$5.249,25</b>

Anexo 29.- Presupuesto de red de distribución.  
Tabla elaborada por el autor.

Cantidad	Unidad	Descripción	Valor Unitario	Total
1000	m	Tendido de cable aéreo ADSS 12 hilos de fibra óptica G.652.D	\$0,41	\$410,00
400	m	Tendido de Cable aéreo ADSS 1 Hilos de Fibra Óptica	\$0,41	\$164,00
10	u	Instalación de caja de empalme para la instalación de Splitter	\$21,00	\$210,00
13	u	Instalación en poste de NAP porta Splitter 16 conectores, 8 conectores	\$27,50	\$357,50
13	u	Instalación de Splitter 1:8, 1:16 conectorizados para instalación en NAPs	\$3,00	\$39,00
10	u	Sangrado de cable de FO 12H	\$5,00	\$50,00
22	u	Fusiones por hilo	\$6,90	\$151,80
1	u	Armario de hormigo prefabricado	\$398,41	\$398,41
<b>Total</b>				<b>\$1.780,71</b>

Anexo 30.- Presupuesto en mano de obra.  
Tabla elaborada por el autor.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor Mensual</b>	<b>Valor Anual</b>
<b>1</b>	Plan BACKUP Corporativo CNT 350Mbps (\$5,28 por Mbps)	\$1.890,24	\$22.682,88
<b>1</b>	Servicio Técnico	\$425,00	\$5.100,00
<b>10</b>	Arriendo	\$200,00	\$2.400,00
<b>13</b>	Servicios Básicos	\$80,00	\$960,00
<b>TOTAL</b>		<b>\$2.595,24</b>	<b>\$31.142,88</b>

*Anexo 31.- Gastos de operación.*

*Tabla elaborada por el autor.*