

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÓMICO DE TECNOLOGÍAS DE  
ACCESO PARA PROVEER SERVICIOS DE INTERNET EN POBLACIONES  
RURALES EN LA COSTA ECUATORIANA

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo a la obtención del título de:

**Ingeniero en Telecomunicaciones**

Presentado por:

Juan Xavier Nicola Guim

Jordy Reynaldo Sánchez Llanos

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a Dios; a mis padres, quienes son el motor de mi vida. A mi familia, que en todo momento me ayudó a crecer como persona y a mis compañeros y amigos que convirtieron el paso por la universidad en un recuerdo memorable.

**Juan Xavier Nicola Guim**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a mi mamá, quien fue mi sustento en mi vida. A mi hermanos, que en todo momento me ayudaron a crecer como persona y a mis amigos que convirtieron mi vida como universitario en un recuerdo memorable.

**Jordy Reynaldo Sánchez Llanos**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos de manera especial al ingeniero César Yépez, tutor de nuestro proyecto, quien en todo momento nos guió y compartió su conocimiento y experiencia de años de trayectoria académica y profesional.

A la doctora María Antonieta Álvarez, por su acompañamiento en la consecución del proyecto y sus acertados comentarios y correcciones.



## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Juan Xavier Nicola Guim y Jordy Reynaldo Sánchez Llanos damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

---

Juan Xavier Nicola Guim

---

Jordy Reynaldo Sánchez Llanos

## EVALUADORES

**María Antonieta Álvarez, Ph.D.**

PROFESORA DE LA MATERIA

**César Yépez, M.Sc.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El acceso a internet es una herramienta imprescindible en la vida moderna. En la actualidad, existe una brecha considerable en el acceso a este servicio entre zonas urbanas y rurales. Bajo este contexto, el presente proyecto pretende otorgar una contribución para reducir esta brecha para ser recogida por el sector de creación de políticas de telecomunicaciones y empresarios.

Se presentó una comparativa técnica y económica de tecnologías de acceso para brindar servicios de internet a poblaciones rurales. Para esto, se determinaron las variables y parámetros involucrados y, mediante un estudio, se obtuvieron diseños de red bajo un esquema inalámbrico y de fibra óptica. También se implementó de manera física la red inalámbrica para obtener resultados reales y contrastarlos con los calculados. Finalmente, se determinaron los costos en términos de CapEx y OpEx de ambas redes.

Dado esto, se concluye que, para poblaciones rurales de baja densidad y número de usuarios, es más conveniente la implementación de redes inalámbricas, pero para mayores densidades y número de usuarios, las redes de fibra óptica son una alternativa atractiva en términos técnicos y económicos.

**Palabras Clave:** internet, rural, red de acceso, gpon, wireless local loop

## **ABSTRACT**

*Internet access is an considered a basic service in modern life. At the moment, there is a considerable gap in access to this service between urban and rural areas. In this context, this project aims to provide a contribution to reduce this gap, presenting a study to be taken into consideration by telecommunication policy makers and businessmen.*

*A technical and economic comparison of access technologies to provide internet services to rural areas was presented. For this, variables and parameters involved were determined and wireless and fiber optics networks were designed. The wireless network was also implemented to obtain real results and compare them with theoretical ones. Finally, CapEx and OpEx were calculated for both networks.*

*Given this, it is concluded that, for rural areas with low density and number of users, the implementation of wireless networks is more convenient, but for higher densities and number of users, fiber optic networks are an attractive alternative in both technical and economic terms.*

*Keywords: internet, rural, access network, gpon, wireless local loop*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ÍNDICE DE FIGURAS .....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Objetivos .....	5
1.2.1 Objetivo General.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos .....	5
1.3 Marco teórico .....	5
1.3.1 Red de acceso.....	6
1.3.2 Bucle local inalámbrico .....	7
1.3.3 División de tiempo por acceso múltiple .....	8
1.3.4 Fibra hasta el hogar.....	11
2. Diseño de enlaces de comunicación en poblaciones rurales.....	14
2.1 Diseño del radioenlace.....	15
2.1.1 Diseño de red de transporte Punta Blanca – Olón .....	19
2.1.2 Diseño Red de Acceso Olón – Cliente final.....	29
2.2 Diseño del enlace de fibra óptica .....	36
2.2.1 Diseño de red de acceso GPON Olón.....	41
2.3 Capacidad de la salida a internet.....	54
3. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RADIOENLACE.....	55
3.1 Parámetros a nivel de capa física .....	55

3.1.1	Selección de la frecuencia de trabajo.....	55
3.1.2	Análisis de resultados.....	59
3.2	Parámetros a nivel de capa de red .....	64
3.2.1	Latencia y jitter .....	64
3.2.2	Velocidad de carga y descarga .....	66
4.	Análisis económico.....	68
4.1	CapEx .....	68
4.1.1	Red inalámbrica.....	68
4.1.2	Red de fibra óptica .....	69
4.2	OpEx .....	69
4.2.1	Red inalámbrica.....	70
4.2.2	Red de fibra óptica .....	70
4.3	Análisis comparativo .....	71
4.3.1	CapEx.....	71
4.3.2	OpEx.....	73
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	78
5.1	Conclusiones.....	78
5.2	Recomendaciones .....	82
	BIBLIOGRAFÍA.....	83
	ANEXOS.....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Acceso a internet en el Ecuador [5].	1
Figura 1.2 Acceso a internet por tecnologías [5].	2
Figura 1.3 Esquema de red de acceso [6].	6
Figura 1.4 Esquema punto a multipunto [10].	8
Figura 1.5 División por espacios de tiempo en TDMA [13].	10
Figura 1.6 Arquitectura de una conexión de fibra óptica [16].	12
Figura 2.1 Vista aérea de la comuna de Olón.	14
Figura 2.2 Esquema enlace troncal Punta Blanca – Olón.	20
Figura 2.3 Vista satelital nodo Punta Blanca.	21
Figura 2.4 Vista satelital nodo Olón.	21
Figura 2.5 Torre de comunicaciones nodo Olón.	22
Figura 2.6 Antena ePMP Force 200 [34].	23
Figura 2.7 Patrón de elevación ePMP Force 200.	24
Figura 2.8 Simulación de la línea de vista entre los nodos Punta Blanca y Olón.	26
Figura 2.9 Patrones de radiación de las antenas respecto al enlace Punta Blanca – Olón.	27
Figura 2.10 Área de cobertura estimada enlace Punta Blanca – Olón.	27
Figura 2.11 Esquema punto-a-multipunto de red de acceso en Olón.	29
Figura 2.12 Vista satelital residencia cliente final.	30
Figura 2.13 Antena ePMP Force 180 [43].	31
Figura 2.14 Patrón de elevación antena ePMP Force 180.	32
Figura 2.15 Simulación de la línea de vista para el enlace Olón - Cliente final.	33
Figura 2.16 Patrones de radiación de las antenas respecto al enlace Olón - Cliente final.	34
Figura 2.17 Área de cobertura estimada de la red de acceso.	34
Figura 2.18 Estructura de un cable de fibra óptica [45].	37
Figura 2.19 División de Olón por zonas.	42
Figura 2.20 Esquema de fibra óptica antes de la división por splitters.	43
Figura 2.21 Esquema de división óptica zona 1.	44
Figura 2.22 Esquema de división óptica zona 2.	45
Figura 2.23 Esquema de división óptica zona 3.	45

Figura 2.24 Ubicación de elementos de red GPON en la zona 1.....	47
Figura 2.25 Ubicación de elementos de red GPON en la zona 2.....	48
Figura 2.26 Ubicación de elementos de red GPON en la zona 3.....	49
Figura 2.27 Presupuesto de pérdida óptica en una red de fibra [52]. .....	51
Figura 2.28 Delimitación de pérdidas ópticas por etapas.....	52
Figura 3.1 Análisis espectral en Olón en la banda de 5.7 GHz.....	55
Figura 3.2 RSSI en el Access Point. ....	60
Figura 3.3 SNR en el Access Point. ....	61
Figura 3.4 RSSI en la antena del cliente final. ....	62
Figura 3.5 SNR en la antena del cliente final. ....	63
Figura 3.6 Disponibilidad del servicio de internet. ....	64
Figura 3.7 Valores de latencia para la red inalámbrica. ....	65
Figura 3.8 Valores de jitter para la red inalámbrica.....	66
Figura 3.9 Velocidades de carga y descarga de la red inalámbrica.....	67
Figura 4.1 CapEx por usuario.....	73
Figura 4.2 OpEx por usuario. ....	76
Figura 4.3 Costo de la salida a internet respecto al OpEx total en la red de fibra óptica...	77
Figura 4.4 Costo de la salida a internet respecto al OpEx total en la red inalámbrica. ....	77



## ÍNDICE DE TABLAS

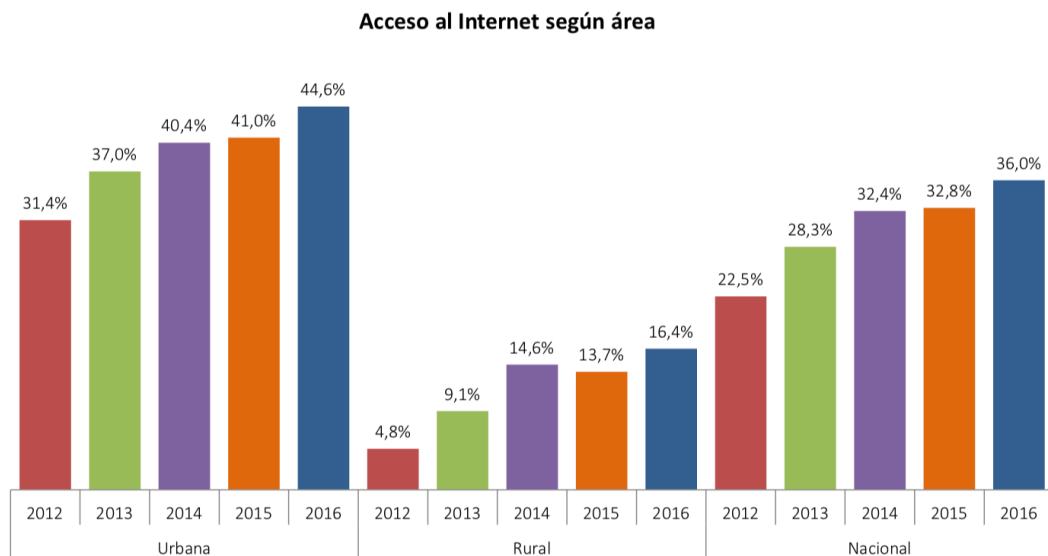
Tabla 2.1 Especificaciones técnicas ePMP Force 200 [35].....	23
Tabla 2.2 Protección IP ePMP Force 200. ....	25
Tabla 2.3 Coordinadas ubicación enlace inalámbrico.....	25
Tabla 2.4 Parámetros de propagación enlace Punta Blanca - Olón. ....	28
Tabla 2.5 Especificaciones técnicas ePMP Force 180.....	31
Tabla 2.6 Coordinadas de ubicación de los nodos del enlace de acceso.....	32
Tabla 2.7 Parámetros de propagación enlace Olón - Cliente final. ....	35
Tabla 2.8 Estructura de un cable de fibra óptica. ....	36
Tabla 2.9 Tipos de fibra óptica. ....	37
Tabla 2.10 Conectores de fibra óptica.....	38
Tabla 2.11 Elementos de hardware de una red GPON.....	39
Tabla 2.12 Usuarios de red GPON por zonas.....	42
Tabla 2.13 Equipos a utilizar en la red de fibra óptica.....	50
Tabla 2.14 Pérdidas ópticas por etapas. ....	53
Tabla 2.15 Cálculos de pérdidas ópticas.....	53
Tabla 3.1 Tasas de datos por índices MCS [57]. ....	58
Tabla 4.1 CapEx de la red inalámbrica. ....	68
Tabla 4.2 CapEx de la red de fibra óptica. ....	69
Tabla 4.3 OpEx de la red inalámbrica. ....	70
Tabla 4.4 OpEx para la red de fibra óptica.....	70
Tabla 4.5 CapEx red inalámbrica vs red de fibra (sólo equipos terminales de clientes). ...	71
Tabla 4.6 CapEx red inalámbrica vs red de fibra (sólo instalación de la red). ....	72
Tabla 4.7 OpEx red inalámbrica vs red de fibra (costos fijos). ....	74
Tabla 4.8 OpEx red inalámbrica vs red de fibra (costos dependientes de la cantidad de subscriptores). ....	74
Tabla 4.9 Costos de derechos de frecuencia. ....	75
Tabla 4.10 Costos de salida a internet para red inalámbrica. ....	75
Tabla 4.11 Costos de salida a internet para fibra óptica .....	75

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

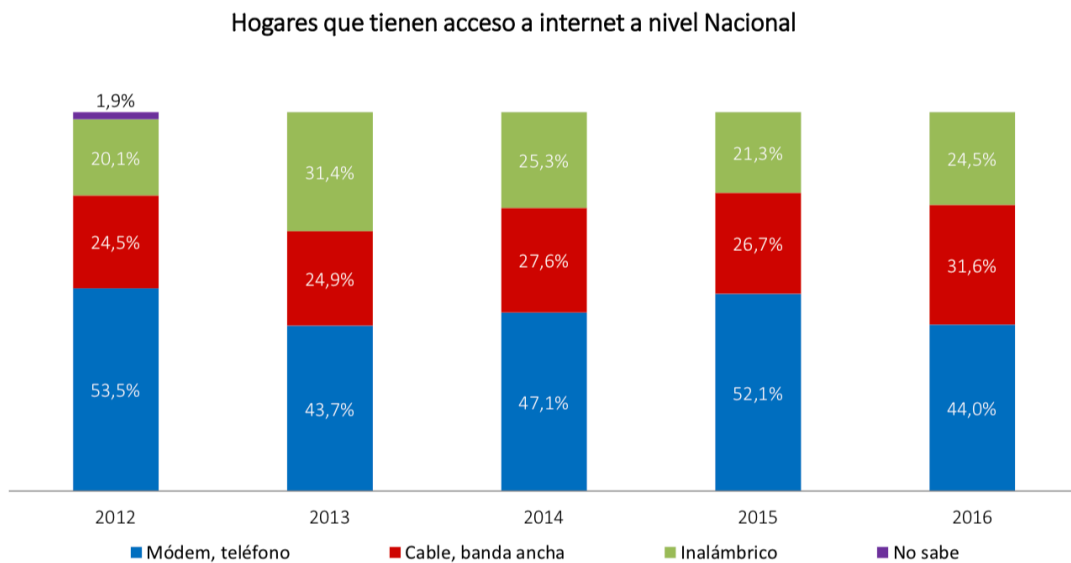
En una sociedad interconectada, el acceso a internet es fundamental para el desarrollo de actividades cotidianas del ser humano moderno. Es por esto, que la Organización de las Naciones Unidas (ONU), declaró el acceso a internet como un derecho humano en el año 2016 [1]. De igual manera contribuye, de manera directa o indirecta, al cumplimiento de al menos siete de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU [2].

En el Ecuador, el internet es un servicio que, aunque ha tenido un crecimiento considerable en los últimos 15 años [3] [4], aún existe demanda por satisfacer. La figura 1.1 muestra el acceso a internet en el país en los años 2012 a 2016, en donde se puede apreciar la marcada brecha urbano-rural.



**Figura 1.1 Acceso a internet en el Ecuador [5].**

Otro dato importante es la diversidad en las formas de acceso (inalámbrico, por teléfono, banca ancha), lo que indica que en el Ecuador se ofrecen servicios comerciales basados en una variedad de tecnologías, siendo esto saludable porque se fomenta la competencia, y además, que los entes reguladores tienen normado el uso de los diferentes medios de transmisión. La figura 1.2 muestra la evolución de la participación de mercado por uso de medios de transmisión.



**Figura 1.2 Acceso a internet por tecnologías [5].**

Como se observa en la figura 1.2, la participación de mercado por las diferentes tecnologías de acceso no ha sufrido grandes variaciones, lo cual es positivo porque no hay una tendencia marcada a desaparecer en ninguna tecnología. Esto permite continuar con seguridad el presente estudio; el esquema de acceso que resulte conveniente no tendrá problemas de implementación técnica, suponiendo la existencia en el país de los equipos, insumos y mano de obra calificada para la satisfactoria instalación y posterior operación de la red.

## 1.1 Descripción del problema

En poblaciones urbanas alrededor del mundo, el acceso a internet se asume como servicio básico. Sin embargo, al alejarnos del núcleo urbano y zonas suburbanas, encontramos ciudades dormitorio (exurbs, en inglés) y zonas rurales donde dicho servicio está provisto por un solo proveedor, o ninguno, teniendo que recurrir en el mejor de los casos a proveedores satelitales, cuya tecnología tiene desventajas inherentes a su forma de implementación. La calidad de servicio (QoS) no es la más idónea para servicios en tiempo real, que dependen de la latencia, y el costo es alto en comparación con otras tecnologías existentes. Aunque existen soluciones discutidas en ambientes académicos, por ejemplo, optimizar los esquemas de multiplexación y del modelo Transmission Control Protocol (TCP/IP) en la capa de transporte [6], estas propuestas deben ser aún recogidas por los fabricantes de equipamiento y ser incorporadas a las líneas de productos comerciales, por lo que tecnología satelital ofrece aún una experiencia sub-par en comparación con la fibra óptica.

Por lo expuesto anteriormente, el presente estudio está enfocado en realizar una comparativa entre dos tecnologías populares de acceso: la fibra óptica y bucle local inalámbrico (WLL, por sus siglas en inglés). Estas tecnologías son ampliamente utilizadas en el mercado local: la fibra óptica es utilizada por proveedores SAI (de Servicios de Acceso a Internet) en zonas urbanas, y el WLL en zonas más dispersas.

Para el desarrollo de la solución, se definió una zona de estudio que comprende la costa ecuatoriana, por su relativa cercanía a zonas urbanas, y la existencia de una red sobre la cual extenderemos el servicio a zonas más distantes de difícil acceso. Específicamente, la existencia de un nodo de red en Punta Blanca está dada por hecho, extendiendo el servicio mediante una red troncal hacia Olón. En esta localidad se diseñará una red de distribución para llevar la señal hasta las instalaciones del suscriptor.

En el cantón Santa Elena, donde se ubica la comuna de Olón, solamente el 7,2% de los hogares tiene acceso a internet [7]. Considerando que, en el país, el acceso a internet desde los hogares en los estratos económicos más pudientes es del 53,8% [8], es evidente que existe una oportunidad de crecimiento en la localidad de Olón para el ingreso de un proveedor de servicios de internet que brinde soluciones de calidad. No obstante, este estudio es desarrollado de tal forma que la solución propuesta sea aplicable a cualquier población con características similares.

Las métricas a evaluar para considerar el rendimiento comparativo entre las mencionadas tecnologías son: la tasa de datos de descarga (downstream); la tasa de datos de subida (upstream); la latencia de la conexión a servidores externos y la fluctuación del retardo entre conexiones (jitter). Para lograrlo, se realizarán pruebas a nivel físico y a nivel de red. Asimismo, se realizará una proyección financiera para pronosticar los resultados financieros futuros del proyecto respecto a las operaciones. Esto tiene como fin demostrar la fiabilidad y estabilidad de la solución en el tiempo a los posibles inversionistas o ejecutores.

El capítulo 2 describe en detalle la formulación de alternativas de solución del proyecto, presentada de manera introductoria en la presente sección, y la metodología de trabajo. También se establece los parámetros de rendimiento que la tecnología a seleccionar debe alcanzar, así como el cumplimiento de la normativa legal vigente.

El capítulo 3 describe exhaustivamente los resultados de la solución de acuerdo con los valores reales medidos y calculados teóricamente según la tecnología.

El capítulo 4 presenta una proyección financiera con su correspondiente análisis de costos, para determinar si la solución es económicamente viable.

Finalmente, el capítulo 5 recoge los resultados del proyecto y describe la importancia y contexto de estos. Se verifica que se hayan cumplido los objetivos propuestos al inicio del proyecto.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Evaluar el esquema de acceso más conveniente para proveedores de servicios de acceso a internet en ambientes rurales, mediante comparación de tecnologías para la provisión del servicio.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

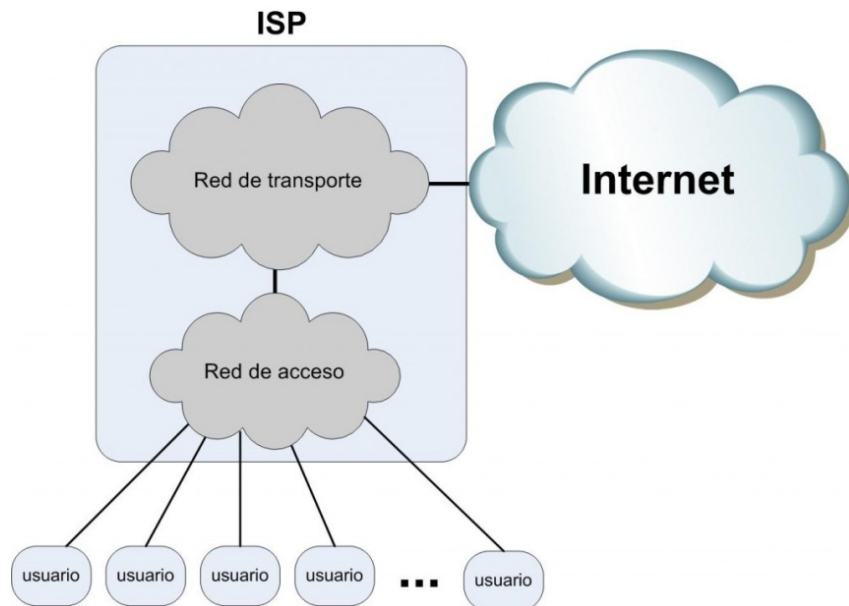
- Definir la tecnología de acceso a internet más idónea mediante la comparación de parámetros técnicos, usando simulaciones a escala de las redes propuestas para asegurar la adecuada experiencia de usuario en aplicaciones multimedia.
- Realizar un despliegue a pequeña escala mediante la implantación de la tecnología en el interior de una urbanización.
- Establecer los costos en bienes de capitales (CapEx) y de operación (OpEx) del proyecto usando proyecciones financieras.

## **1.3 Marco teórico**

Para proveer servicios de internet en poblaciones rurales, se han desarrollado diversas tecnologías de acceso, basadas en medios guiados y no guiados. En esta sección describiremos las tecnologías más representativas utilizadas en la industria por empresas de Servicios de Acceso a Internet (SAI).

### 1.3.1 Red de acceso

La red de acceso es el enlace físico que existe entre los usuarios finales con la central del proveedor de SAI. Esta red la conforman los equipos y medios de transmisión que conectan al usuario con la red de transporte y puede estar basada en medios guiados o no guiados hasta las instalaciones del cliente, específicamente un router doméstico o empresarial. En redes de datos inalámbricas, se agrega una estación radio base receptora y una controladora. La figura 1.3 describe el esquema general de una red de acceso para SAI.



**Figura 1.3 Esquema de red de acceso [6].**

Como se observa en la figura 1.3, la red de acceso es una de las dos principales redes que el proveedor de SAI debe tener bajo su administración. La red de acceso, también llamada de última milla, es la encargada de dirigir el tráfico de red hacia la red de transporte del proveedor. La última milla, conforma la mayor parte de la inversión en una red de telecomunicaciones. Sin embargo, este costo puede ser disminuido haciendo un previo análisis de factibilidad de tecnologías según el lugar donde se desea implementar el servicio [7].

### 1.3.2 Bucle local inalámbrico

El cableado físico entre el cliente y la compañía de telecomunicaciones es denominado bucle local ("local loop") o bucle de abonado. Esto se refiere al uso de canales inalámbricos para proveer servicios, generalmente de internet, a los usuarios finales. En telecomunicaciones, loop, o bucle, se refiere a la circuitería que conecta el equipo en las instalaciones del cliente a la oficina central del proveedor.

WLL ofrece al menos cuatro ventajas sobre su contraparte cableada [8]:

- Facilidad de instalación y despliegue.
- Concentración de recursos.
- El éter no puede ser robado.
- No está sujeto a cortes por accidentes (choques, etc.).

Existen varios esquemas WLL:

- Punto a punto licenciado:
  - Utilizado desde los años 60 para transmitir grandes cantidades de datos. En la actualidad, resulta una alternativa a las líneas T1, T3 y de fibra.
- Punto a multipunto licenciado:
- Punto a multipunto no licenciado:
  - De gran crecimiento en la actualidad. Utilizado principalmente para proveer servicios de internet inalámbrico en las bandas de 900 MHz, 2.4 GHz y 5.8 GHz.

Un esquema punto a multipunto (comúnmente abreviado P2MP) se define como un medio con una única estación base que puede realizar transmisiones de broadcast por medio de una frecuencia determinada hacia un determinado número de receptores, que solamente pueden realizar transmisiones de tipo unicast. Por esto, una característica importante de P2MP, es que los nodos



receptores no pueden comunicarse de manera directa entre sí, como se muestra en la figura 1.4 [9].

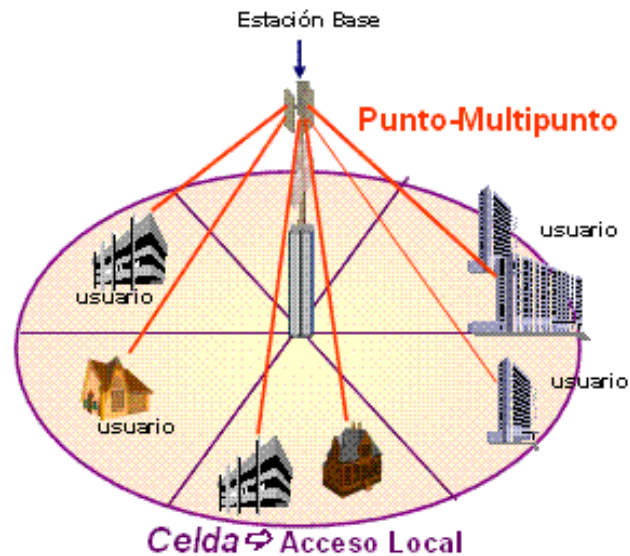


Figura 1.4 Esquema punto a multipunto [10].

La figura 1.4 muestra de manera general, el esquema necesario para la implementación de servicios de internet basados en WLL. La conexión a internet mostrada podría bien tratarse de la red troncal del proveedor de SAI, o de alguna empresa asociada. WLL está diseñado para proveer conexiones de última milla, como se conoce a la red de acceso que conecta abonados con la red central del proveedor.

### 1.3.3 División de tiempo por acceso múltiple

Un método o técnica de acceso múltiple permite a un número determinado de usuarios conectados a un mismo medio, transmitir y recibir información compartiendo su capacidad.

Las técnicas de acceso múltiple permiten que un número determinado de usuarios utilicen un canal único para transmitir y recibir información compartiendo la capacidad del canal. Estas técnicas son especialmente importantes en esquemas inalámbricos de acceso, en donde el único canal de transmisión es el espectro electromagnético y, al ser un recurso finito, y regulado (la asignación de frecuencias se basa muchas veces en subastas públicas y en determinadas franjas según el tipo de servicio), debe ser necesariamente compartido para proveer servicios de SAI [11].

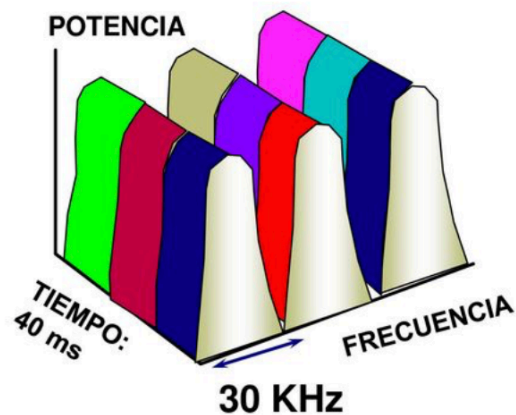
El acceso múltiple por división de tiempo (TDMA, por sus siglas en inglés) es un método que permite transmitir señales digitales. Consiste en utilizar un canal común para comunicaciones entre diferentes usuarios, mediante la asignación de una ranura de tiempo diferente a cada uno.

En TDMA, un conjunto de  $N$  usuarios comparte el mismo canal de radio, pero cada usuario solo usa el canal durante las ranuras predeterminadas. Una trama consta de  $N$  ranuras de tiempo, siendo una para cada usuario. Las tramas se repiten continuamente.

El ancho de banda de transmisión es  $N$  veces el ancho de banda que se necesitaría para acomodar a un solo usuario. Por lo tanto, el receptor puede construirse con filtros más amplios, que son menos costosos y más pequeños que los requeridos para la operación por división de frecuencia. En su mayoría, TDMA se combina con Time Division Duplex (TDD), en la que la transmisión y la recepción no se producen simultáneamente, sino en diferentes ranuras de tiempo. Esto evita la necesidad de costosos filtros dúplex. En un enlace descendente (de base a móvil), TDMA es fácil de implementar, es solo una cuestión de multiplexar  $N$  señales de usuario. En el enlace ascendente (de móvil a base), TDMA es más difícil; las señales de todos los usuarios deben alinearse en el tiempo. A menudo esto se logra a través de un bucle de retroalimentación con información de tiempo. Se requieren tiempos de

encendido y apagado relativamente rápidos para evitar que las señales de los usuarios interfieran con las señales en otras ranuras [12].

La figura 1.5 muestra un ejemplo de la relación frecuencia-tiempo-potencia en el esquema TDMA.



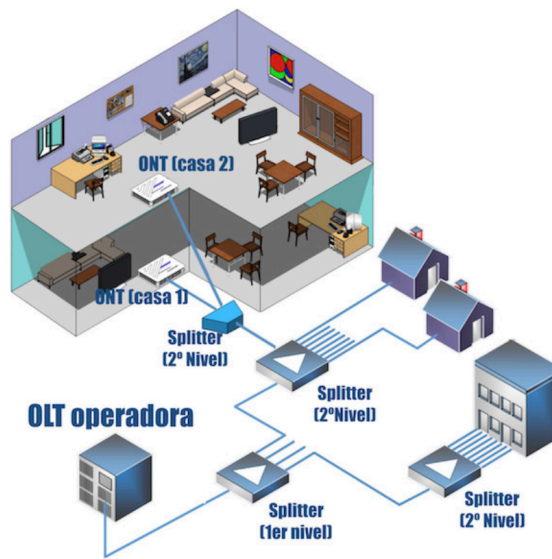
**Figura 1.5 División por espacios de tiempo en TDMA [13].**

En el ejemplo anterior, se observa la característica de división de tiempo en TDMA; a cada usuario se le asigna una porción de frecuencia por un determinado tiempo (40 milisegundos en este caso). Este tiempo muy corto permite la sensación de comunicación en tiempo real para el usuario final, ya que conmutaciones a esa escala se convierte en imperceptible para el ser humano. La frecuencia asignada está dividida en porciones de 30 KHz, conforme las disposiciones de la ex Senatel (ahora Arcotel) para canales de voz [14], a la cual cada usuario accede de manera completa durante el tiempo asignado.

#### **1.3.4 Fibra hasta el hogar**

En la actualidad, la fibra óptica es considerada como una de las mejores formas de proveer servicios de internet. Sin embargo, en zonas rurales, es especialmente costosa la operación de despliegue de infraestructura, dada la baja densidad poblacional y las largas distancias entre subscriptores. La obra civil puede llegar a representar hasta el 80% de los gastos del costo total. Es por esto, que actualmente se investigan formas de proveer servicios basados en la fibra óptica en poblaciones rurales a precios menores [15]. Sin embargo, estos estudios están dirigidos a ser aplicados en países europeos, en donde la realidad política y económica es diferente a la de Ecuador. En el Ecuador existe infraestructura de fibra en redes de transporte instaladas a lo largo del país, por lo que no se descarta el uso de fibras en comunidades que, estando apartadas de centros urbanos del país, gozan de una densidad de usuarios comparable a algunas zonas suburbanas; por lo que consideramos acertado tomar en consideración esta tecnología en nuestro análisis.

Específicamente, la tecnología de fibra óptica utilizada para redes de acceso es fibra hasta el hogar (FTTH, o fiber-to-the-home por sus siglas en inglés). Esta tecnología lleva la fibra directo hasta las instalaciones del cliente residencial. La parte de la última milla es generalmente basada en una red óptica pasiva, como se observa en la figura 1.6.



**Figura 1.6 Arquitectura de una conexión de fibra óptica [16].**

La figura 1.6 muestra un esquema típico de FTTH, en donde se tiende una red de ultima milla desde la central de la operadora, específicamente del equipo terminal óptico (OLT), desde donde se emite la señal en forma óptica, se divide y llega a los usuarios finales a través de la red de fibra con *splitters*, que se encargan de dividir la señal óptica de acuerdo a los parámetros de diseño.

### **Tecnologías de redes ópticas pasivas**

Una red óptica pasiva (PON, por sus siglas en inglés) es una red de fibra óptica cuyos componentes son enteramente pasivos en la red de distribución (no en la central y domicilio del cliente). Este tipo de redes permite prescindir de los componentes activos, lo cual abarata su implementación.

La tecnología PON más utilizada en la actualidad es GPON, Gigabit-capable Passive Optical Network o Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit. Este esquema permite alcanzar distancias de hasta 20 kilómetros con velocidades superiores al gigabit por segundo. Estas redes se basan en tres tipos de elementos [17]:

- OLT (Optical Line Termination): Elemento activo ubicado en la central del proveedor. De este punto parten las conexiones de fibra hacia los clientes. Este equipo agrega el tráfico proveniente de los clientes y lo enruta hacia la red de transporte.
- ONT (Optical Network Termination): Elemento ubicado en las instalaciones del cliente y que recibe la fibra óptica. Este equipo ofrece las interfaces de usuario las que permiten el acceso a los mismos.
- MDU (Multi Dwelling Unit): Permiten ofrecer servicio a varios usuarios, al contrario de las ONT.

# CAPÍTULO 2

## 2. DISEÑO DE ENLACES DE COMUNICACIÓN EN POBLACIONES RURALES

El servicio de internet a los usuarios finales es provisto mediante una red de acceso que se encarga de conectar a los abonados con el proveedor de servicios de internet y, a su vez, se conecta a la red de transporte del proveedor, la cual sirve como puerta de enlace a internet. En este trabajo se presenta el diseño de dos tipos de redes de acceso, basadas en el medio inalámbrico y de fibra óptica. Se ha escogido la comuna de Olón como caso de estudio debido a sus características geográficas y por la creciente demanda de acceso a internet generada por las residencias en las nuevas urbanizaciones en sus alrededores. Olón se encuentra en la jurisdicción de la provincia de Santa Elena, Ecuador. Esta localidad está ubicada al pie del océano Pacífico, por lo que se ha convertido en un destino turístico y de construcción de casa vacacionales, aprovechando los más de 3 kilómetros de playa. La figura 2.1 muestra una vista aérea de la comuna de Olón.



**Figura 2.1** Vista aérea de la comuna de Olón.

Para el diseño de la red de acceso inalámbrica, se han considerado factores ambientales y geográficos, además de las características inherentes al medio inalámbrico. La península de Santa Elena registra una cantidad de lluvia significativa durante el año, además de temporadas de clima húmedo y cálido [18]. Sin embargo, en regiones tropicales como la costa ecuatoriana, a frecuencias menores a 10 GHz, la atenuación por lluvia no es un factor significativo en cuanto al rendimiento del enlace inalámbrico [19], por lo que se omitirá el cálculo de atenuaciones por este tipo en las secciones posteriores.

En el caso del diseño del enlace de fibra óptica, se tiene la existencia una red de transporte óptica, por lo cual este proyecto está enfocado únicamente en la red de acceso. La cobertura de esta red será las inmediaciones del centro de Olón y las urbanizaciones más próximas.

En este capítulo se describe el diseño de dos redes basadas en dos tecnologías diferentes, usando medios guiados en la sección 2.1 y medios no guiados en la sección 2.2. El cálculo de los requerimientos de salida al internet se detalla en la sección 2.3.

## **2.1 Diseño del radioenlace**

Para la realización del presupuesto de enlace se contempló un estudio de propagación, ya que la comunicación por radio se basa precisamente en la propagación de ondas de radio a través del espectro electromagnético. Este medio es compartido entre todos los usuarios, por lo que es necesaria la aplicación de técnicas de acceso múltiple para permitir el uso simultáneo del servicio entre todos los usuarios. Específicamente, se utiliza el esquema de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA, por sus siglas en inglés) descrita en detalle en la sección 1.3.3.

La propagación es el hecho de generar y dirigir ondas de radio, las cuales viajan desde un transmisor, hacia un receptor que captará dichas ondas [20]. Un modelo de propagación nos permite, por medio de expresiones matemáticas, obtener una



noción estimada de la pérdida de la señal electromagnética que se propaga y es recibida en algún punto. Esto depende de las características del canal, por lo que no existe un modelo general aplicable a todo tipo de entorno [21].

### **Modelo de propagación de espacio libre**

El modelo de pérdida de espacio libre es utilizado en este estudio ya que, para las condiciones geográficas del sitio, este modelo es el más adecuado. El modelo permite predecir el nivel de potencia recibido en determinada ubicación siempre y cuando exista una línea de vista entre el transmisor y el receptor. No incluye factores como errores de hardware o ganancias de antena [22]. Se utilizó este modelo ya que no existen obstrucciones de ningún tipo en el camino de propagación, inclusive las zonas de Fresnel relevantes se encuentran fuera del alcance del océano Pacífico, por donde pasa el enlace, como se detalla en las secciones 2.1.1 y 2.1.2. A continuación, se describen las ecuaciones relevantes para el cálculo de los parámetros de propagación.

La potencia isotrópica radiada efectiva (EIRP) es la definición estandarizada por la IEEE de potencia de RF direccional. Es la potencia que necesitaría irradiar una antena isotrópica perfecta para alcanzar los niveles requeridos. La potencia del transmisor ( $P_{Tx}$ ) y la ganancia de antena ( $G_t$ ) son parámetros dados por las características propias del equipo a utilizar. La EIRP resulta de la resta entre la potencia del transmisor y las pérdidas de transmisión en cables y conectores ( $L_{CTx}$ ) en factor con la ganancia de la antena.

$$EIRP = P_{Tx} - L_{CTx} G_t \quad (2.1)$$

La pérdida de espacio libre es el debilitamiento de la señal entre dos antenas isotrópicas. Este modelo se usa para predecir el nivel de recepción cuando entre las antenas de transmisión y recepción existe una línea de vista sin obstáculos. El debilitamiento de la señal, o atenuación, es directamente proporcional al cuadrado de la distancia y la frecuencia, y representa la mayor parte de la

atenuación total entre enlaces de radiofrecuencia [23]. La pérdida de espacio libre ( $L_{LFS}$ ) representa la atenuación de la señal a través del medio inalámbrico, siendo esta una función de la frecuencia ( $f$ ) en MHz y la distancia ( $d$ ) en km, según la recomendación ITU-R P.525-3 [24].

$$L_{LFS} = 32.45 + 20\log(f(\text{MHz})) + 20\log(d(\text{km})) \quad (2.2)$$

La potencia de recepción ( $P_{Rx}$ ) indica el parámetro RSSI del receptor, es decir, el indicador de potencia de la señal recibida. Este valor es especialmente importante, ya que de este parámetro depende mucho la calidad de la señal que reciben los usuarios finales, afectando a todos los subscriptores en la posterior red de acceso. En aplicaciones de punto-a-punto y punto-a-multipunto, el RSSI óptimo en ambos extremos del enlace para obtener una buena tasa de transmisión está entre -48 dBm y -65 dBm [25].

$$P_{Rx} = EIRP - L_{LFS} + G_r - L_{CRx} \quad (2.3)$$

La potencia de ruido térmico ( $N$ ), también conocido como ruido de Johnson-Nyquist fue identificado en 1928 y es el tipo de ruido más común. Se debe al movimiento aleatorio de los electrones originado por su energía térmica [26]. El ruido, en sistemas de comunicaciones, es una señal eléctrica no deseada que interfiere con la señal mensaje [27]. En este caso, se trata de un ruido blanco, es decir, que es constante respecto a la frecuencia [28]. La potencia de ruido térmico resulta de la multiplicación de la constante de Boltzman ( $k$ ), la temperatura equivalente al ruido del sistema ( $t_o$ ), y el ancho de banda ( $B$ ).

$$N = k * t_o * B \quad (2.4)$$

La relación señal a ruido (SNR, por sus siglas en inglés) es un parámetro fundamental para describir el desempeño de un enlace inalámbrico. La señal potencia recibida depende de la potencia transmitida y de la atenuación en el

camino entre el transmisor y el receptor. La potencia de ruido consiste en el aporte del receptor mismo y del ruido (externo) recibido a través de la antena. Normalmente el ruido dominante es el del propio receptor, aunque hay casos en que el factor relevante es el aporte de otros usuarios de la misma banda de frecuencia, llamándose en este caso interferencia.

La SNR es una medida de cuánto ha corrompido el ruido  $N$  a una señal  $P_s$ . Permite evaluar la información de una señal, en particular la presencia o ausencia de eventos que pueden confundirse con artefactos o ruido [28]. Por lo que una SNR más alta indica una menor presencia de ruido, implicando una mejor calidad de señal.

$$SNR = P_s - N \quad (2.5)$$

Las zonas de Fresnel son elipsoides concéntricos que rodean al espacio que existe entre las antenas de transmisión y recepción. Cada onda que parte de la antena transmisora que se refleja sobre la superficie del elipsoide, habrá recorrido una distancia mayor a la recorrida por el rayo directo en múltiplos de media longitud de onda. Es decir, la onda reflejada se recibiría con un retardo respecto al rayo directo equivalente a un desfase múltiplo de  $180^\circ$ . Este valor del múltiplo determina la  $n$ -ésima zona de Fresnel [29]. La primera zona de Fresnel, específicamente el 60% de la misma, corresponde a una zona prohibida en donde por ningún motivo puede haber algún tipo de obstrucción para la factibilidad del enlace [30].

$$r_n = \sqrt{\lambda n \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2.6)$$

### **Ventajas y desventajas de los sistemas de radiocomunicación:**

Entre las ventajas que supone la utilización de enlaces basados en microondas, se pueden destacar [31]:

- La no existencia de cableado físico supone una mayor facilidad de obtención de permisos, ya que no se requiere realizar obra civil para soterrar cables y/o añadir cables en los postes existentes. Esto también se traduce en una mayor celeridad en los trabajos de instalación.
- El costo en materiales y equipos no varía de acorde a la distancia ni la topografía.
- Es posible llegar a sitios apartados y de poca densidad de usuarios.

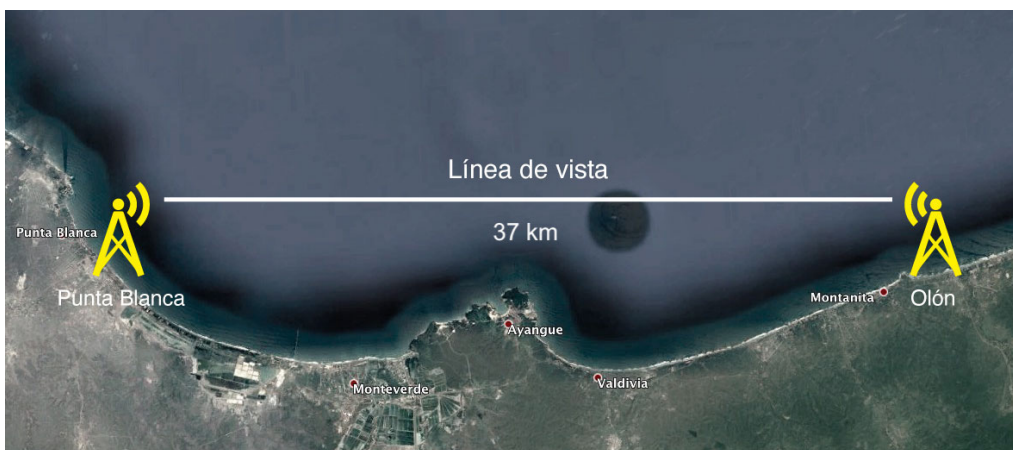
El uso de enlaces de radio también supone algunas desventajas en comparación con tecnologías basadas en medios guiados, entre las que se pueden destacar [32]:

- El medio inalámbrico, dada su naturaleza, es más propenso a sufrir de interferencias electromagnéticas.
- A pesar de estar caracterizada por tener costos de instalación relativamente bajos, las torres donde están ubicadas las antenas son de costo elevado.
- Al ser dependiente de la existencia de una línea de vista, cualquier obstrucción no contemplada en el diseño original como, por ejemplo, nuevas construcciones de altura, afectarán negativamente el desempeño del servicio.

#### **2.1.1 Diseño de red de transporte Punta Blanca – Olón**

Pese a que el presente estudio radica en comparar exclusivamente redes de acceso, se implementó una red de transporte para disponer de una salida a internet en la localidad de Olón, para efectos de poder realizar las pruebas de la red de acceso inalámbrica con acceso a internet. Se implementó esta red

bajo un esquema punto-a-punto, es decir, que el canal se utiliza para comunicar únicamente dos nodos, como se muestra en la figura 2.2. Esta arquitectura es especialmente útil para redes de largo alcance WAN [33].



**Figura 2.2 Esquema enlace troncal Punta Blanca – Olón.**

#### **De la topografía:**

El enlace Punta Blanca a Olón, contempla la instalación de antenas en dos locaciones idóneas para este fin. El nodo Punta Blanca, mostrado en la figura 2.3, está ubicado en la entrada 11 de Punta Blanca, en el edificio Arrecife. Este sitio es el más idóneo para la colocación de antenas de radiocomunicaciones, dada su altura de 20 metros. En Punta Blanca no existen elevaciones naturales significativas, por lo que la terraza de este edificio constituye uno de los puntos más altos en los alrededores. El acceso al mismo nos fue permitido por un proveedor SAI local, que posee en este lugar un punto de acceso inalámbrico para sus clientes residenciales de internet. Se contempla esta salida a internet en el diseño de nuestra red, es decir, los usuarios finales saldrán a internet por esta vía.



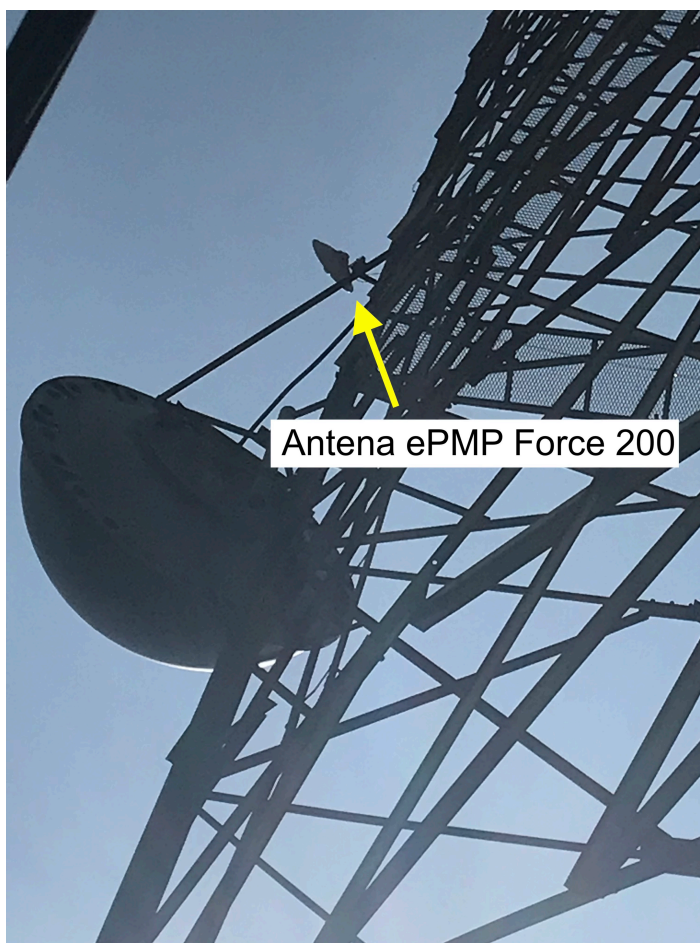
**Figura 2.3 Vista satelital nodo Punta Blanca.**

El nodo Olón, mostrado en la figura 2.4, se encuentra ubicado en el cerro de Olón, en las inmediaciones del Santuario Blanca Estrella del Mar, a pocos metros de la zona poblada de la comuna. Este sitio ha sido elegido por varias empresas de telecomunicaciones, dada su ubicación ideal -con una altura de 55 metros en un área mayormente plana- para proveer servicios a zonas cercanas como Montañita, San José y Olón. En este lugar, se nos concedió el permiso para acceder a una torre de comunicaciones, mostrada en la figura 2.5, por parte de una empresa de televisión por difusión.



**Figura 2.4 Vista satelital nodo Olón.**





**Figura 2.5 Torre de comunicaciones nodo Olón.**

**De los equipos:**

Para la realización del enlace, se utilizaron equipos de la marca Cambium Networks. Las antenas colocadas en Punta Blanca y Olón son del modelo ePMP Force 200. Las principales características técnicas están listadas en la tabla 2.1 y la hoja de especificaciones del fabricante en el Anexo A.



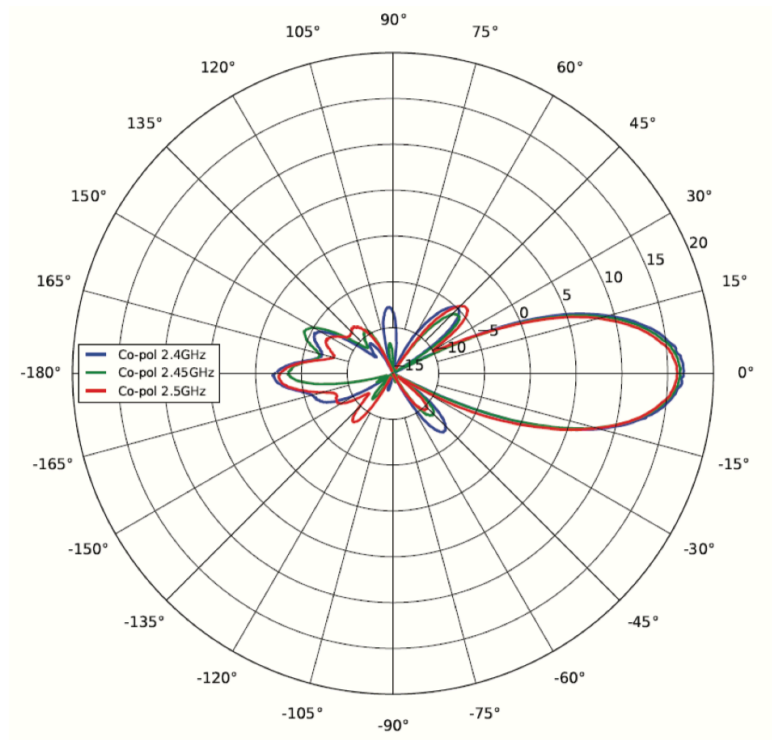
**Figura 2.6 Antena ePMP Force 200 [34].**

**Tabla 2.1 Especificaciones técnicas ePMP Force 200 [35].**

Rango de Frecuencia	5 GHz: 4910 - 5970 MHz
Ancho de Canal	5   10   20   40 MHz
Sensibilidad de recepción nominal para canales de 20 MHz	-92 dBm a -68 dBm
Rango de potencia de transmisión	-15 dBm a +30 dBm
Grado de protección IP	IP55
Tipo de antena	Plato
Ganancia máxima	25 dBi

La ePMP Force 200 es una antena de tipo plato, llamada también parabólica. Este tipo de antenas, por sus características físicas, alcanzan altos niveles de ganancia y direccionalidad, como se observa en la figura 2.7. Las antenas parabólicas usan un plato reflector con la forma de una parábola para enfocar las ondas de radio recibidas por la antena a un punto focal y también capturan la energía radiada por la antena y enfocarla en un haz estrecho al transmitir. Este hecho permite a la antena proveer una alta ganancia [36].





**Figura 2.7 Patrón de elevación ePMP Force 200.**

El lóbulo principal, en la dirección 0° muestra una gran concentración de energía en ese sentido, denotando las características de alta ganancia y directividad de la antena. Los otros lóbulos mostrados en el patrón de elevación de menor potencia y en diferentes direcciones, por lo que existirá una cobertura mínima hacia esos sentidos; por lo que la antena deberá ser instalado considerando la dirección del lóbulo principal.

El uso de esta antena está además justificado por poseer un grado de protección IP55 según el International Protection Rating. Esta certificación empieza con las letras IP, ingress protection o protección de ingreso, seguidos de dos números que indican la protección ante sólidos y la protección ante líquidos [37]. La tabla 2.2 muestra en detalle la protección de la Force 200.

**Tabla 2.2 Protección IP ePMP Force 200.**

Tipo de protección	Nivel	Descripción
Sólidos	5	Protegido contra la entrada de polvo (la cantidad que entra no interfiere con el funcionamiento del dispositivo).
Líquidos	5	No debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 6,3 mm de diámetro, a un promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión 30 kN/m <sup>2</sup> durante un tiempo.

De igual manera, se destaca el uso de la banda de 5 GHz, la cual no requiere el pago de una licencia en el rango de 5,65 y 5,92 GHz según la resolución TEL-560-18-CONATEL-2010 de la Arcotel y el Plan Nacional de Frecuencias [38].

**Análisis de factibilidad:**

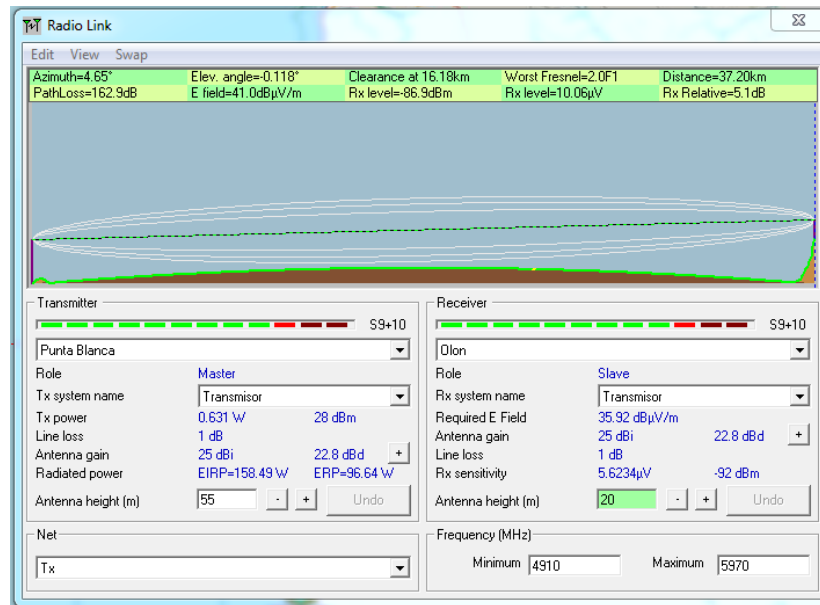
Para realizar el planeamiento inicial del enlace, se utilizó el software gratuito Radio Mobile [39]. Radio Mobile es una aplicación de simulación de radio propagación en las frecuencias comprendidas en el rango de 20 MHz a 20 GHz y está basado en el modelo de propagación ITS. Este programa obtiene la información de elevación del área de estudio según los datos obtenidos por la Space Shuttle Radar Terrain Mapping Mission [40].

Las coordenadas de ubicación de los puntos donde pueden estar ubicadas las antenas que forman el enlace inalámbrico se listan en tabla 2.3.

**Tabla 2.3 Coordenadas ubicación enlace inalámbrico.**

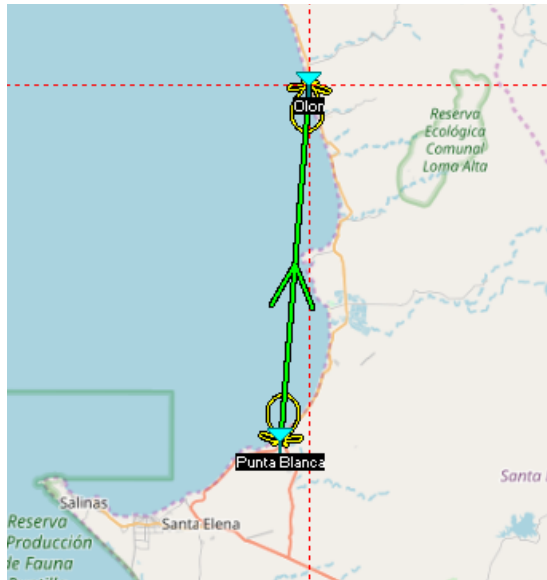
Nodo	Latitud	Longitud
Punta Blanca	02°08'53.3" S	80°46'58.5" W
Olón	01°48'52.2" S	80°45'20.7" W

Luego de crear el enlace y ajustar los parámetros de las antenas del enlace Punta Blanca - Olón, el software presenta una *bird's view* del enlace, en donde a primera instancia se observa la presencia o ausencia de la línea de vista (LOS). Para un enlace punto-a-punto, es imprescindible la presencia de una LOS. De igual manera, el software presenta las zonas de Fresnel en la totalidad del enlace, como se observa en la figura 2.8.



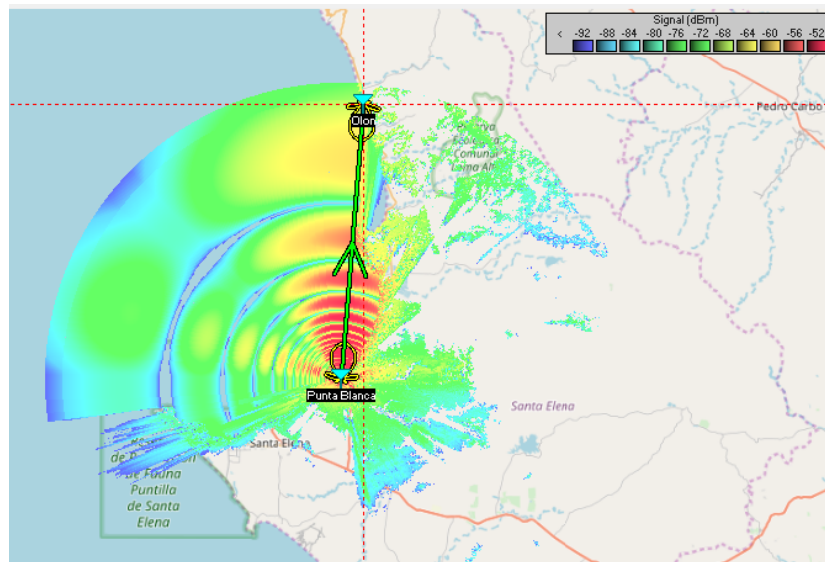
**Figura 2.8 Simulación de la línea de vista entre los nodos Punta Blanca y Olón.**

Las zonas de Fresnel están delimitadas por las elipses blancas y representan las zonas por donde no pueden existir obstrucciones para el funcionamiento del enlace. En la figura 2.9, mostrada a continuación, se observan los patrones de radiación en donde los lóbulos principales han sido colocados frente a frente; esta configuración debe ser respetada al instalar las antenas para asegurar la conectividad.



**Figura 2.9 Patrones de radiación de las antenas respecto al enlace Punta Blanca – Olón.**

El software estima el área de cobertura del enlace Punta Blanca - Olón y se confirma que el receptor, en Olón, está dentro del área indicada por la figura 2.10, con una intensidad de señal adecuada, en donde -52 dBm (color ámbar) es la mejor y -92 dBm (color azul) es la más débil.



**Figura 2.10 Área de cobertura estimada enlace Punta Blanca – Olón.**

### De la estimación de parámetros:

Una vez verificada la factibilidad del enlace, se realiza el presupuesto de RF, utilizando las ecuaciones descritas en la sección 2.1. Los resultados se recogen en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4 Parámetros de propagación enlace Punta Blanca - Olón.**

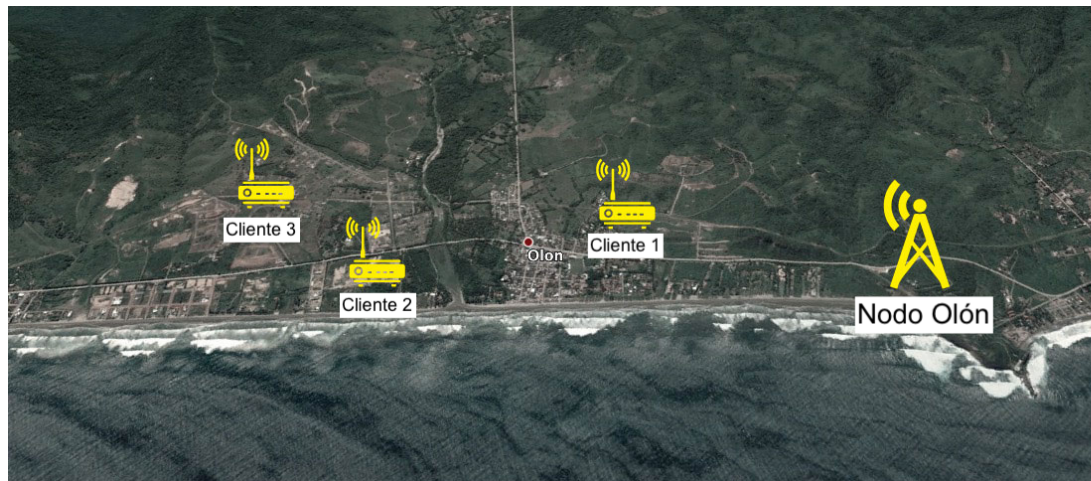
<b>EIRP</b>					
$P_{tx}$ [dB]	$L_{Ctx}$ [dB]	$G_t$ [dBi]	<b>EIRP [dB]</b>		
-2	1	25	<b>22</b>		
<b>Pérdida de espacio libre</b>					
$f$ [MHz]	$d$ [km]	<b><math>L_{LFS}</math> [dB]</b>			
5800	37.2	<b>139.1293</b>			
<b>Potencia de recepción</b>					
EIRP [dB]	$L_{LFS}$ [dB]	$G_r$ [dBi]	$L_{CRx}$ [dB]	<b><math>P_{Rx}</math> [dBm]</b>	
22	139.1293	25	1	<b>-63.1293</b>	
<b>Ruido térmico</b>					
$k$ [J/K]	$t_0$ [K]	$B$ [MHz]	<b><math>N</math> [dB]</b>		
$1.38 \times 10^{-23}$	290	20	<b>-130.9669</b>		
<b>Relación señal-ruido</b>					
$P_R$ [dB]	$N$ [dB]	<b>SNR [dB]</b>			
-93.1293	-130.9669	<b>37.8376</b>			
<b>Primera zona de Fresnel</b>					
$\lambda$ [m]	$d_1$ [km]	$d_2$ [km]	$n$	$r_1$ [m]	<b><math>0.6r_1</math> [m]</b>
3/58	18.5	18.7	1	21.9322	<b>13.15932</b>

La relación señal-ruido se estimó en 37.83 dB, el cual es un valor correspondiente a una recepción excelente para aplicaciones de redes de datos [41]. También, se puede notar que no puede existir ningún tipo de obstáculo a 13.15932 metros medidos desde la línea de vista.

### 2.1.2 Diseño Red de Acceso Olón – Cliente final

La red de acceso se encarga de llevar el servicio de internet hasta las instalaciones de los clientes finales. El uso de un enlace de comunicaciones inalámbrico como una red de acceso, o de última milla, para proveer servicios de telefonía e internet se denomina WLL (ver figura 1.4) [42].

WLL, como toda red de acceso, trabaja bajo un esquema punto-a-multipunto, ilustrado en la figura 2.11. Este tipo de comunicación contempla un único transmisor y varios receptores, los cuales representan los clientes finales.



**Figura 2.11 Esquema punto-a-multipunto de red de acceso en Olón.**

#### **De la topografía:**

Se ha contemplado un enlace de prueba desde el nodo Olón, hasta una residencia privada en una lotización en las afueras de Olón, de tal manera de simular un enlace hasta las instalaciones de un suscriptor del servicio.

El cliente (ver figura 2.12) se encuentra en una lotización ubicada a 3.7 kilómetros del nodo Olón. Este sitio es idóneo para la realización de pruebas ya que, además de representar las condiciones de un tipo de cliente al que se desea alcanzar, se encuentra en la parte más lejana de Olón, por lo que se

supone que clientes ubicados en partes más cercanas tendrán una igual o mejor cobertura.



**Figura 2.12 Vista satelital residencia cliente final.**

#### **De los equipos:**

Se colocó una antena ePMP Force 180 en la torre, que reparte la señal a los suscriptores residenciales. En las instalaciones de los clientes finales, se contempló de igual manera el uso de una antena ePMP Force 180, configurada como un módulo de suscriptor. El uso de esta antena, mostrada en la figura 2.13, está justificado dado su alto rendimiento en términos de ganancia y cobertura en un tamaño compacto y conveniente para los usuarios. Las principales características técnicas se muestran en la tabla 2.5 y la hoja de especificaciones del fabricante en el Anexo B.





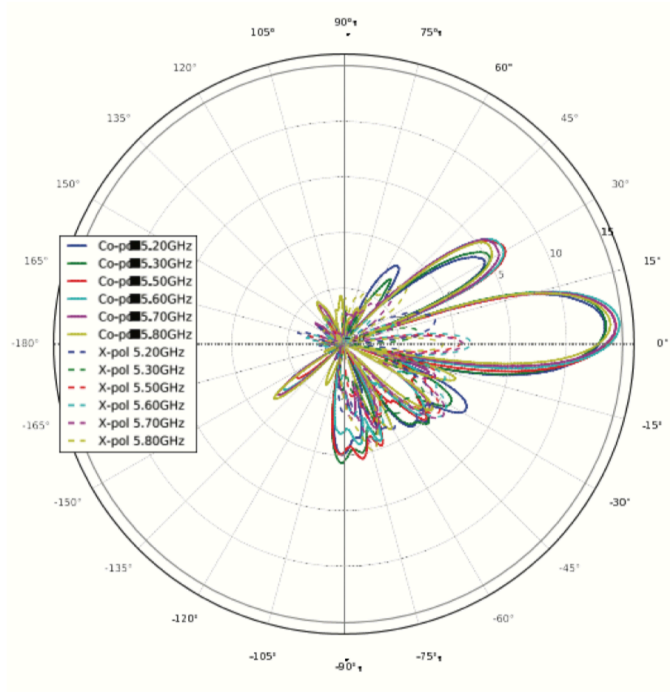
**Figura 2.13 Antena ePMP Force 180 [43].**

**Tabla 2.5 Especificaciones técnicas ePMP Force 180.**

Rango de Frecuencia	5 GHz: 4910 - 5970 MHz
Ancho de Canal	5   10   20   40 MHz
Sensibilidad de recepción nominal en un canal de 20 MHz	-93 dBm a -72 dBm
Rango de potencia de transmisión	-17 dBm a +30 dBm
Grado de protección IP	IP55
Tipo de antena	Integrada
Ganancia máxima	16 dBi

Al igual que la ePMP Force 200, utilizada en la red de transporte, esta antena posee certificación IP55, y goza de una alta directividad, como se observa en la figura 2.14. El lóbulo principal, en la dirección 0° denota una gran concentración de energía en ese sentido, denotando las características de alta ganancia y directividad de la antena. Los otros lóbulos mostrados en el patrón de elevación de menor potencia y en diferentes direcciones, por lo que existirá una cobertura mínima hacia esos sentidos; por lo que la antena deberá ser instalado considerando la dirección del lóbulo principal.





**Figura 2.14 Patrón de elevación antena ePMP Force 180.**

**Análisis de factibilidad:**

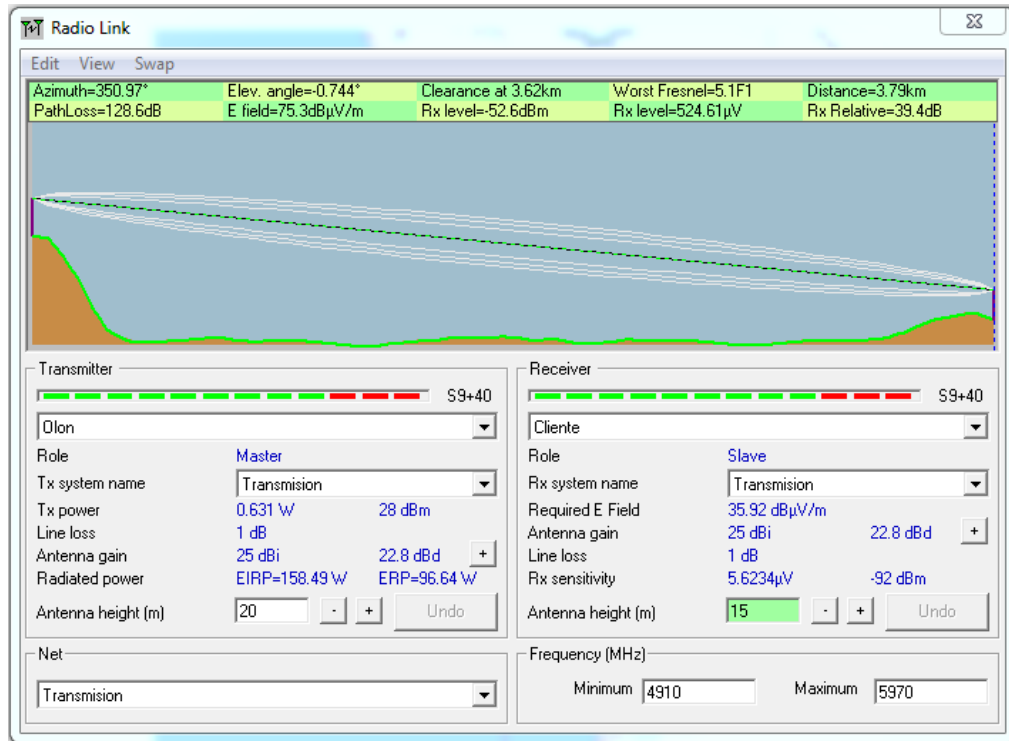
Las coordenadas de los puntos donde pueden estar ubicadas las antenas que forman el enlace inalámbrico se listan en la tabla 2.6.

**Tabla 2.6 Coordenadas de ubicación de los nodos del enlace de acceso.**

	Latitud	Longitud
Nodo Olón	01°48'52.2" S	80°45'20.7" W
Cliente final	01°46'50.8" S	80°45'40" W

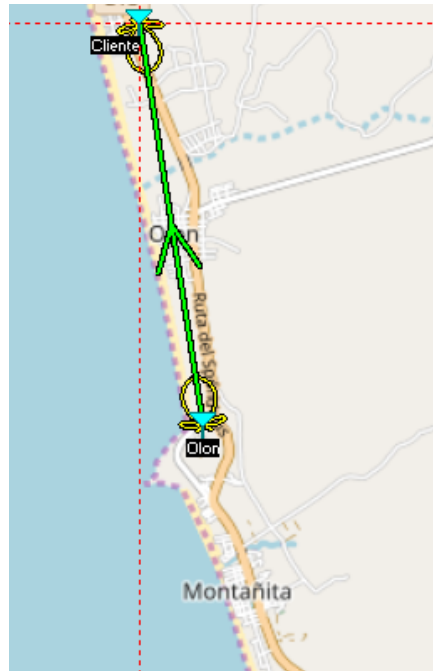
Al igual que en el enlace troncal, luego de crear el enlace y ajustar los parámetros de antenas y de modo de operación (Master/Slave), el software presenta una bird's view del enlace, en donde a primera instancia se observa la presencia o ausencia de la línea de vista (LOS). Para un enlace punto-a-punto, es imprescindible la presencia de una LOS. De igual manera, el

software presenta las zonas de Fresnel en la totalidad del enlace, como se observa en la figura 2.15. La figura 2.16 muestra los patrones de radiación de las antenas respecto a la línea de vista.

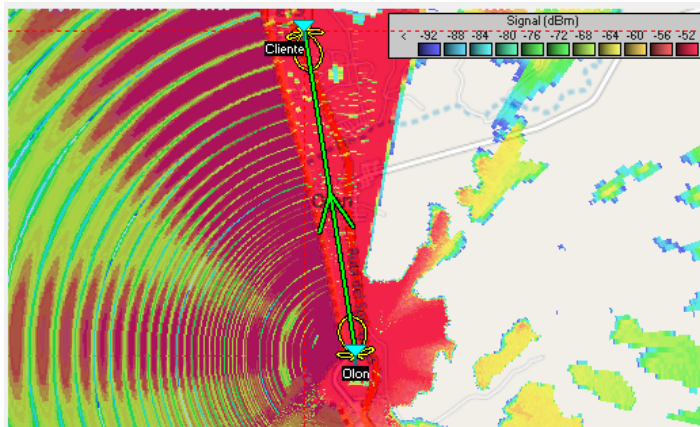


**Figura 2.15 Simulación de la línea de vista para el enlace Olón - Cliente final.**

Las zonas de Fresnel están delimitadas por las elipses blancas y representan las zonas por donde no pueden existir obstrucciones para el funcionamiento del enlace. En la figura 2.16 se observan los patrones de radiación en donde los lóbulos principales han sido colocados frente a frente; esta configuración debe ser respetada al instalar las antenas para asegurar la conectividad.



**Figura 2.16 Patrones de radiación de las antenas respecto al enlace Olón - Cliente final.**



**Figura 2.17 Área de cobertura estimada de la red de acceso.**

El software estima el área de cobertura del enlace Olón – Cliente final y se confirma que el receptor está dentro del área indicada por la figura 2.17, con una intensidad de señal adecuada, en donde -52 dBm (color ámbar) es la mejor y -92 dBm (color azul) es la más débil.

### Del cálculo de los parámetros de propagación:

Una vez verificada la factibilidad del enlace, se realiza el presupuesto de RF, utilizando las ecuaciones descritas en la sección 2.1. Debido a la disponibilidad de equipos, se realizó este enlace con antenas ePMP Force 200. Esta antena es más costosa que la ePMP Force 180, pero tiene características técnicas superiores. Los resultados se resumen en la tabla 2.7.

**Tabla 2.7 Parámetros de propagación enlace Olón - Cliente final.**

<b>EIRP</b>					
$P_{tx}$ [dB]	$L_{ctx}$ [dB]	$G_t$ [dBi]	<b>EIRP [dB]</b>		
-25	1	25	<b>-1</b>		
<b>Pérdida de espacio libre</b>					
$f$ [MHz]	$d$ [km]	<b><math>L_{LFS}</math> [dB]</b>			
5800	3.79	<b>119.2913</b>			
<b>Potencia de recepción</b>					
EIRP [dB]	$L_{LFS}$ [dB]	$G_r$ [dBi]	$L_{CRx}$ [dB]	<b><math>P_{Rx}</math> [dBm]</b>	
-1	119.2912	25	1	<b>-66.29</b>	
<b>Ruido térmico</b>					
$k$ [J/K]	$t_0$ [K]	$B$ [MHz]	<b><math>N</math> [dB]</b>		
$1.38 \times 10^{-23}$	290	20	<b>-130.9669</b>		
<b>Relación señal-ruido (SNR)</b>					
$P_R$ [dB]	$N$ [dB]	<b>SNR [dB]</b>			
-96.2913	<b>-130.9669</b>	<b>34.7369</b>			
<b>Primera zona de Fresnel</b>					
$\lambda$ [m]	$d_1$ [km]	$d_2$ [km]	$n$	$r_1$ [m]	<b><math>0.6r_1</math> [m]</b>
3/58	1.85	1.94	1	6.9966	<b>4.19918</b>

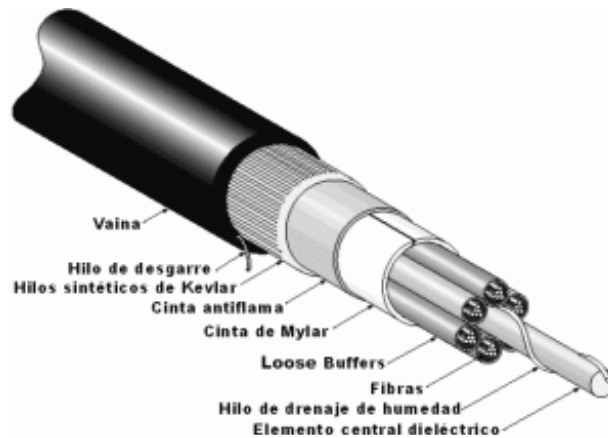
Como se observó en la tabla 2.7, la relación señal-ruido se estimó en 87.67 dB, el cual es un valor correspondiente a una señal excelente para aplicaciones de redes de datos [41]. También se puede notar que no puede existir ningún tipo de obstáculo a 4.19918 metros medidos desde la línea de vista.

## 2.2 Diseño del enlace de fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión compuesto por un hilo muy delgado de material transparente como vidrio o aleaciones plásticas a través del cual se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. La fuente de luz puede ser láser o un LED [44]. La tabla 2.8 y la figura 2.18 muestran los componentes del cable de fibra óptica:

**Tabla 2.8 Estructura de un cable de fibra óptica.**

<b>Componente</b>	<b>Función</b>
Dieléctrico central	Contribuye a la rigidez del cable
Hilo de drenaje de humedad	Protege a los filamentos de la humedad
Fibras	Transmitir la información
Loose buffers	Recubrir la fibra y evitar que los rayos de luz se dispersen hacia afuera de la fibra
Cinta de Mylar	Aislante
Cinta antilama	Protección ante el calor y el fuego
Hilos de Kevlar	Protección general del cable
Hilo de desgarre	Provee mayor consistencia al cable
Vaina	Aislante



**Figura 2.18 Estructura de un cable de fibra óptica [45].**




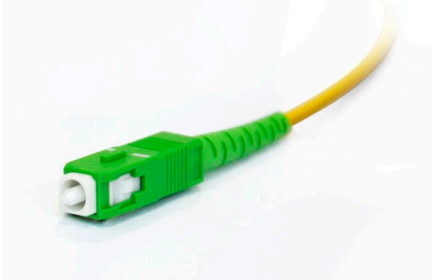

Existen dos tipos de fibra óptica de acuerdo con la forma de transmisión de luz, descritos en la tabla 2.9 [45]:

**Tabla 2.9 Tipos de fibra óptica.**

Tipo de fibra	Transmisión interna	Alcance	Costo
Monomodo	Un solo haz de luz	Hasta 300 km	El cable es más barato, sin embargo, los transceivers son más costosos.
Multimodo	Varios haces de luz	Hasta 2 km	El cable es más costoso, sin embargo, los transceivers son más baratos.

Los tipos de conectores utilizados en fibras ópticas se muestran en la tabla 2.10:

**Tabla 2.10 Conectores de fibra óptica.**

Conector	Uso	Imagen
FC	Transmisión de datos y telecomunicaciones	
FDDI	Redes de fibra óptica	
LC	Granjas de servidores y almacenamiento	
SC / SC Duplex	Transmisión de datos	
ST	Planta interna y sistemas de seguridad	

En los últimos años, la fibra óptica se ha posicionado como el medio de comunicación predilecto en operadores de internet, televisión y telefonía por cable, debido a las prestaciones que brinda. A la par de las consideraciones tecnológicas, la fibra óptica es seleccionada por motivos económicos, especialmente las redes de fibra híbridas de FTTC, o fibra hasta el gabinete, cuyo uso es extendido por los operadores tradicionales de televisión por cable. En este tipo de redes, se combinan redes troncales de fibra óptica con redes de acceso de cobre; esto conlleva gastos de capital (CapEx) minúsculos en comparación con la implementación de redes de acceso de fibra. Sin embargo, hoy en día, debido a la gran tasa de crecimiento en el uso de datos, es necesario que los operadores inviertan en sistemas de fibra hasta el hogar (FTTH) [46], esto quiere decir que las redes de acceso deben ser basadas en fibra óptica.

El esquema más popular de FTTH es GPON o *Gigabit-capable Passive Optical Network*. GPON hace referencia a una red óptica pasiva que permite tasas de transferencia de datos superiores al gigabit por segundo. GPON está basado en la recomendación ITU-T G.984.1 [47]. El principal hardware involucrado en este tipo de redes se lista en la tabla 2.11.

**Tabla 2.11 Elementos de hardware de una red GPON.**

Elemento	Función	Imagen
Optical Line Terminal (OLT)	Controla el flujo de información entre la red de acceso y la red de distribución.	



<p>Optical Network Terminal (ONT)</p>	<p>Ubicado en las instalaciones del cliente, se conecta a la red de fibra y provee una interfaz de red para la conexión del usuario final.</p>	
<p>Multi Dwelling Unit (MDU)</p>	<p>Permite ofrecer servicio a varios clientes, en contraposición con las ONTs.</p>	

**Ventajas y desventajas de la fibra óptica como medio de transmisión en redes de datos:**

Existen algunas ventajas en la utilización de la fibra óptica para proveer servicios de internet, entre las que destacan [46]:

- La fibra óptica permite conexiones con velocidades en el orden de los gigabits por segundo, permitiendo acceso a servicios de internet que requieren grandes cantidades de ancho de banda.
- Las redes de fibra óptica evitan las interferencias electromagnéticas, a diferencia de las redes inalámbricas. Esto se traduce en una mayor estabilidad en el servicio de internet, ya que permite transmitir información y datos con menos ruido y menos errores.
- No requiere ningún tipo de mantenimiento si se hace una buena planificación, una buena elección de materiales, y se implanta un buen protocolo de instalación y limpieza.

El uso de enlaces basados en fibra óptica supone algunas desventajas en comparación con tecnologías inalámbricas, entre las que se pueden destacar [48] [49]:

- En caso de necesitar realizar algún tipo de reparación en la fibra, es necesario contar con personal especializado en soldaduras y empalmes de fibra óptica.
- El costo por metro de fibra es elevado en comparación con otro tipo de cables.
- Requieren un alto grado de precisión al conectar en su instalación.

### **2.2.1 Diseño de red de acceso GPON Olón**

Para el diseño de la red de fibra óptica, se realizó el planeamiento del enlace para la red de acceso en un área geográfica que comprende el centro de Olón y las urbanizaciones en su alrededor. Para aquello, utilizaremos fibra óptica de tipo monomodo con las especificaciones dadas por la recomendación G.652 [50]. Este tipo de fibra trabaja en longitudes de onda desde 1310 nm a 1625 nm. Una fibra monomodo permite alcanzar distancias largas en la transmisión de datos. Para el presente estudio, las longitudes de onda utilizadas son:

- 1310 nm para datos de *upstream*
- 1490 nm para datos de *downstream*

Según la información en planos proporcionada por el Municipio de Santa Elena la comuna de Olón tiene un total de 555 lotes, a los cuales potencialmente se les podría ofrecer el servicio de internet. Para un mayor ordenamiento y posibilidad de crecimiento ordenado, se dividió el área en 3 zonas según la figura 2.19:



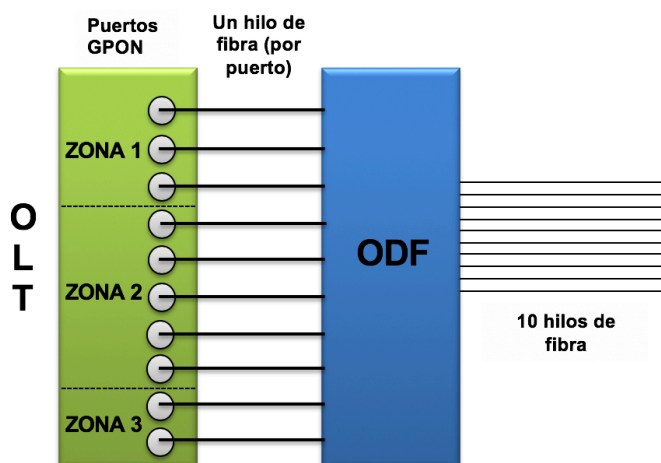
**Figura 2.19 División de Olón por zonas.**

La tabla 2.12 resume el número de usuarios por zonas y especifica la cantidad de puertos GPON requeridos en la OLT por cada una de ellas, considerando que según la recomendación G.983.1 es posible tener un máximo de 64 ONTs de cada puerto GPON [51].

**Tabla 2.12 Usuarios de red GPON por zonas.**

Zona	Usuarios	Puertos
1	160	3
2	311	5
3	84	2

Como se observó en la tabla 2.12, se necesitan diez puertos GPON para provisionar el servicio a todos los usuarios de Olón, por lo que la OLT deberá tener como mínimo diez puertos GPON. La OLT estará ubicada en el nodo Olón, en donde se conectará a su vez con la red de transporte y, mediante los puertos GPON entregará diez hilos de fibra óptica a la ODF, que es el equipo encargado de unir los hilos provenientes e integrarlos en un solo cable multihilos. Este cable será el camino principal de la red. La figura 2.20 describe de manera gráfica el tratamiento de la fibra por estos equipos.



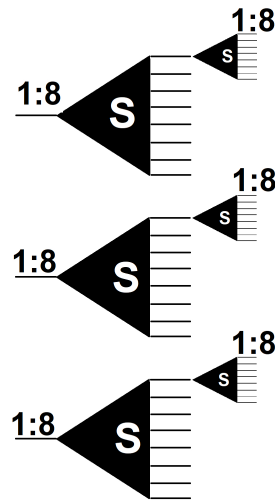
**Figura 2.20 Esquema de fibra óptica antes de la división por splitters.**

### **Esquema de división óptica:**

Una vez que se dispone del cable troncal de fibra, es necesario repartir la señal a los diferentes usuarios finales. Esto se realiza mediante técnicas de división óptica utilizando splitters. Se ha considerado dos niveles de splitting a manera de no tener pérdidas muy significativas, permitiendo un dimensionamiento adecuado y posibilidad de crecimiento. Para este diseño, se ha contemplado la provisión de splitters para la totalidad de los lotes de Olón.

Zona 1:

En esta zona existe una totalidad de 160 lotes para posible provisión de servicios. Se consideró el uso de splitters de 1:8 debido a que guarda una relación conveniente en caso de necesitar expansión no se requeriría añadir un nivel adicional de división, lo cual incidiría de manera negativa en las pérdidas. La figura 2.21 muestra el esquema de división óptica propuesto.

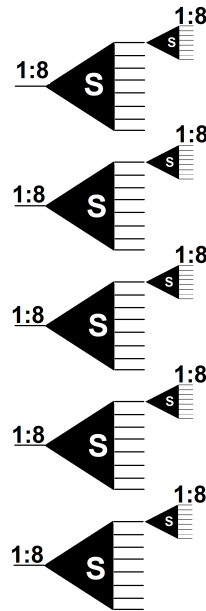


**Figura 2.21 Esquema de división óptica zona 1.**

Existen 3 splitters de nivel primario, que en su conjunto habilitarían el acceso a 24 splitters de segundo nivel, los cuales representan 192 usuarios totales. Por lo que existirían 32 conexiones de reserva y se necesitarían adquirir 23 splitters (3 de primer nivel y 20 de segundo nivel). La habilitación de las conexiones de reserva queda sujeta a la instalación de splitters de segundo nivel adicionales.

Zona 2:

En esta zona existe una totalidad de 320 lotes para posible provisión de servicios. Se consideró el uso de splitters de 1:8. La figura 2.22 muestra el esquema de división óptica propuesto.

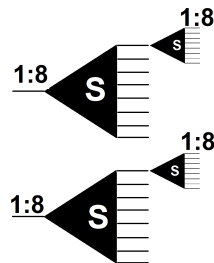


**Figura 2.22 Esquema de división óptica zona 2.**

Existen 5 splitters de nivel primario, que en su conjunto habilitarían el acceso a 40 splitters de segundo nivel, los cuales representan 320 usuarios totales. Por lo que existirían 9 conexiones de reserva y se necesitarían adquirir 45 splitters (5 de primer nivel y 40 de segundo nivel).

Zona 3:

En esta zona existe una totalidad de 84 lotes para posible provisión de servicios. Al igual que las zonas 1 y 2, se utilizan splitters de 1:8. La figura 2.23 muestra el esquema de división óptica propuesto.



**Figura 2.23 Esquema de división óptica zona 3.**

Existen 2 splitters de nivel primario, que en su conjunto habilitarían el acceso a un máximo de 16 splitters de segundo nivel, los cuales representan 128 usuarios totales. Por lo que existirían 44 conexiones de reserva y se necesitarían adquirir 24 splitters (2 de primer nivel y 11 de segundo nivel). La habilitación de las conexiones de reserva queda sujeta a la instalación de splitters de segundo nivel adicionales.

**Ubicación de los splitters:**

Se propone la ubicación de los splitters primarios y secundarios tomando en consideración la información en planos proporcionada por la Municipalidad de Santa Elena. Se colocaron los splitters equidistantemente en relación con los elementos conectados a este, con el fin de optimizar el uso de cable de fibra.

Las figuras 2.24, 2.25 y 2.26 muestran la ubicación de los elementos de la red GPON. Adicionalmente se debe considerar la colocación de las ONT en las instalaciones de cada suscriptor.



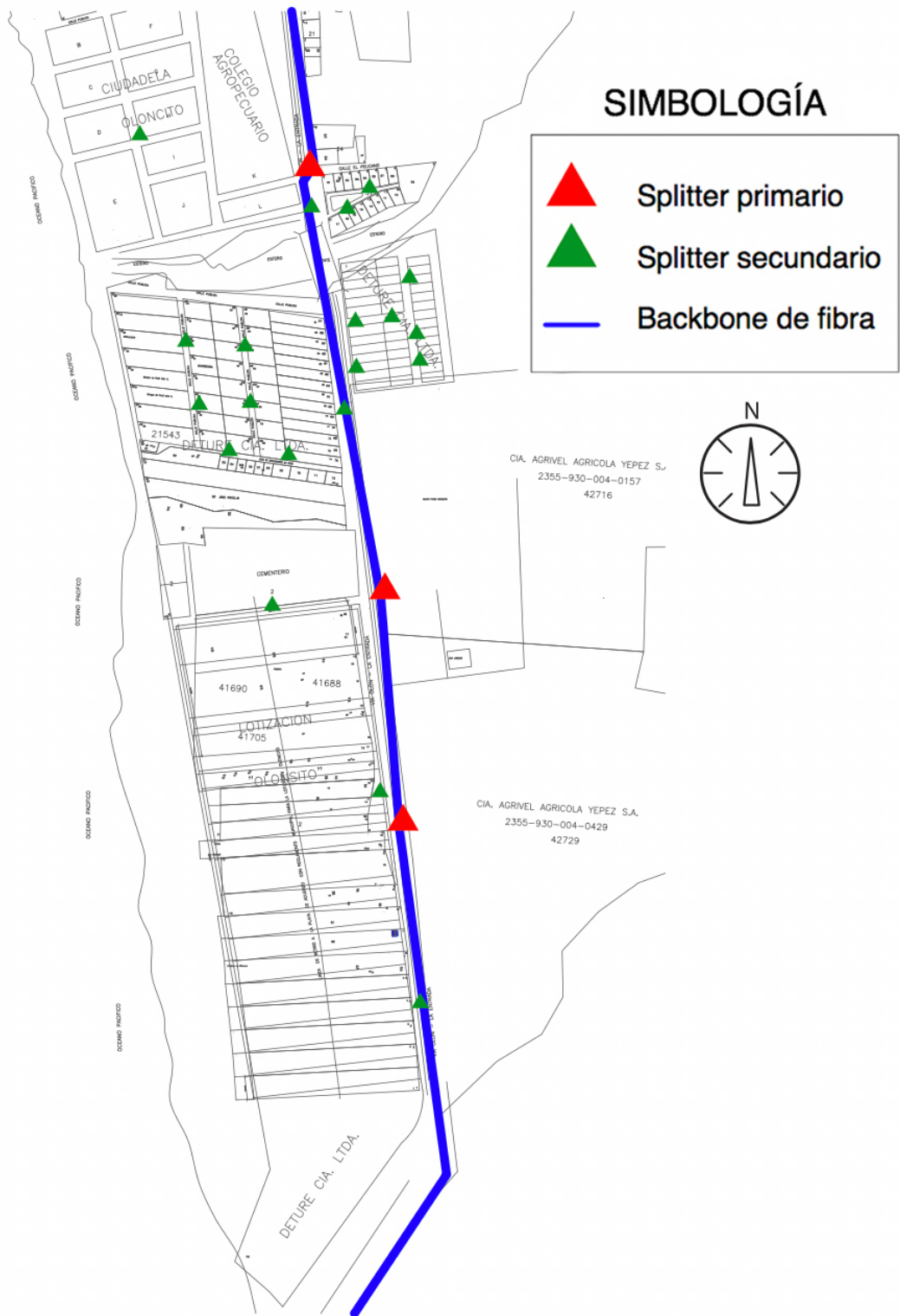
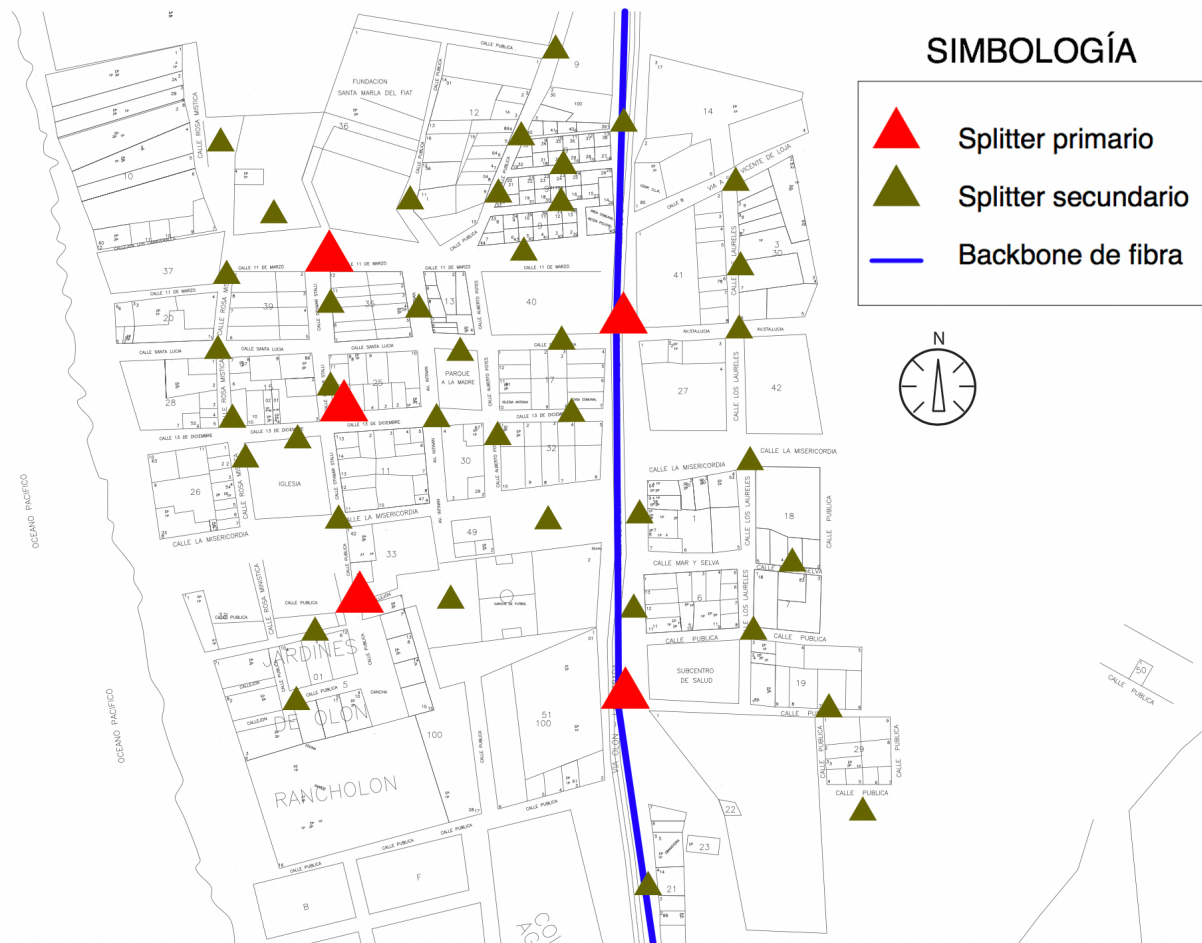


Figura 2.24 Ubicación de elementos de red GPON en la zona 1.





**Figura 2.25** Ubicación de elementos de red GPON en la zona 2.

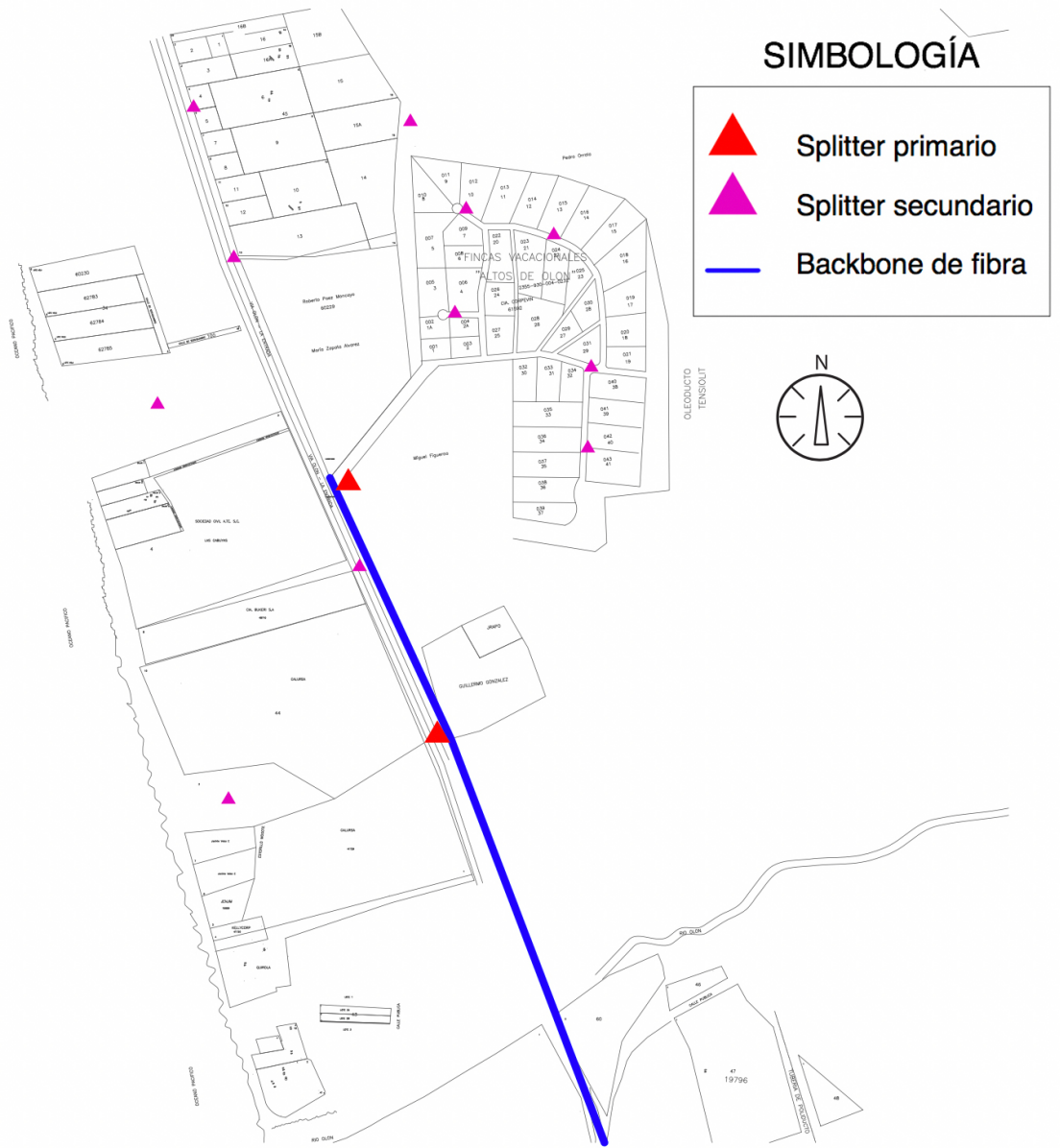


Figura 2.26 Ubicación de elementos de red GPON en la zona 3.

### Entrega de la señal a los subscriptores:

La señal llegará a las instalaciones de los subscriptores a partir de los hilos de fibra salientes de los splitters secundarios. Los usuarios finales podrán hacer uso del servicio a través de la interfaz Fast Ethernet del equipo ONU.

### Equipos a utilizar:

Todos los equipos contemplados en el diseño de la red de fibra óptica se encuentran disponibles en el mercado local. Las cantidades listadas corresponden al dimensionamiento para el 100% de la red, a excepción de las ONT, que corresponden al 40% de lotes de Olón (usuarios potenciales). Sus principales características técnicas se listan en la tabla 2.13 y las hojas de especificaciones del fabricante en el Anexo C.

**Tabla 2.13 Equipos a utilizar en la red de fibra óptica.**

Cantidad	Elemento	Fabricante	Modelo	Características principales
1	OLT	Huawei Technologies Co. Ltd.	MA5608T	16 puertos por tarjeta GPON Split ratio de hasta 1:128 por puerto GPON Cumple con la recomendación G.984 Capacidades de hasta 2.5/1.2 Gbps de downstream Interfaz directa a redes IP/MPLS
222	ONU	Huawei Technologies Co. Ltd.	HG8045H	Puertos 2POTS + 4GE + CATV + Wi-Fi + USB Longitudes de onda de operación: US 1310 nm, DS 1490 nm
1	ODF	OPTYTECH	DFOP1-12-FC11-12-2	12 puertos Conector SC/APC Norma G.652

	Conector óptico	Pigatil	Fast SC/APC	Modos de operación: Monomodo 1310 nm y 1550 nm para G.652D
92	Splitter			Splitter PLC (1x8) conectorizado SC/APC
9	Caja terminal de fibra óptica	GRANDWAY	F2H-FTB-4-A	4 puertos SC/UPC O APC
10 km	Fibra óptica	Fibra ADSS-12 FO	ADSS	Fibra monomodo 12 hilos Baja distorsión Baja atenuación Cumple con la norma G.652

### Pérdidas en la red óptica:

El cálculo de los valores de operación de un sistema de comunicaciones por fibra óptica es utilizado para calcular las pérdidas en la red, y determinar si la misma funcionará con determinados valores fijados de potencia óptica en sistemas de transmisión, y también provee valores para comparar con los valores reales obtenidos [52]. La figura 2.27 muestra de manera gráfica los tipos de pérdida de la red.

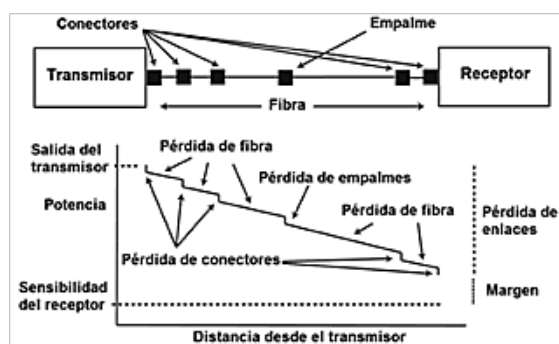


Figura 2.27 Presupuesto de pérdida óptica en una red de fibra [52].

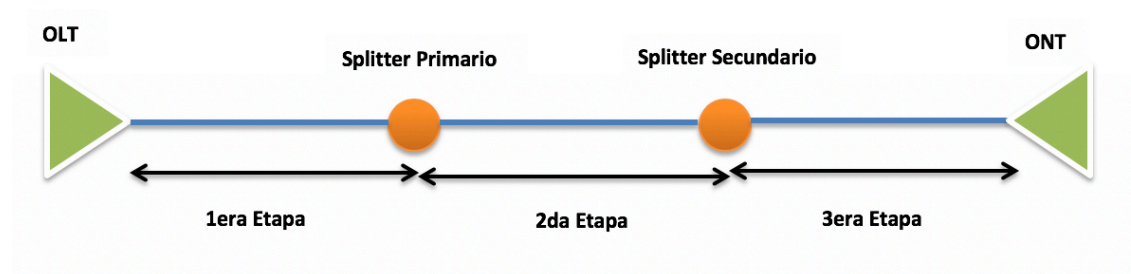
El cálculo de pérdidas incluye factores como:

- Longitud del enlace.
- Tipo de fibra óptica.
- Las longitudes de onda.
- Los conectores y empalmes.
- Atenuación nominal y ancho de banda.

El propósito de este cálculo es garantizar que el equipo de red funcione en el enlace de fibra óptica instalado. Para esto, se calculan los diferentes tipos de pérdida en el trayecto de la fibra:

- Pérdida de la fibra en la longitud de onda de trabajo.
- Pérdidas por conectores.
- Pérdidas por empalmes.
- Pérdidas por divisores o splitters.

Para realizarlo, se dividió el trayecto de la fibra desde la central hasta los usuarios finales en tres diferentes etapas, delimitadas por los splitters primarios y secundarios, como se muestra en la figura 2.28 Las pérdidas comprendidas en cada etapa se listan en la tabla 2.14.



**Figura 2.28 Delimitación de pérdidas ópticas por etapas.**

**Tabla 2.14 Pérdidas ópticas por etapas.**

Etapa	Pérdidas
<b>Pérdida de 1era Etapa (PE1)</b>	Pérdida de 2 conectores + pérdida del splitter primario + pérdida por fusión de la fibra (manga de empalme) + pérdida de la distancia de fibra óptica
<b>Pérdida de la 2da Etapa (PE2)</b>	Pérdida de distancia de fibra óptica + pérdida de 2 conectores + pérdida por fusión de la fibra (manga de empalme)
<b>Pérdida de la 3era Etapa (PE3)</b>	Pérdida del splitter secundario + pérdida de distancia de fibra óptica + pérdida del patchcord + pérdida de 12 conectores
<b>Pérdida total (PT)</b>	PE1 + PE2 + PE3 + Margen de seguridad

Se calculan las pérdidas para el usuario más lejano, lo que representa el escenario del peor caso en cada etapa. Los resultados se resumen en la tabla 2.15.

**Tabla 2.15 Cálculos de pérdidas ópticas.**

Zona	Etapa	Pérdida a 1330 nm (dB)	Pérdida a 1490 nm (dB)
1	PE1	12.08	11.93
	PE2	1.02	0.99
	PE3	11.74	11.73
	<b>PT</b>	<b>27.84</b>	<b>27.65</b>
2	PE1	12.29	12.09
	PE2	1.08	1.03
	PE3	11.76	11.74
	<b>PT</b>	<b>28.14</b>	<b>27.88</b>
3	PE1	12.82	12.49
	PE2	1.23	1.14
	PE3	11.78	11.76
	<b>PT</b>	<b>28.84</b>	<b>28.41</b>

Estos valores representan el nivel teórico de pérdidas para el usuario más lejano para cada longitud de onda de trabajo. Los equipos seleccionados deben contar con una sensibilidad que se ajuste al margen permitido denotado por los valores obtenidos en la tabla 2.15 para asegurar la correcta operación de la red.

### 2.3 Capacidad de la salida a internet

El diseño de ambas redes requiere la contratación de una salida a internet a un proveedor de servicios de acceso a internet externo. Considerando que el uso más común, de los que mayores capacidades requieren, es el *streaming* de video, se ha considerado esta aplicación para dimensionar la salida que se debe contratar. Según Netflix, una conexión con velocidad de 5 megabits por segundo (Mbps) es recomendada para streaming en alta definición (HD) [53].

El presente diseño está determinado para inicialmente ofrecer el servicio al 40% de los lotes de Olón, por lo que sería necesario contar con 1110 Mbps de capacidad (tomando en cuenta 222 usuarios potenciales navegando a 5 Mbps). Sin embargo, considerando comparticiones 2:1 en el caso de la fibra y 4:1 en el radioenlace (estándares en el mercado), se necesitaría contratar una salida a internet de 555 Mbps y 278 Mbps respectivamente. Estos niveles de compartición aseguran una experiencia adecuada de navegación a los usuarios.

Finalmente, añadiendo una reserva a esta capacidad, se ha decidido contratar una salida a internet de 600 Mbps o 300 Mbps dependiendo de la tecnología de acceso seleccionada (fibra óptica o radioenlace).

# CAPÍTULO 3

## 3. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RADIOENLACE

Se implementó el diseño de la red inalámbrica con el propósito de realizar pruebas y verificar que los parámetros de diseño se hayan cumplido. En una red inalámbrica, debido a las características del medio, consideramos pertinente, además de los valores teóricos calculados, realizar mediciones con la red implementada físicamente, dadas las fluctuaciones que puede haber en los resultados producto de las condiciones ambientales cambiantes durante el día.

En el caso de la red de fibra óptica no se realizó la implementación física debido al elevado costo de los equipos y que, dadas las características del medio es factible la implementación directa del diseño. En este tipo de redes, los resultados reales no difieren de los calculados siempre y cuando se hayan utilizado equipos que obedezcan a las recomendaciones de la ITU.

### 3.1 Parámetros a nivel de capa física

#### 3.1.1 Selección de la frecuencia de trabajo

Se escaneó el espectro en los alrededores de la banda de 5.7 GHz en busca de la frecuencia menos ocupada, como se observa en la figura 3.1. Se eligió la banda de 5720 MHz.

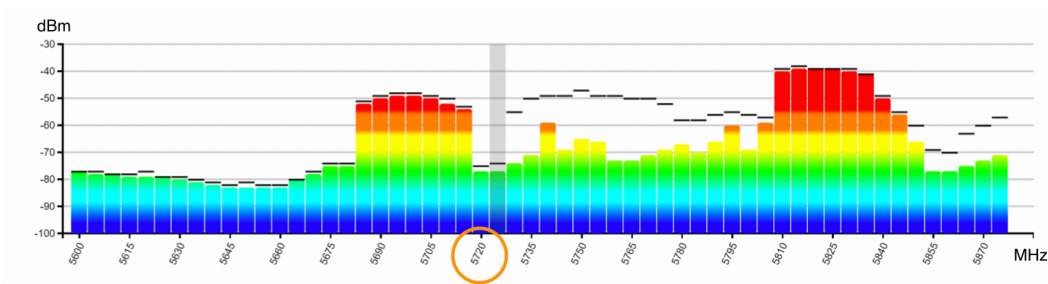


Figura 3.1 Análisis espectral en Olón en la banda de 5.7 GHz.



Una vez instalada la red bajo los criterios descritos en el capítulo 2, se monitoreó el desempeño de la red durante 5 días. Este monitoreo se realizó utilizando el software PRTG Network Monitor que opera bajo el protocolo Simple Network Management Protocol (SNMP). SNMP es un protocolo de capa de aplicación que permite monitorear equipos de red de cualquier fabricante operando bajo esquemas LAN y WAN [54]. SNMP funciona bajo un modelo cliente-servidor, en donde el servidor es llamado administrador, y los clientes agentes. Los agentes pueden ser cualquier tipo de componente conectado a la red, desde teléfonos IP hasta computadoras [55].

Para esto, se instaló el software PRTG Network Monitor en un servidor y se añadieron los radios involucrados en el diseño. De igual manera, se añadieron sensores que permiten recolectar valores instantáneos de los equipos. Específicamente, se añadieron sensores para obtener información de:

- RSSI
- SNR

Tanto el RSSI como la SNR son valores útiles para describir el desempeño de una red inalámbrica. El RSSI hace referencia al valor de la señal recibida en dBm por el dispositivo y la SNR toma en consideración el ruido. Al ser la SNR expresada en dB, ésta consiste en la diferencia entre la señal recibida y el nivel de ruido de fondo. Por ejemplo, si un dispositivo recibe una señal de -75 dB y el ruido es medido en -90 dB, la SNR resultante es de 15 dB. Si la señal recibida es muy cercana al piso de ruido, existe posibilidad de corrupción y pérdida de datos, provocando retransmisiones que afectan la latencia y la capacidad de la red.

Según Cisco, la SNR es un mejor parámetro que la RSSI para describir el desempeño de una red de datos inalámbrica. Una señal de -65 dBm puede ser considerada buena en una ubicación con un piso de ruido de -90 dBm, resultando en una SNR de 25 dB, pero mala en donde el piso de ruido es de

-80 dBm, que resultaría en una SNR de 15 dB. En redes de datos, se recomienda una SNR mayor a 20 dB [56].

El RSSI y la SNR también influyen de manera directa en la capacidad de transmisión de datos, en conjunto con el esquema de modulación utilizado. Por ejemplo, en un canal de 20 MHz a 800 ns bajo el Modulation and Coding Scheme (MCS) 0, que corresponde a un esquema BPSK con codificación de  $\frac{1}{2}$ , se obtiene una tasa de transmisión de 6.5 Mbps. Este valor es dependiente de la SNR y el RSSI, que deben ser como mínimo 2 dBm y -82 dBm, respectivamente, para garantizar esta tasa. Los radios instalados trabajan en los MCS 0 al 15. La tabla 3.1 muestra las tasas de datos obtenidas para estos índices MCS, en todos los niveles MCS satisfacen los requerimientos de transmisión de tasa de datos, considerando que se requieren 5 Mbps por usuario. Las antenas se configuraron para seleccionar el índice de manera dinámica adaptándose a los niveles de RSSI/SNR y la carga de red existentes.

**Tabla 3.1 Tasas de datos por índices MCS [57].**

Índice MCS	Flujos de datos espaciales (MIMO)	Tipo de modulación	Tasa de codificación	Canal de 20 MHz				Canal de 40 MHz			
				Tasa de datos (Mbps)		SNR Mínimo (dB)	RSSI (dBm)	Tasa de datos (Mbps)		SNR Mínimo (dB)	RSSI (dBm)
				800 ns GI	400 ns GI			800 ns GI	400 ns GI		
0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2	2	-82	13.5	15	5	-79
1	1	QPSK	1/2	13	14.4	5	-79	27	30	8	-76
2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7	9	-77	40.5	45	12	-74
3	1	16-QAM	1/2	26	28.9	11	-74	54	60	14	-71
4	1	16-QAM	3/4	39	43.3	15	-70	81	90	18	-67
5	1	64-QAM	2/3	52	57.8	18	-66	108	120	21	-63
6	1	64-QAM	3/4	58.5	65	20	-65	121.5	135	23	-62
7	1	64-QAM	5/6	65	72.2	25	-64	135	150	28	-61
8	2	BPSK	1/2	13	14.4	2	-82	27	30	5	-79
9	2	QPSK	1/2	26	28.9	5	-79	54	60	8	-76
10	2	QPSK	3/4	39	43.3	9	-77	81	90	12	-74
11	2	16-QAM	1/2	52	57.8	11	-74	108	120	14	-71
12	2	16-QAM	3/4	78	86.7	15	-70	162	180	18	-67
13	2	64-QAM	2/3	104	115.6	18	-66	216	240	21	-63
14	2	64-QAM	3/4	117	130	20	-65	243	270	23	-62
15	2	64-QAM	5/6	130	144.4	25	-64	270	300	28	-61

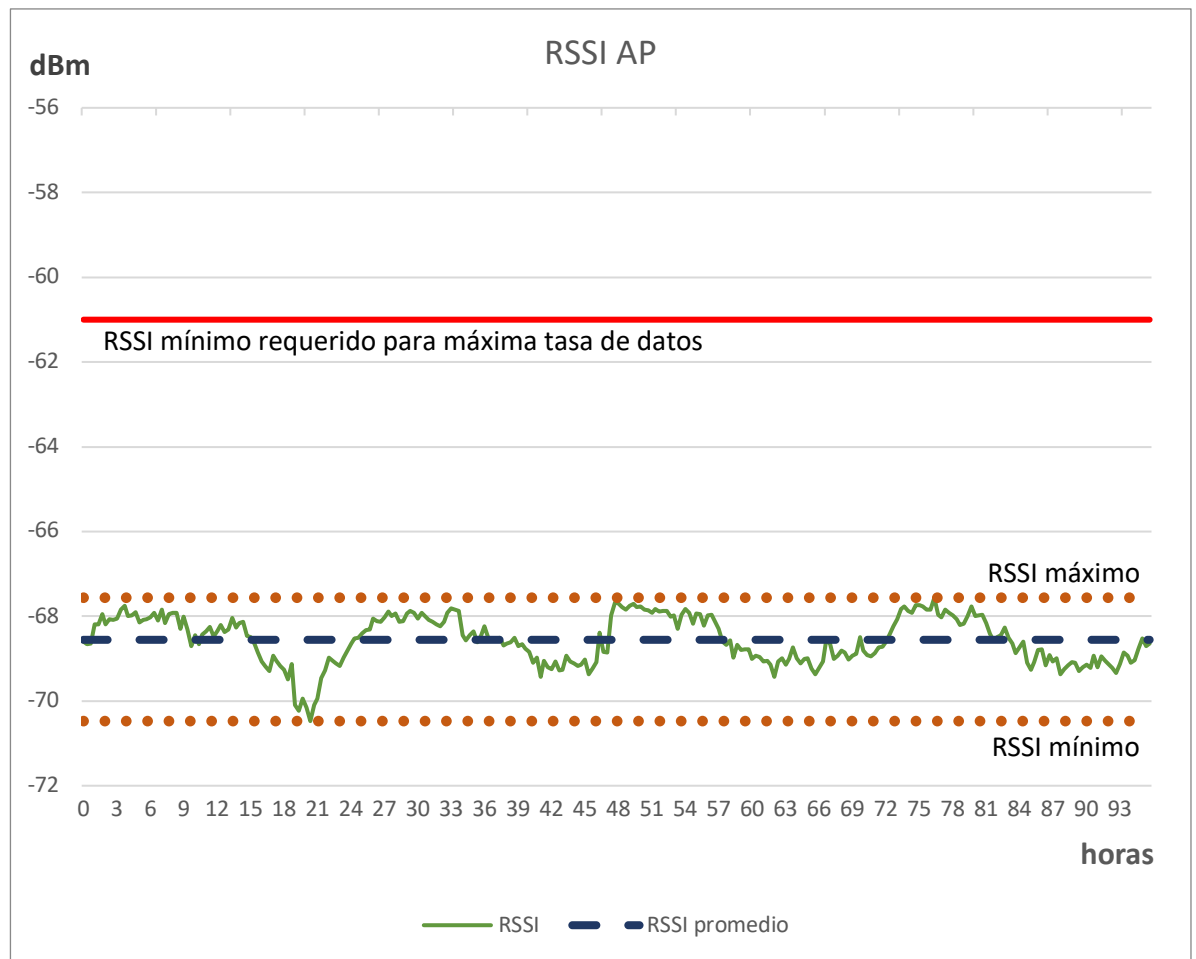
### 3.1.2 Análisis de resultados

Se recogieron los resultados producto de las pruebas realizadas en un período de 10 días, en el receptor, y 4 días en el Access Point, utilizando los respectivos sensores en el software PRTG Network Monitor. Se tomó una muestra cada 20 minutos.

#### ***Antena nodo Olón (Access Point)***

La figura 3.2 muestra los valores de la potencia recibida en las instalaciones del cliente final. Los valores se encuentran en un rango comprendido entre -70.5 y -67.5 dBm. El valor promedio de la potencia recibida es de -68.5 dBm. El valor de RSSI requerido para una tasa de datos de 300 Mbps, correspondiente a un esquema MCS 15, es de -61 dBm, presentando una diferencia de alrededor de 7 dB respecto al valor nominal. Esto se justifica dado a que los fabricantes de equipos suelen listar los valores de RSSI y SNR entre 3 y 6 dB, aproximadamente, ya que el valor RSSI indicado es antes del procesamiento digital de la señal (DSP) y del Maximal Ratio Combining (MRC) [58].

La desviación estándar es de 0.555, siendo este valor muy bueno ya que indica poca dispersión de los datos respecto a la media; es decir, la señal goza de buena estabilidad.

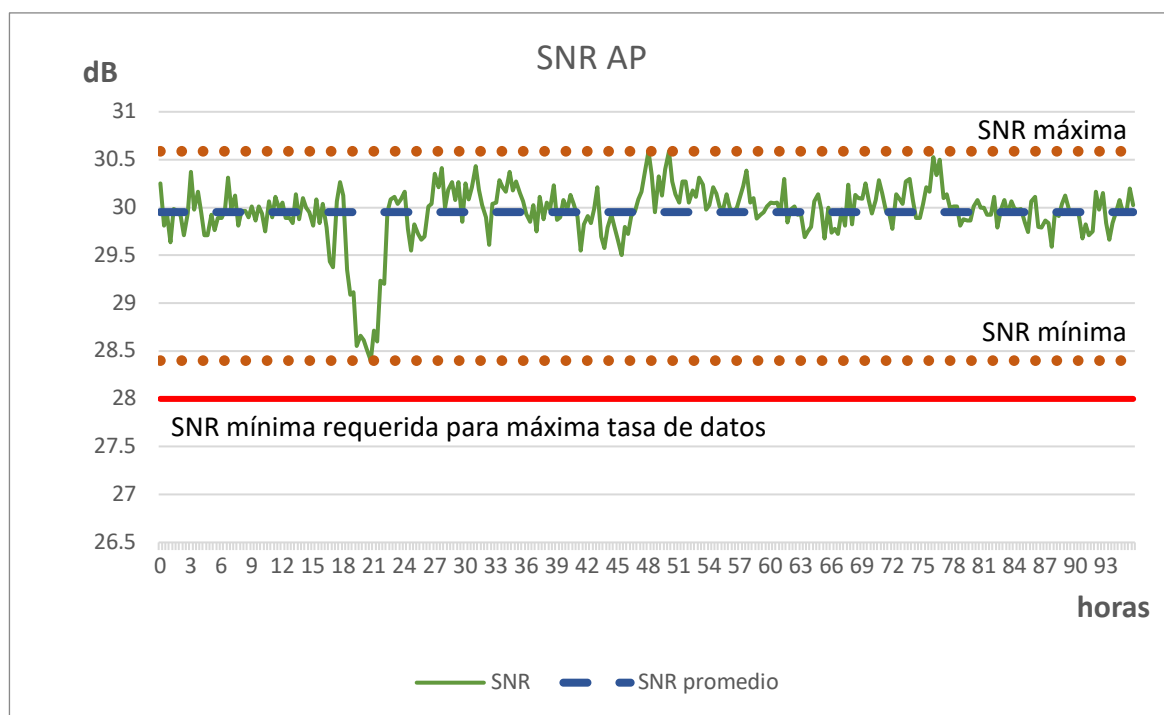


**Figura 3.2 RSSI en el Access Point.**

La figura 3.3 muestra los valores de la relación señal-ruido en las instalaciones del cliente final. Los valores se encuentran en un rango comprendido entre 28.4 y 30.5 dB, lo cual es satisfactorio ya que la SNR requerida para un esquema MCS 15, que permite tasas de transferencias de hasta 300 Mbps, es de 28 dB.

El valor promedio de la SNR en el receptor es de 29.95 dB, el cual se acerca al valor teórico estimado en 34.73 dB. Este valor tuvo una variación no insignificante debido al ruido, que en el presente caso de estudio fue determinado únicamente considerando el ruido térmico.

La desviación estándar es de 0.55, siendo este valor muy bueno ya que indica poca dispersión de los datos respecto a la media; es decir, la señal goza de buena estabilidad.



**Figura 3.3 SNR en el Access Point.**

### ***Antena cliente final***

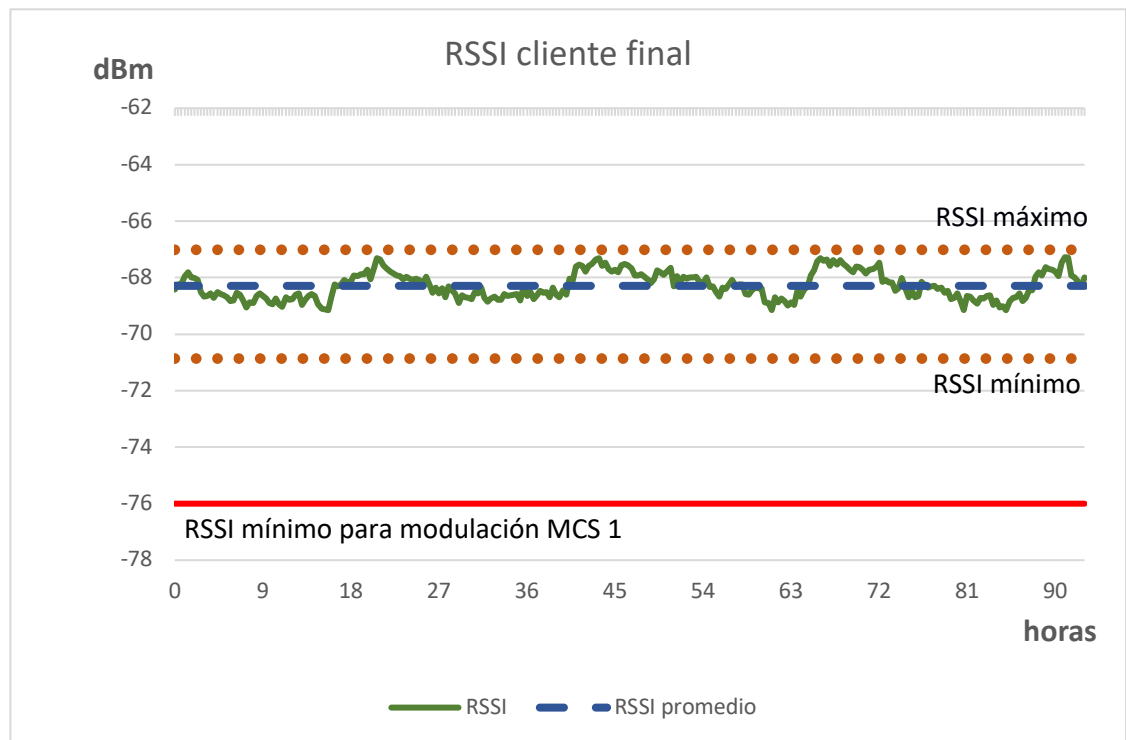
RSSI:

La figura 3.4 muestra los valores de la potencia recibida en las instalaciones del cliente final. Como se observa en la mencionada figura, los valores se encuentran en un rango comprendido entre -71 y -67 dBm, lo cual es satisfactorio ya que la potencia mínima requerida para un esquema MCS 1, que permite tasas de transferencias de hasta 13 Mbps, es de -76 dBm.

El valor promedio de la potencia recibida es de -66.29 dBm, el cual se acerca al valor teórico estimado en -63.1293 dBm. Esto corresponde a una variación

del 5%, la cual es aceptable considerando que el valor teórico se encuentra dentro del rango de datos obtenidos.

La desviación estándar es de 0.527, siendo este valor muy bueno ya que indica poca dispersión de los datos respecto a la media; es decir, la señal goza de buena estabilidad.



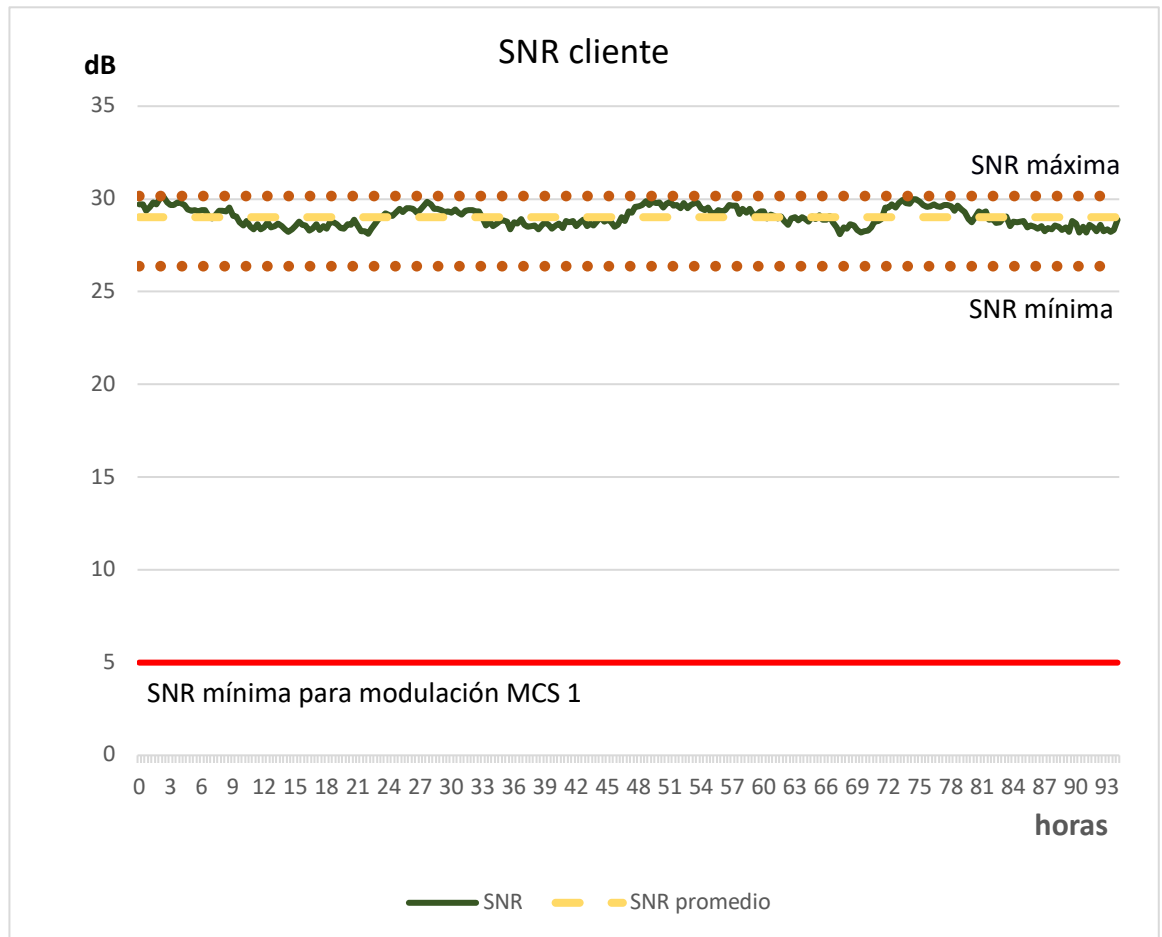
**Figura 3.4 RSSI en la antena del cliente final.**

La figura 3.5 muestra los valores de la relación señal-ruido en las instalaciones del cliente final. Los valores se encuentran en un rango comprendido entre 26 y 30 dB, lo cual es satisfactorio ya que la SNR requerida para un esquema MCS 1, que permite tasas de transferencias de hasta 13 Mbps, es de 5 dB.

El valor promedio de la SNR en el receptor es de 28.95 dB, el cual se acerca al valor teórico estimado en 34.73 dB. Este valor tuvo una variación no

insignificante debido al ruido, que en el presente caso de estudio fue determinado únicamente considerando el ruido térmico.

La desviación estándar es de 0.55, siendo este valor muy bueno ya que indica poca dispersión de los datos respecto a la media; es decir, la señal goza de buena estabilidad.



**Figura 3.5 SNR en la antena del cliente final.**

La disponibilidad del servicio, o *uptime*, en operación fue del 99%, lo que satisface los requerimientos comerciales estándar, como se visualiza en la figura 3.6.





**Figura 3.6 Disponibilidad del servicio de internet.**

### 3.2 Parámetros a nivel de capa de red

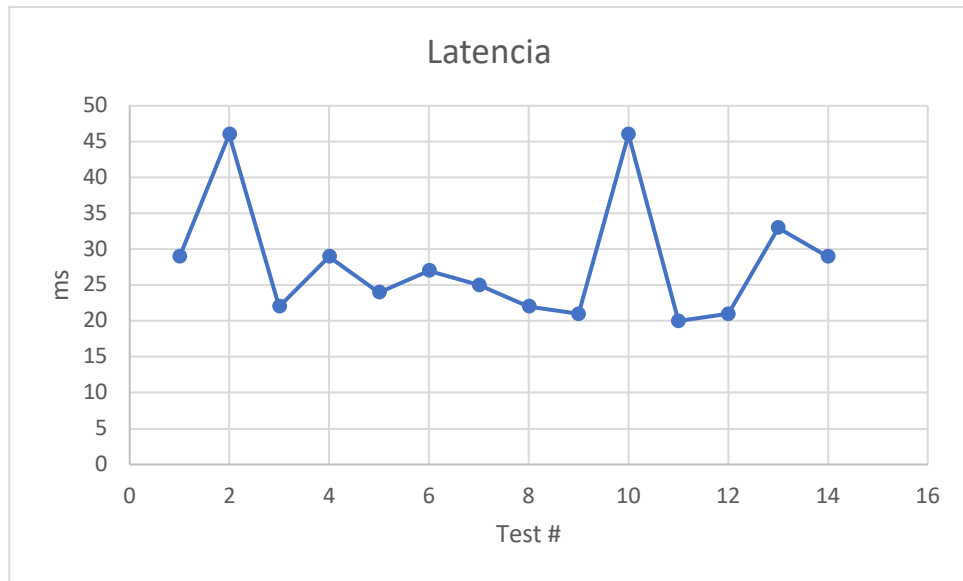
Los parámetros más importantes para determinar la calidad de la conexión a internet son la velocidad de carga y descarga, la latencia, y el *jitter*.

#### 3.2.1 Latencia y jitter

Hasta hace poco era factible predecir la experiencia de navegación en internet únicamente con los valores de *downstream* y *upstream*, sin embargo, las aplicaciones multimedia de voz y video son más sensibles a los cambios en las características de transmisión en la red.

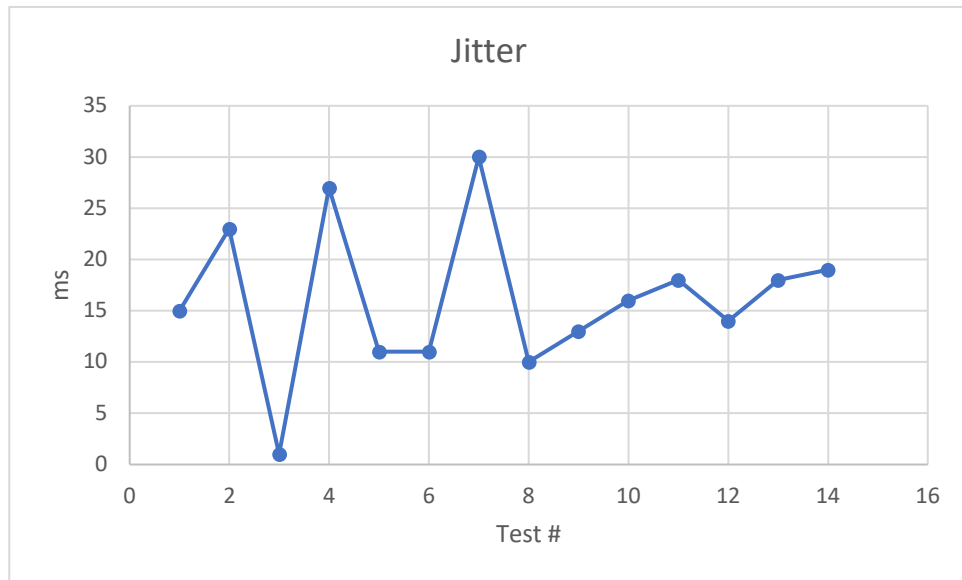
El retardo, o latencia, es el tiempo de ida y vuelta de un paquete en la red, o trayecto punto-a-punto. Como referencia, las aplicaciones VoIP tolera retardos hasta de 150 ms antes de dañar la calidad de la señal. El jitter, por otra parte, es la variación en la latencia durante un cierto plazo. Si el valor del jitter varía demasiado de manera extensa, la calidad de la voz o video puede verse afectada, dependiendo del tamaño del *buffer* de las aplicaciones [59]. El valor del jitter no debería sobrepasar los 30 ms [60].

La figura 3.7 muestran los valores de latencia de la red de acceso inalámbrica medidas desde una computadora conectada al receptor del cliente final usando la aplicación Speedtest de Ookla.



**Figura 3.7 Valores de latencia para la red inalámbrica.**

Como se observa en la figura 3.7, los valores obtenidos no sobrepasan los 46 ms, lo cual indica un nivel de retrasos saludables en la red, considerando que se toleran retrasos de hasta 150 en redes VoIP. En esquemas de acceso múltiple, como es el caso de la presente red punto-a-multipunto, al ser un sistema que comparte el acceso al medio en el tiempo, los paquetes de información pueden formar parte de diferentes tramas al ser transmitidas, por lo que, si es el caso, el tiempo de respuesta puede aumentar considerablemente. La figura 3.8 muestra los valores de jitter en la red.

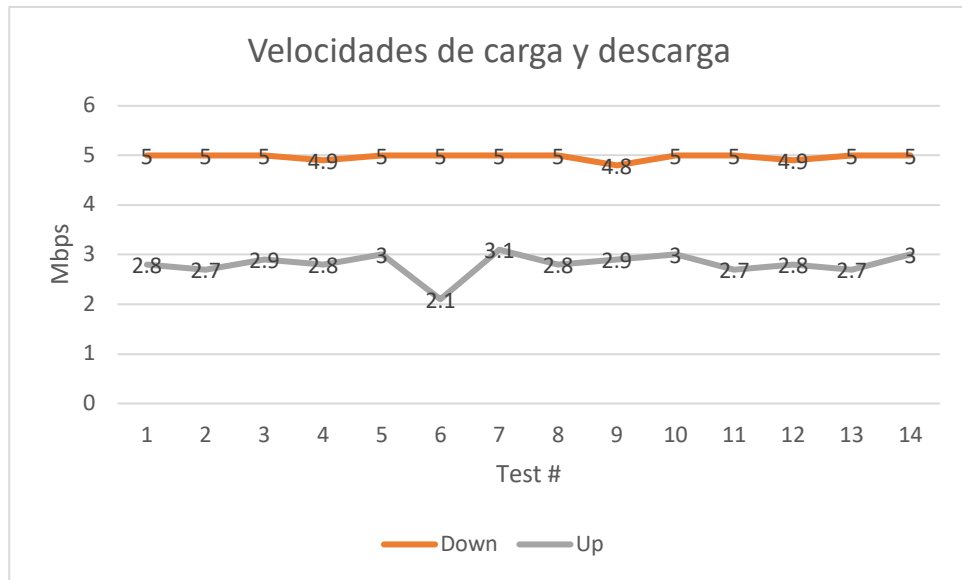


**Figura 3.8 Valores de jitter para la red inalámbrica.**

Como se observa en la figura 3.8 los valores obtenidos no sobrepasan los 30 ms, lo cual indica un nivel de fluctuaciones aceptables en la red, considerando que se toleran retrasos de hasta 30 ms.

### **3.2.2 Velocidad de carga y descarga**

La velocidad de descarga, también conocida como *downstream*, y la velocidad de carga, también conocida como *upstream*, son parámetros esenciales para predecir la calidad de navegación. El downstream se relaciona directamente con la velocidad de carga del contenido, mientras que el upstream a los datos que el usuario envía.



**Figura 3.9 Velocidades de carga y descarga de la red inalámbrica.**

La figura 3.9 muestra las velocidades de carga y descarga obtenidas en las pruebas realizadas. Las velocidades de descarga obtenidas satisfacen el objetivo de 5 Mbps, lo cual asegura una adecuada experiencia con aplicaciones multimedia. De igual manera, las velocidades de carga obtenidas, en promedio alrededor de 3 Mbps, permiten al usuario final subir contenido a internet sin contratiempos.

# CAPÍTULO 4

## 4. ANÁLISIS ECONÓMICO

El presente capítulo abarca un análisis económico a nivel de costos. Estos fueron clasificados, según su naturaleza, en gastos de capital (CapEx) o gastos operativos (OpEx).

### 4.1 CapEx

El CapEx, del inglés *capital expenditure*, es el dinero invertido por una compañía para comprar bienes físicos y no consumibles, tales como un edificio. En términos generales, para que un bien califique como CapEx, la utilidad de este debe ser superior a un año [61]. El CapEx suele ser un indicador del ciclo de vida de la empresa; las empresas que recién comienzan tienden a tener un CapEx elevado. Por otra parte, ciertas empresas de ciertas industrias, como el petróleo y las telecomunicaciones, son intensivas en CapEx, es decir, que tendrán un CapEx mucho mayor a otras industrias, como las de servicios [62].

#### 4.1.1 Red inalámbrica

La tabla 4.1 muestra los gastos de capital involucrados en la red inalámbrica.

**Tabla 4.1 CapEx de la red inalámbrica.**

Ítem	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cambium Networks ePMP Force 200	1	\$230.00	\$230.00
Cambium Networks ePMP Force 180	222	\$125.00	\$27750.00
Instalación de antena ePMP Force 200	1	\$40.00	\$40.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$28020.00</b>

Se puede observar que los gastos de capital de la red están definidos principalmente por los equipos ePMP Force 180.

### 4.1.2 Red de fibra óptica

La tabla 4.2 muestra los gastos de capital involucrados en la red de fibra óptica.

**Tabla 4.2 CapEx de la red de fibra óptica.**

Ítem	Cantidad	Costo unitario	Costo total
OLT Huawei MA5608T	1	\$5698.86	\$5698.86
ODF Optytech	1	\$120.00	\$120.00
Splitters 8:1	92	\$27.00	\$2484.00
Cajas de distribución	10	\$28.00	\$280.00
Cable de fibra óptica ADSS 12FO por km	18	\$650.00	\$11700.00
Instalación red de fibra por km	18	\$200.00	\$3600.00
ONU Huawei EG8245H	222	\$50.00	\$11100.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$10659.33</b>

En comparación con los gastos de capital en la red de inalámbrica, se puede notar que el peso del gasto se reparte entre una mayor variedad de ítems, por lo que la reducción del CapEx total dependería de conseguir mejores precios de varios proveedores. El CapEx total de la red de fibra representa casi la tercera parte de los gastos de la red inalámbrica.

### 4.2 OpEx

El OpEx, del inglés *operational expenditure*, es el conjunto de gastos requeridos para desarrollar las actividades de la empresa [63]. Dependiendo de la industria, estos gastos pueden ser desde insumos de impresión hasta salarios de empleados. También, existe una correlación entre el OpEx y el valor de la compañía, es decir, cuando el OpEx decrece y la calidad y cantidad de producción se mantienen, el valor de la compañía es mayor [64].

#### 4.2.1 Red inalámbrica

La tabla 4.3 muestra los gastos de operación involucrados en la red inalámbrica. Los costos en la tabla son mensuales y recurrentes. La tabla 4.4 muestra los gastos de operación involucrados en la red de fibra óptica.

**Tabla 4.3 OpEx de la red inalámbrica.**

Ítem	Costo
Derechos de instalación de equipos	\$100.00
Salida a internet 300 Mbps	\$7660.80
Derechos de uso de frecuencia	\$19.33
Mantenimiento de red	\$40.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$7820.13</b>

Se puede notar que el principal gasto está definido por la salida a internet, por lo que cualquier reducción de OpEx debería estar enfocada en negociar mejores tarifas por este rubro. Los derechos de uso de frecuencia fueron calculados en base a la normativa dispuesta por el Reglamento de Derechos por concesión y tarifas por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico, en la categoría de Servicio Fijo y Móvil (Multiacceso).

#### 4.2.2 Red de fibra óptica

Al igual que en la red inalámbrica, el OpEx en la red de fibra óptica está definida por la salida a internet, como se muestra en la tabla 4.4. Los costos de uso de postes de tendido eléctrico fueron calculados en base al número de postes por los que pasará la fibra.

**Tabla 4.4 OpEx para la red de fibra óptica.**

Ítem	Costo
Derechos de instalación de equipos	\$100.00
Salida a internet 600 Mbps	\$13980.00
Derechos de uso de postes de tendido eléctrico	\$315.25
Mantenimiento de red	\$100.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$14495.25</b>

### 4.3 Análisis comparativo

#### 4.3.1 CapEx

La estructura de gastos de capital para ambas soluciones es similar, ya que se pueden dividir en dos partes: la instalación propia de la red, y los equipos terminales a ubicarse donde los subscriptores.

El principal gasto de capital en ambas soluciones de red es en los equipos ubicados en las instalaciones de los clientes (radios Force 180 y equipos ONU), por lo que el rubro total dependerá del número de subscriptores a los cuales se decida proveer el servicio a primera instancia. Los costos de estos equipos se muestran en la tabla 4.5.

**Tabla 4.5 CapEx red inalámbrica vs red de fibra (sólo equipos terminales de clientes).**

<b>Red inalámbrica</b>	
Radio ePMP Force 180 precio unitario	\$125.00
Radio ePMP Force 180 precio total	\$27750.00
<b>Red de fibra óptica</b>	
ONU Huawei EG8245H precio unitario	\$50.00
ONU Huawei EG8245H precio total	\$11100.00

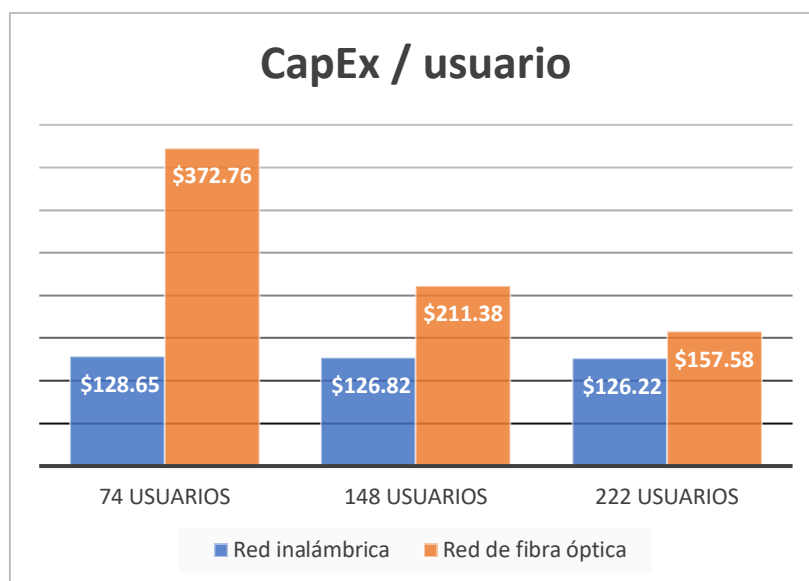
Una diferencia importante entre el CapEx de la red inalámbrica y la red de fibra óptica es el costo de constitución de la red (i.e. todos los gastos de capital exceptuando los equipos de los clientes finales). Estos gastos son fijos y no varían con el número de clientes que contraten el servicio en una primera instancia. La tabla 4.6 muestra los costos involucrados para cada tipo de red.



**Tabla 4.6 CapEx red inalámbrica vs red de fibra (sólo instalación de la red).**

<b>Red inalámbrica</b>	
Radio ePMP Force 200	\$230.00
Instalación de radio	\$40.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$270.00</b>
<b>Red de fibra óptica</b>	
OLT Huawei MA5608T	\$5698.86
ODF Optytech	\$120.00
Cable de fibra ADSS 12FO	\$11700.00
Splitters 8:1	\$2484.00
Cajas de distribución	\$280.00
Instalación red de fibra	\$3600.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$23882.86</b>

Como se observa en la tabla 4.6, el CapEx involucrado en la instalación de la red de fibra óptica es más de 88 veces el de la red inalámbrica. Esto indica que este rubro es significativo solamente en el caso de la red de fibra al momento de la implementación, ya que los costos de la red inalámbrica al ser prorrateado a la totalidad de suscriptores, no tiene mayor peso. La figura 4.1 muestra el CapEx total, prorrateado para diferentes números de posibles suscriptores, llegando hasta el máximo permitido según el diseño de la red.



**Figura 4.1 CapEx por usuario.**

Se puede apreciar en la figura 4.1 que el costo por usuario en la red inalámbrica permanece relativamente constante, es decir que no importa la cantidad de usuarios para la cual se proponga dar el servicio en primera instancia, a diferencia de la fibra óptica que, debido a los elevados costos de implantación de la red, es más conveniente hacerlo para el mayor número de usuarios posibles.

#### 4.3.2 OpEx

Los gastos operativos de ambas soluciones de red presentan, al igual que el CapEx, una estructura similar de costos ya que, a pesar de tratarse de tecnologías diferentes, el servicio es el mismo. Existen gastos fijos inherentes propiamente a la red, y gastos vinculados directamente al número de usuarios para los cuales se disponga el servicio. La tabla 4.7 muestra el OpEx generado por rubros que no dependen de la cantidad de subscriptores del servicio. Los valores mostrados son recurrentes por mes.

**Tabla 4.7 OpEx red inalámbrica vs red de fibra (costos fijos).**

<b>Red inalámbrica</b>	
Derechos de instalación de antena en la torre	\$100.00
Mantenimiento de red	\$40.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$140.00</b>
<b>Red de fibra óptica</b>	
Derechos de instalación de equipos	\$100.00
Mantenimiento de red	\$40.00
Derechos de uso de postes	\$315.25
<b>TOTAL</b>	<b>\$455.25</b>

La tabla 4.8 muestra los rubros del OpEx que dependen de la cantidad de usuarios. Los valores mostrados son para 222 usuarios, es decir, la máxima capacidad según el diseño.

**Tabla 4.8 OpEx red inalámbrica vs red de fibra (costos dependientes de la cantidad de subscriptores).**

<b>Red inalámbrica</b>	
Salida a internet (300 Mbps)	\$7660.80
Derechos de uso de frecuencia	\$19.33
<b>TOTAL</b>	<b>\$7680.13</b>
<b>Red de fibra óptica</b>	
Salida a internet (600 Mbps)	\$13978.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$13978.00</b>

Los derechos de uso de frecuencia fueron calculados según la normativa vigente de la Arcotel, la cual establece un factor según el número de receptores. Se obtuvieron los siguientes valores según la cantidad de usuarios mostrados en la tabla 4.9:

**Tabla 4.9 Costos de derechos de frecuencia.**

<b>Usuarios</b>	<b>Valor anual</b>	<b>Valor mensual</b>	<b>Valor mensual por usuario</b>
222	\$232.00	\$19.33	\$0.087
148	\$147.00	\$12.25	\$0.068
74	\$64.00	\$5.33	\$0.072

Como se observa en la tabla 4.9, el valor mensual por usuario varía alrededor de un centavo, minúsculo respecto a los demás costos operativos. Las tablas 4.10 y 4.11 recogen los precios mensuales de la salida a internet por capacidad demandada.

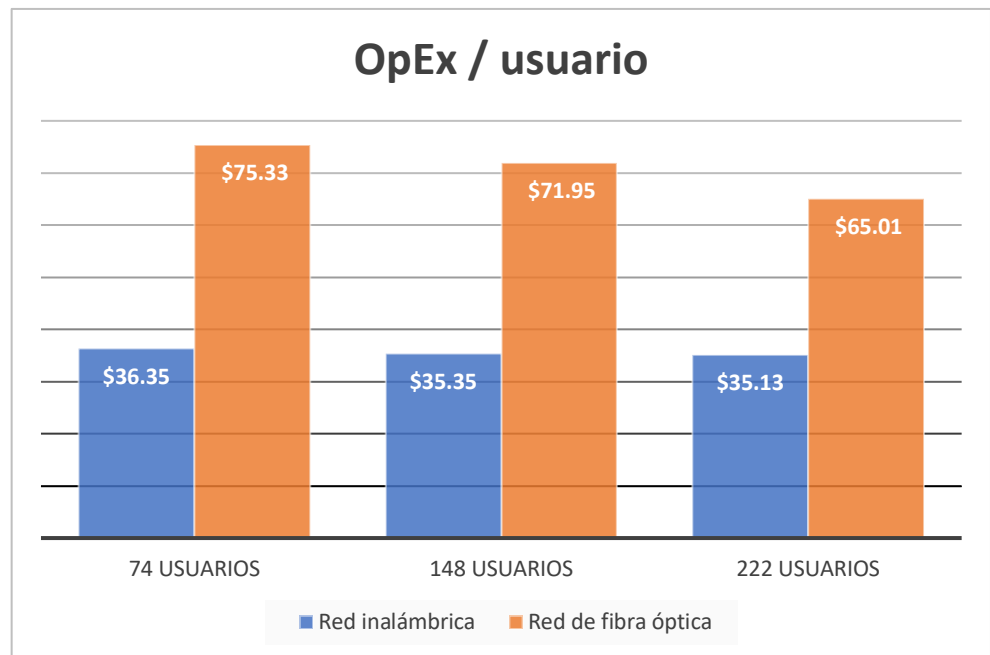
**Tabla 4.10 Costos de salida a internet para red inalámbrica.**

<b>Usuarios</b>	<b>Mbps requeridos</b>	<b>Valor por Mbps</b>	<b>Valor total</b>	<b>Valor total por usuario</b>
222	300	\$25.54	\$7662	\$34.51
148	200	\$25.60	\$5120	\$34.54
74	100	\$25.65	\$2565	\$34.66

**Tabla 4.11 Costos de salida a internet para fibra óptica**

<b>Usuarios</b>	<b>Mbps requeridos</b>	<b>Valor por Mbps</b>	<b>Valor total</b>	<b>Valor total por usuario</b>
222	600	\$23.30	\$13980	\$62.97
148	400	\$25.48	\$10192	\$68.86
74	200	\$25.60	\$5120	\$68.19

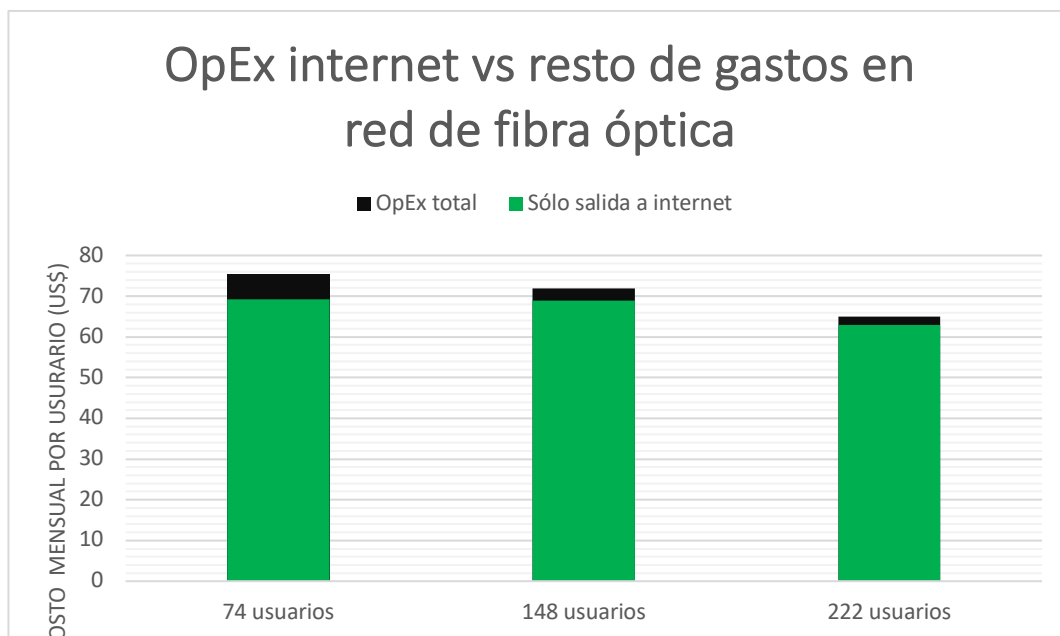
Como se observa en las tablas 4.10 y 4.11, el costo por usuario de la salida a internet decrece conforme aumenta el número de subscriptores. La figura 4.2 muestra el OpEx, por usuario, para diferente número de subscriptores.



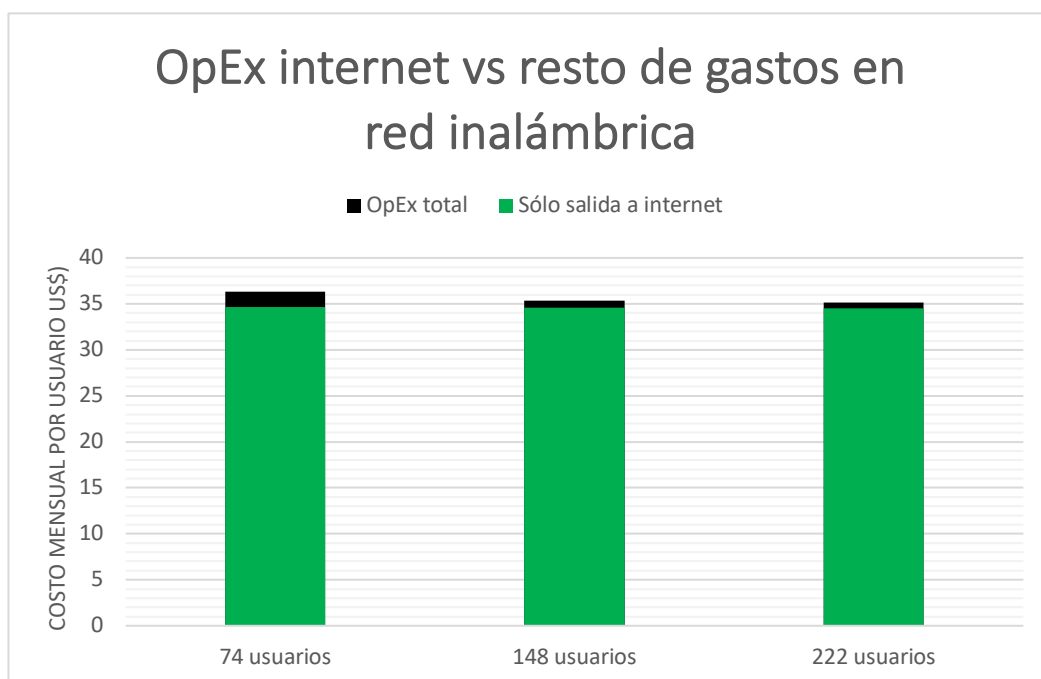
**Figura 4.2 OpEx por usuario.**

La figura 4.2 muestra una clara tendencia de reducción de costos de operación del servicio, por usuario, conforme aumenta el número de suscriptores. Las figuras 4.3 y 4.4 muestran el impacto del servicio de internet respecto al OpEx total.

El costo operativo de la red radica, casi en su totalidad, en la salida a internet, que debe ser subcontratada a otro operador de telecomunicaciones con infraestructura de acceso a redes internacionales de internet.



**Figura 4.3 Costo de la salida a internet respecto al OpEx total en la red de fibra óptica.**



**Figura 4.4 Costo de la salida a internet respecto al OpEx total en la red inalámbrica.**

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

El proceso de diseño de redes de acceso a internet debe ser visto, por la naturaleza del servicio, de manera integral, desde aspectos técnicos fundamentales hasta la viabilidad económica de la operación. Una decisión crítica que se debe tomar como parte del planeamiento es justamente la elección de la tecnología, ya que una elección equivocada en este aspecto conlleva al desperdicio hasta en su totalidad en la infraestructura instalada y equipos terminales de los clientes en caso de realizar un cambio de tecnología posterior, debido a que esto implicaría construir una nueva red desde cero.

El presente estudio estuvo enfocado en buscar la mejor forma de llevar servicios de internet a poblaciones rurales que históricamente han sido desatendidas en comparación con áreas urbanas. El planeamiento de red en zonas rurales conlleva el análisis de otros factores que en las ciudades no representan un obstáculo a la viabilidad técnica y económica de la operación. Específicamente, un factor clave es el número de subscriptores que gozarán del servicio. La cantidad de usuarios en términos absolutos y de densidad tienen que ser analizados a detalle para determinar la tecnología más adecuada para la zona de estudio.

En comunidades rurales con características similares a las de la comuna de Olón, que fue el caso de estudio de este proyecto, se determinó que ambos tipos de redes son viables técnicamente:

- La implementación de redes inalámbricas WLL es factible en este tipo de zonas debido a la amplia disponibilidad de una línea de vista entre el punto de acceso (AP) y los módulos de suscriptor de los usuarios. Esto asegura la conectividad del enlace y permite obtener niveles de recepción adecuados para un servicio eficaz, como se demostró en los capítulos 2 y 3. Específicamente, se obtuvieron valores de SNR que sobrepasan los requerimientos para una tasa de transmisión de datos de 5 Mbps por usuario. Esto se vio reflejado en las pruebas de velocidad y latencia realizadas desde una computadora conectada al receptor de un usuario final de la red.
- La capacidad de transmisión de datos del AP es un factor que limita el crecimiento de número de usuarios atendidos, ya que es menor en al menos un orden de magnitud en comparación con equipos de fibra. Esto es mitigado de manera comercial ofreciendo comparticiones mayores en este tipo de redes (4:1 en comparación con 2:1 en métodos de acceso guiados). El AP del presente estudio tiene una capacidad de alrededor de 222 usuarios navegando a 5 Mbps con una compartición 4:1. La solución a este problema es la instalación de AP adicionales creando redes paralelas, sin embargo, esto no es escalable para grandes cantidades de usuarios. En zonas rurales este punto no representa un problema dada la baja densidad y número de usuarios involucrados, pero es relevante precisar el alcance de esta tecnología.
- Una fortaleza de las redes WLL es la facilidad de instalación y operación. Una vez realizado el estudio de factibilidad y cálculos de propagación es posible tener la red operando en muy poco tiempo, especialmente porque no se requiere la realización de obra civil. La instalación de los equipos se puede realizar usando infraestructura existente (torres de comunicaciones) de las operadoras celulares, bajo amparo de la normativa existente que



obliga a los dueños de estos sitios permitir el acceso, previa disponibilidad y bajo un costo a convenir, a otras empresas de comunicaciones.

- La implementación de redes de fibra óptica en poblaciones como Olón es factible gracias a la disponibilidad de postes de cemento de tendido eléctrico. La normativa vigente en Ecuador obliga a las empresas eléctricas del país permitir el acceso, bajo un costo a convenir, a empresas de comunicaciones. En zonas donde existen postes de manera irregular, o de caña o materiales similares, no es factible la implementación de redes de fibra de manera aérea. La instalación subterránea de las mismas quedaría descartada por motivos técnicos, principalmente la ausencia de infraestructura básica (aceras, calles de concreto).
- La cantidad de usuarios es un factor mucho menos limitante que en el caso de redes inalámbricas. Un solo equipo OLT puede tener capacidad para miles de usuarios, lo que representa una mayor capacidad de crecimiento en estos términos.
- Los equipos OLT de fibra óptica permiten tasas de transferencia de datos mucho mayores que los de redes inalámbricas, por lo que hay una gran capacidad de crecimiento en velocidades de internet a los usuarios finales a futuro.

De igual manera, se encontraron ciertas particularidades a nivel de costos para ambos tipos de red:

### **Red inalámbrica**

- En redes WLL, los rubros de CapEx son menores en términos absolutos en comparación con la red de fibra óptica. Esto se debe principalmente al costo bajo del AP. Sin embargo, los equipos terminales de los clientes son más costosos en redes inalámbricas, por lo que se concluye que para

números de usuarios bajos de usuarios (hasta alrededor de un poco más de 222 usuarios en el presente estudio) es más conveniente la instalación de redes WLL en términos de CapEx.

- Al ofrecer el servicio con las condiciones comerciales actuales de compartición 4:1, se reduce a la mitad el gasto en OpEx considerando que la gran mayoría del OpEx es precisamente la contratación de la capacidad de salida a internet. Existe un rubro asociado a los derechos de uso de frecuencia y el mantenimiento de la red, pero estos son ínfimos en comparación con la salida a internet.

### **Red de fibra óptica**

- En poblaciones con un área central donde se concentra gran parte de la población, es factible, en términos de CapEx, la instalación de redes de fibra óptica, ya que se requiere en estos casos un menor uso de kilómetros de fibra. De igual manera, esta densidad asegura una distribución adecuada en los esquemas de división de luz. También, se aprovecha en estas circunstancias las capacidades potenciales del equipo principal OLT, ya que soporta mayores cantidades de usuarios añadiendo mas hilos de fibra y/o tarjetas de expansión, según sea el caso.
- Bajo condiciones comerciales actuales, el costo de operación se duplica debido a la compartición (2:1). Sin embargo, esto podría ser disminuido ofreciendo comparticiones mayores como por ejemplo 4:1 que se ofrece en servicios inalámbricos. Al igual que en las redes WLL, la gran mayoría del OpEx se concentra en la contratación de la capacidad de salida a internet. El costo de mantenimiento de la red es mínimo en comparación.

## 5.2 Recomendaciones

- Debido a la importancia de determinar el número de usuarios es importante realizar un estudio de mercado que permita conocer con la mayor precisión la cantidad de usuarios que contratarían el servicio.
- Ya que el principal costo operativo es la salida a internet, para obtener costos viables comercialmente, se recomienda negociar tarifas más reducidas por este servicio.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] United Nations General Assembly, *Promotion and protection of all human rights, civil, political, economic, social and cultural rights, including the right to development*, New York, New York: United Nations, 2016.
- [2] World Economic Forum, «IoT for Sustainable Development Project,» [En línea]. Available: <http://widgets.weforum.org/iot4d/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2018].
- [3] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, «La penetración de internet banda ancha aumentó en el Ecuador y se consolida como política pública,» Gobierno de la República del Ecuador, [En línea]. Available: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/la-penetracion-de-internet-banda-ancha-aumento-en-el-ecuador-y-se-consolida-como-politica-publica/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2018].
- [4] Diario El Comercio, «El uso de Internet en Ecuador creció 11 veces en siete años,» Grupo El Comercio, 17 Agosto 2014. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/tendencias/ecuador-internet-datos-tecnologia-usuarios.html>. [Último acceso: 3 Noviembre 2018].
- [5] Instituto Nacional de Estadística y Censos, «Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC'S) 2016,» 2016. [En línea]. Available: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Sociales/TIC/2016/170125.Presentacion\\_Tics\\_2016.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/2016/170125.Presentacion_Tics_2016.pdf). [Último acceso: 5 Noviembre 2018].
- [6] M. Gonzalez, «Redes Telemáticas - La última milla,» 12 Noviembre 2012. [En línea]. Available: <http://redestelematicas.com/la-ultima-milla/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2018].
- [7] N. Pignataro y J. Acuña, «Introducción a Redes de Acceso,» 2017. [En línea]. Available: [https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/174356/mod\\_resource/content/1/Introduccion%20a%20redes%20de%20acceso\\_2017.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/174356/mod_resource/content/1/Introduccion%20a%20redes%20de%20acceso_2017.pdf). [Último acceso: 1 Noviembre 2018].

- [8] A. R. Noerpel y Y.-B. Lin, «Wireless local loop: architecture, technologies and services,» *IEEE Personal Communications*, vol. 5, nº 3, pp. 74-80, 1998.
- [9] J. Pickens, D. Sala, J. Limb y A. Gummalla, «Point to Multipoint (P2MP) 802 Architecture Conformance Issues,» [En línea]. Available: [http://www.ieee802.org/3/efm/public/nov01/pickens\\_1\\_1101.pdf](http://www.ieee802.org/3/efm/public/nov01/pickens_1_1101.pdf). [Último acceso: 2 Noviembre 2018].
- [10] C. Batista y H. Marcano, «WLL,» Agosto 2007. [En línea]. Available: <http://www.geocities.ws/bati144/fase2/t2.html>. [Último acceso: 2018 2 Noviembre].
- [11] Universidad de Sevilla, «Técnicas de Acceso Múltiple. OFDMA y SC- FDMA,» [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12081/fichero/OFDMA+y+SC-FDMA+en+la+Interfaz+Radio+de+LTE%252F4.+Técnicas+de+acceso+múltiple.+OFDMA+y+SC-FDMA.pdf>. [Último acceso: 12 Noviembre 2018].
- [12] J.-P. M. Linnartz, «Time Division Multiple Access (TDMA),» JPL's Wireless Communication Reference Website, [En línea]. Available: <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr04/multi/tdma.htm>. [Último acceso: 6 November 2018].
- [13] P. E. Valenzuela Cano, «Universidad de Chile - Sistemas de Comunicaciones,» 2004. [En línea]. Available: [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2004/2/EL65G/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=47591](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2004/2/EL65G/1/material_docente/bajar?id_material=47591). [Último acceso: 10 Noviembre 2018].
- [14] Secretaria Nacional de Telecomunicaciones, «Instructivo Portadores Satelitales,» [En línea]. Available: [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/instructivo\\_portadores\\_satelitales.pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/instructivo_portadores_satelitales.pdf). [Último acceso: 3 Noviembre 2018].
- [15] Deployment & Operations Committee, «White Paper: Innovative FTTH Deployment Technologies,» Fibre to the Home Council Europe.
- [16] M. Josan, «Cómo funciona una conexión de fibra. GPON y FTTH,» 13 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://naseros.com/2017/03/13/como-funciona-una-conexion-de-fibra-gpon-y-ftth/>.

- [17] M. Abreu, A. Castagna, P. Cristiani, P. Zunino, E. Roldós y G. Sandler, «CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA AL HOGAR (FTTH),» *Memoria de trabajos de difusión científica y técnica*, vol. 7, pp. 38-46, 2009.
- [18] Climate-data.org, «CLIMA SANTA ELENA,» [En línea]. Available: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-pichincha/santa-elena-180716/>. [Último acceso: 2 Enero 2018].
- [19] K. C. Mukesh, S. Joshi y L. S. Garia, «Prediction of Rain Attenuation and Impact of Rain in Wave Propagation at Microwave Frequency for Tropical Region (Uttarakhand, India),» *International Journal of Microwave Science and Technology*, vol. 2014, p. 6, 2014.
- [20] P. A. Vela Remache, «Estudio y diseño de un radio enlace para transmisión de datos, e internet en frecuencia libre para la cooperativa indígena "Alfa y Omega" utilizando equipos Airmax de Ubiquiti,» April 2015. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10776/1/CD-6315.pdf>.
- [21] Instituto de Ingeniería Eléctrica - Facultad de Ingeniería - Universidad de la República, Uruguay, «Curso de Propagación en Entornos Urbanos,» [En línea]. Available: [https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/63628/mod\\_resource/content/1/clase\\_6\\_Modelos\\_de\\_Propagacion.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/63628/mod_resource/content/1/clase_6_Modelos_de_Propagacion.pdf).
- [22] IDC Technologies, «FREE SPACE LOSS,» [En línea]. Available: [http://www.idc-online.com/technical\\_references/pdfs/electronic\\_engineering/Free\\_Space\\_Loss.pdf](http://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/electronic_engineering/Free_Space_Loss.pdf).
- [23] Telectronika, «Cálculo de Atenuación en el Espacio Libre,» [En línea]. Available: <https://telectronika.com/herramientas/perdida-en-el-espacio-libre/>.
- [24] International Telecommunications Union, «Recommendation ITU-R P.525-3 (09/2016) Calculation of free-space attenuation,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-3-201611-I!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-3-201611-I!!PDF-E.pdf).
- [25] EnGenius tech, «Outdoor RSSI and Acceptable Signal Strength,» 25 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://helpcenter.engeniustech.com/hc/en-us/articles/360015304031>.

- [26] Universitat de les Illes Balears, «Apuntes SEC,» [En línea]. Available: [http://dfs.uib.es/GTE/education/telematica/sis\\_ele\\_comunicacio/Apuntes/Capitulo%203.pdf](http://dfs.uib.es/GTE/education/telematica/sis_ele_comunicacio/Apuntes/Capitulo%203.pdf).
- [27] DAENotes, «Notes,» [En línea]. Available: <https://www.daenotes.com/electronics/communication-system/noise>.
- [28] J. Marquez Flores, «Curso Instrumentación y Señales - Ruido,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.academicos.ccadet.unam.mx/jorge.marquez/cursos/Instrumentacion/Ruido.pdf>.
- [29] F. Ramos, «Pérdidas en obstáculos,» [En línea]. Available: <http://www.radioenlaces.es/articulos/perdidas-en-obstaculos/>.
- [30] Proxim Wireless, «Definition & Calculation of Fresnel Clearance Zone,» [En línea]. Available: <http://www.proxim.com/products/knowledge-center/calculations/calculations-fresnel-clearance-zone>. [Último acceso: 19 Diciembre 2018].
- [31] Econotecnia, «¿Qué son los radioenlaces y qué ventajas tienen?,» 30 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.econectia.com/blog/que-son-radioenlaces-wifi-ventajas>.
- [32] N. Gilani , «Ventajas y desventajas de las comunicaciones de radio por microondas,» 1 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.geniolandia.com/13182158/ventajas-y-desventajas-de-las-comunicaciones-de-radio-por-microondas>.
- [33] EcuRed, «Redes punto a punto,» [En línea]. Available: [https://www.ecured.cu/Redes\\_punto\\_a\\_punto](https://www.ecured.cu/Redes_punto_a_punto). [Último acceso: 14 Diciembre 2018].
- [34] Cambium Network, «ePMP Force 200 5 Ghz,» [En línea]. Available: <https://www.cambiumnetworks.com/products/epmp/force-200-5-ghz/>. [Último acceso: 17 Diciembre 2018].
- [35] Cambium Networks, *ePMP Force 200 for 2.4 GHz and 5 GHz SPECIFICATION SHEET*, Cambium Networks Ltd., 2018.
- [36] WNI Wireless Solutions Mexico, «Tipos de antenas y funcionamiento,» [En línea]. Available:

[https://www.wni.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&catid=31:general&id=62:antenasoporte&Itemid=79](https://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&catid=31:general&id=62:antenasoporte&Itemid=79).

- [37] International Electrotechnical Commission, «IEC 60529:1989+AMD1:1999+AMD2:2013 CSV Consolidated version,» 2013. [En línea]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/2452>.
- [38] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, «Plan Nacional de Frecuencias,» 2017. [En línea]. Available: [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/ANEXO-1\\_DOCUMENTO-PNF..pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/ANEXO-1_DOCUMENTO-PNF..pdf).
- [39] R. Coudé, «Radio Mobile Freeware by VE2DBE,» 15 Octubre 2018. [En línea]. Available: <http://www.ve2dbe.com/english1.html>.
- [40] I. D. Brown, «Radio Mobile,» 18 Diciembre 2017. [En línea]. Available: [http://www.g3tvu.co.uk/Radio\\_Mobile.htm](http://www.g3tvu.co.uk/Radio_Mobile.htm).
- [41] J. Geier, «How to: Define Minimum SNR Values for Signal Coverage,» 2013. [En línea]. Available: [http://www.wireless-nets.com/resources/tutorials/define\\_SNR\\_values.html](http://www.wireless-nets.com/resources/tutorials/define_SNR_values.html).
- [42] What-when-how, «Wireless Local Loops (Networking),» [En línea]. Available: <http://what-when-how.com/networking/wireless-local-loops-networking/>.
- [43] Cambium Networks, «ePMP 180 specification sheet,» 2018. [En línea]. Available: [https://3fdumf3rqw5xx4mjgywguwz9-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/10/SS\\_ePMP\\_force180\\_06222018.pdf](https://3fdumf3rqw5xx4mjgywguwz9-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/10/SS_ePMP_force180_06222018.pdf).
- [44] Antel, «¿Qué es la fibra óptica?,» [En línea]. Available: <http://www.antel.com.uy/personas-y-hogares/internet/fibra-optica/que-es-la-fibra-optica>.
- [45] A. Rodríguez, «Fibra Óptica, qué es y cómo funciona,» 10 Junio 2012. [En línea]. Available: <https://www.fibraopticahoy.com/fibra-optica-que-es-y-como-funciona/>.
- [46] KeyFibre, «¿Porqué necesitamos sustituir el cobre por la fibra?,» 17 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.keyfibre.com/porque-necesitamos-sustituir-el-cobre-por-la-fibra/>.



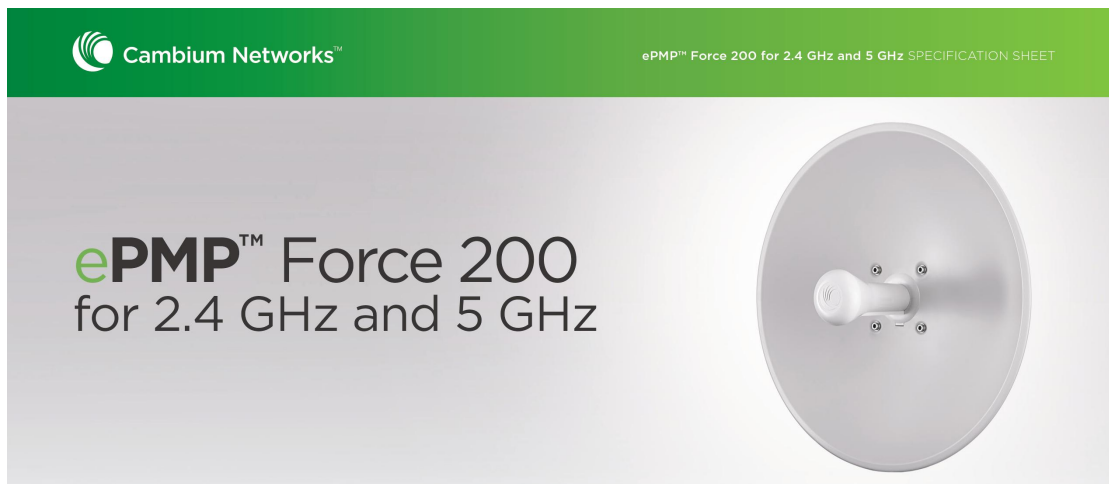
- [47] International Telecommunication Union, «G.984.1 : Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics,» 29 March 2008. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-I/en>.
- [48] Universidad de Concepción, «Ventajas y Desventajas de la Fibra Óptica,» 2002. [En línea]. Available: <http://www2.udec.cl/~jdupre/fibra/ven.html>.
- [49] Agencia Estatal de Seguridad Aérea, «Técnicas digitales - Fibra óptica,» [En línea]. Available: [https://www.seguridadaerea.gob.es/media/3785415/modulo05\\_cap10.pdf](https://www.seguridadaerea.gob.es/media/3785415/modulo05_cap10.pdf).
- [50] International Telecommunication Union, «G.652 : Characteristics of a single-mode optical fibre and cable,» 13 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652>.
- [51] International Telecommunication Union, «G.983.1 : Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON),» 13 Enero 2005. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.1-200501-I/en>.
- [52] The Fiber Optic Association, Inc., «Guide To Fiber Optics & Premises Cabling, Capítulo 9 - Presupuesto de potencia y de pérdida óptica,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.thefoa.org/ESP-Design/Ch9.htm>.
- [53] Netflix, Inc., «Internet Connection Speed Recommendations,» 2019. [En línea]. Available: <https://help.netflix.com/en/node/306>.
- [54] M. Rouse, J. Scarpati, A. Ranjan, C. Karbinski y J. Matthew, «Simple Network Management Protocol (SNMP),» 30 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/SNMP>.
- [55] D. Oros, «Network Basics: What Is SNMP and How Does It Work?,» 26 Julio 2016. [En línea]. Available: <https://www.auvik.com/franklymsp/blog/network-basics-what-is-snmp/>.
- [56] Cisco Systems, Inc., «Wireless fundamentals: Signal-to-Noise Ratio (SNR) and wireless signal strength,» 2018. [En línea]. Available: [https://documentation.meraki.com/MR/WiFi\\_Basics\\_and\\_Best\\_Practices/Wireless\\_fundamentals%3A\\_Signal-to-Noise\\_Ratio\\_\(SNR\)\\_\\_and\\_wireless\\_signal\\_strength](https://documentation.meraki.com/MR/WiFi_Basics_and_Best_Practices/Wireless_fundamentals%3A_Signal-to-Noise_Ratio_(SNR)__and_wireless_signal_strength).

- [57] Wireless LAN Professionals, «802.11n-and-802.11ac-MCS-SNR-and-RSSI,» [En línea]. Available: <https://www.wlanpros.com/resources/laminated-card-802-11nht-802-11acvht-mcs-snr-rssi/802-11n-and-802-11ac-mcs-snr-and-rssi/>.
- [58] A. von Nagy, «Wi-Fi SNR to MCS Data Rate Mapping Reference,» 27 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.revolutionwifi.net/revolutionwifi/2014/09/wi-fi-snr-to-mcs-data-rate-mapping.html>.
- [59] Cisco Systems, Inc., «Medición de demora, fluctuación y pérdida de paquetes con SAA y RTTMON del IOS de Cisco,» 25 Octubre 2005. [En línea]. Available: [https://www.cisco.com/c/es\\_mx/support/docs/availability/high-availability/24121-saa.html#measuredelayjitterpacketloss](https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/availability/high-availability/24121-saa.html#measuredelayjitterpacketloss).
- [60] Datapath.io, «What is acceptable jitter?,» 23 Junio 2016. [En línea]. Available: [https://medium.com/@datapath\\_io/what-is-acceptable-jitter-7e93c1e68f9b](https://medium.com/@datapath_io/what-is-acceptable-jitter-7e93c1e68f9b).
- [61] M. Rouse y B. Van Fossen, «Capex (capital expenditure),» Febrero 2015. [En línea]. Available: <https://whatis.techtarget.com/definition/CAPEX-capital-expenditure>.
- [62] D. Lorenzana, «¿En qué consiste el CAPEX y por qué es una magnitud tan importante para la pyme?,» 27 Julio 2016. [En línea]. Available: <https://www.pymesyautonomos.com/fiscalidad-y-contabilidad/en-que-consiste-el-capex-y-por-que-es-una-magnitud-tan-importante-para-la-pyme>.
- [63] E. Mass, «Somos un país más Opex que Capex,» 16 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.economiadehoy.es/noticia/27645/empresas/somos-un-pais-mas-opex-que-capex.html>.
- [64] M. Rouse y B. Van Fossen, «Opex (operational expenditure),» [En línea]. Available: <https://whatis.techtarget.com/definition/OPEX-operational-expenditure>.
- [65] S. L. Kota, «QUALITY OF SERVICE FOR BROADBAND SATELLITE INTERNET - ATM AND IP SERVICES,» 2002. [En línea]. Available: <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9514268865.pdf>. [Último acceso: 10 Octubre 2018].
- [66] O. Murillo, «VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA RED MICROONDAS,» 4 Noviembre 2013. [En línea]. Available: <http://redmicrotelematica.blogspot.com/2013/11/ventajas-y-desventajas-de-la-red.html>.

- [67] S. Juliá, «Ventajas de la fibra óptica sobre el cable de cobre,» [En línea]. Available: <http://www.gadae.com/blog/ventajas-de-la-fibra-optica-sobre-el-cable-de-cobre/>.
- [68] Fiber optical networking, «Functions of ONT and OLT in GPON Network,» 31 Enero 2017. [En línea]. Available: <http://www.fiber-optical-networking.com/functions-ont-olt-gpon-network.html>.
- [69] DSM&T Co. Inc., «IP Rating Chart,» <http://www.dsmt.com/resources/ip-rating-chart/>. [En línea]. Available: 2018.

# ANEXOS

## ANEXO A: Hoja de especificaciones ePMP Force 200.



Wireless service providers and enterprises Wireless service providers and enterprises around the globe are challenged to deliver reliable connectivity in overcrowded RF environment. As spectrum increasingly becomes a scarce commodity, finding the right broadband connectivity solution is vital for all low and high density types of deployments.

Cambium Networks resolves this challenge with a breakthrough technology solution that delivers superior performance, resiliency and reach in the most congested environments. The ePMP Force 200 high gain integrated solution enhances range and improves throughput in high interference environments. ePMP Force 200 is a completely redesigned solution from Cambium Networks that combines a highly integrated, high performance radio with a high gain dish antenna. The radio supports a gigabit Ethernet interface in order to provide maximum throughput. Operating in the 2.4 and 5 GHz frequency spectrum, the solution brings wireless broadband connectivity to customers over longer distances and provides a superior return on investment.

### FEATURES:

- Cambium Networks' ePMP Force 200 is designed to operate in high interference environments and provides superior throughput of over 200 Mbps of real user data.
- Configurable Modes of operation ensure robust adaptivity to both symmetrical and asymmetrical traffic while providing high performance and round-trip latency as low as 2 - 3 ms.
- QoS management offers an outstanding quality for triple play services - VoIP, video and data and provides three levels of traffic priority.
- Long deployment range is enabled by a high gain antenna combined with 30 dBm of transmit power.
- This platform can be configured as a Subscriber Module or a high gain PTP radio.

### SPECIFICATIONS

PRODUCT	
Part Numbers	See below for complete list of part numbers and model numbers
SPECTRUM	
Channel Spacing	Configurable on 5 MHz increments
Frequency Range	2.4 GHz Model: 2402 - 2472 MHz 5 GHz Model: 4910 - 5970 MHz
Channel Width	5   10   20   40 MHz

## SPECIFICATIONS

**INTERFACE**

MAC (Media Access Control) Layer	Cambium Proprietary
Proprietary Physical Layer	2x2 MIMO/OFDM
Ethernet Interfaced	10/100/1000 BaseT, Compatible with Cambium PoE & Standard PoE pinouts
Protocols Used	IPv4/IPv6 (Dual Stack), UDP, TCP, ICMP, SNMPv2c, NTP, STP, IGMP, SSH
Network Management	IPv4/IPv6, HTTPS, SNMPv2c, SSH, Cambium Networks CnMaestro™
VLAN	802.1Q with 802.1p priority

**PERFORMANCE**

ARQ	Yes
Nominal Receive Sensitivity (w/FEC) @20 MHz Channel	MCS0 = -92 dBm to MCS15 = -68 dBm (per branch)
Nominal Receive Sensitivity (w/FEC) @40 MHz Channel	MCS0 = -89 dBm to MCS15 = -65 dBm (per branch)
Modulation Levels (Adaptive)	MCS0 (BPSK) to MCS15 (64QAM 5/6)
Quality of Service	Three level priority (Voice, High, Low) with packet classification by DSCP, COS, VLAN ID, IP & MAC Address, Broadcast, Multicast and Station Priority
Transmit Power Range	-15 to +30 dBm (combined, to regional EIRP limit) (1 dB interval)

**PHYSICAL**

Surge Suppression	1 Joule Integrated
Environmental	IP55
Temperature	-30°C to +60°C (-22°F to +140°F) – with radome attached maximum temperature is +47°C (+116°F)
Weight	2.4 GHz Model: 2.8 kg (6.2 lbs) 5 GHz Model: 2.3 kg (5.1 lbs)
Wind Survival	145 km/hour (90 mi/hour)
Dimensions (Dia x Depth)	47 cm x 28 cm (18.5 in x 11.2 in)
Pole Diameter Range	6.4 cm - 7.6 cm (2.5 in - 3 in)
Power Consumption	10 W Maximum, 5 W Typical
Input Voltage	10 to 30 V

**SECURITY**

Encryption	128-bit AES (CCMP mode)
------------	-------------------------

**CERTIFICATIONS**

FCCID	2.4 GHz: Z8H89FT0019 / 5 GHz: Z8H89FT0015
Industry Canada Cert	2.4 GHz: 109W-0019 / 5 GHz: 109W-0015
CE	5.4 GHz EN 301 893 V2.1.1 5.8 GHz EN 302 502 V2.1.1

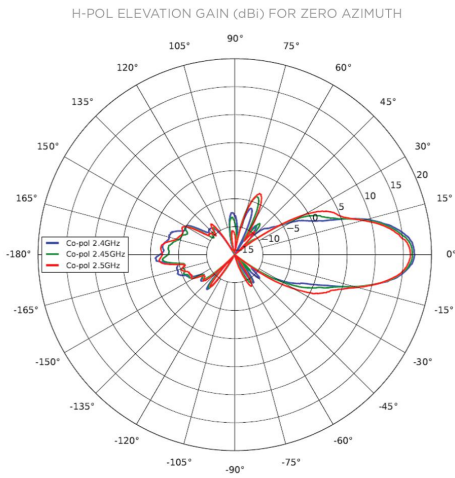
<b>PART NUMBER (for ordering)</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>MODEL NUMBER (for regulatory)</b>
C058900C062A	ePMP 5 GHz Force 200AR5-25 High Gain Radio (FCC) (US cord)	C058900P062A
C050900C061A	ePMP 5 GHz Force 200AR5-25 High Gain Radio (ROW) (no cord)	C050900P061A
C050900C063A	ePMP 5 GHz Force 200AR5-25 High Gain Radio (EU) (EU cord)	C050900P061A
C050900C161A	ePMP 5 GHz Force 200AR5-25 High Gain Radio (ROW) (US cord)	C050900P061A
C050900C261A	ePMP 5 GHz Force 200AR5-25 High Gain Radio (ROW) (EU cord)	C050900P061A
C024900C161A	ePMP 2.4 GHz Force 200AR2-25 High Gain Radio (US cord)	C024900P161A
C024900C261A	ePMP 2.4 GHz Force 200AR2-25 High Gain Radio (EU cord)	C024900P161A
N000900L021A	ePMP Force 200 Radome	na

## SPECIFICATIONS

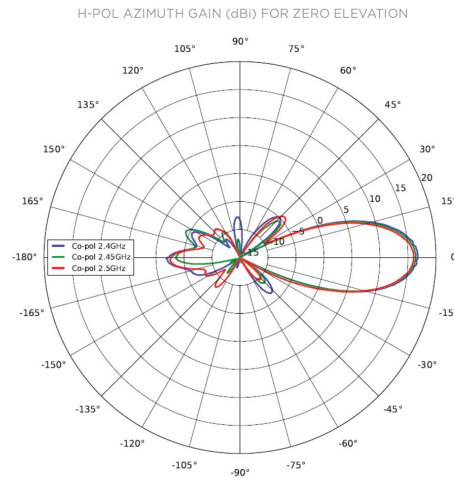
ANTENNA SPECIFICATIONS	2.4 GHz SPECIFICATION
Frequency Range	2402 – 2472 MHz
Antenna Type	Dish
Peak Gain	17 dBi
3dB Beamwidth-Azimuth	17°
3dB Beamwidth-Elevation	17°
Front-To-Back Isolation	>20 dB
Cross Polarization	>15 dB

## ANTENNA PATTERNS

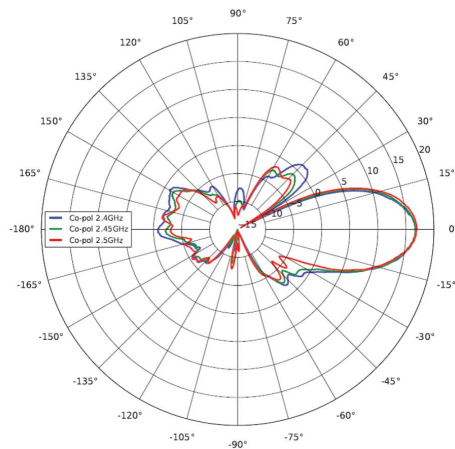
**2.4 GHz ePMP Force 200  
Azimuth Patterns**



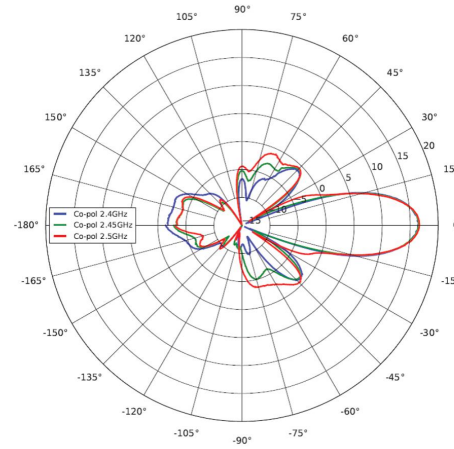
**2.4 GHz ePMP Force 200  
Elevation Patterns**



V-POL ELEVATION GAIN (dBi) FOR ZERO AZIMUTH



V-POL AZIMUTH GAIN (dBi) FOR ZERO ELEVATION

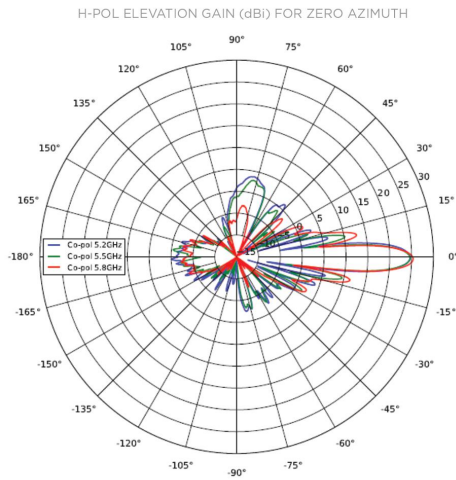


## SPECIFICATIONS

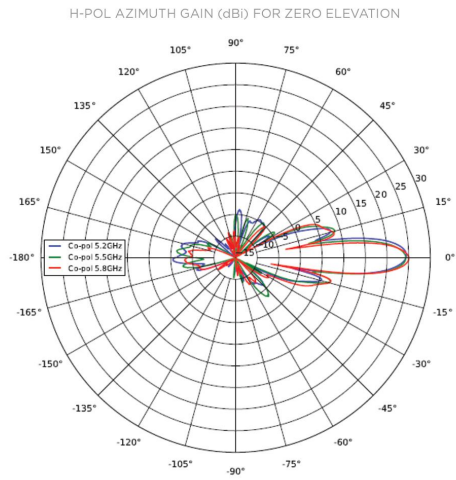
ANTENNA SPECIFICATIONS	5 GHz SPECIFICATION
Frequency Range	5150 - 5970 MHz
Antenna Type	Dish
Peak Gain	25 dBi
3dB Beamwidth-Azimuth	7°
3dB Beamwidth-Elevation	7°
Front-To-Back Isolation	>25 dB
Cross Polarization	>15 dB

## ANTENNA PATTERNS

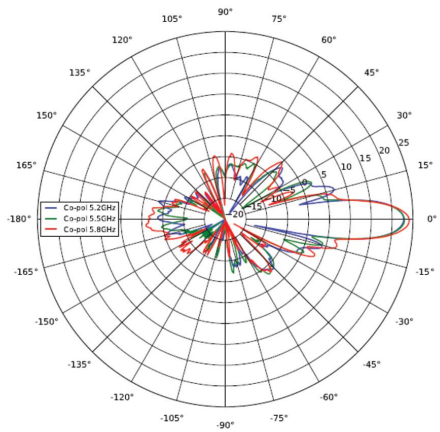
**ePMP Force 200  
Azimuth Patterns**



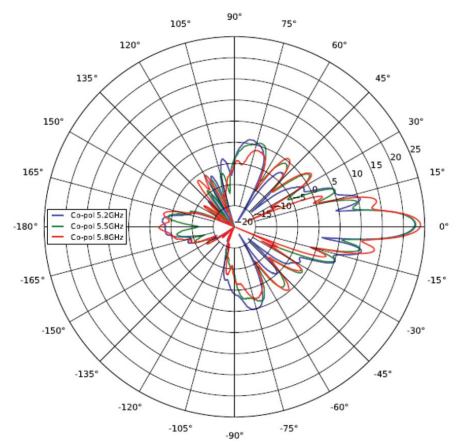
**ePMP Force 200  
Elevation Patterns**



V-POL ELEVATION GAIN (dBi) FOR ZERO AZIMUTH



V-POL AZIMUTH GAIN (dBi) FOR ZERO ELEVATION



© 2018 Cambium Networks Ltd. All rights reserved.

SS ePMP™ Force 200 for 2.4 GHz and 5 GHz 06222018



## ANEXO B: Hoja de especificaciones ePMP Force 180.



ePMP™ Force 180 SPECIFICATION SHEET

# ePMP™ Force 180 Integrated Radio



The ePMP Force 180 is the second generation of ePMP Integrated Radio Modules. It has the exceptional reliability and quality that users have come to expect from the ePMP product line and adds some significant performance enhancements.

This radio comes in a small, sleek form factor but delivers high performance. The antenna gain is increased by 3 dB to 16 dBi which will provide a 40% increase in range. It comes equipped with a Gigabit Ethernet port so that nothing will limit this product in delivering the maximum throughput. The radio module is powered by PoE and the Ethernet port has the unique capability of being powered from a PoE injector that conforms to standard pinouts or from a PoE injector that conforms to Cambium pinouts. This makes it possible to upgrade existing radio locations to the Force 180 without changing the PoE injector. It also includes an adjustable mounting bracket that eases the task of installing and properly aligning the radio.

All the unique advantages of ePMP software such as eFortify™ and eCommand™ are available with the Force 180. eFortify enhances the performance of the ePMP 1000 in high noise environments. eCommand provides a suite of management features and tools to assist network operators in planning, provisioning and monitoring of their network. The ePMP Force 180 Integrated Radio is a compact and powerful platform that can operate as an Access Point, Subscriber Module or PTP radio.

### MAIN DIFFERENTIATORS

**GROWTH AND SCALABILITY** The ePMP 1000 delivers high capacity and reliable connectivity right from the start. As a provider's business grows, it can expand its network while ensuring resiliency and increasing profitability.

**QUALITY OF SERVICE (QOS)** allows you to confidently offer triple play services – VoIP (Voice over IP), video and data. Providing your customers with excellent service quality ensures their continued loyalty and transforms them into advocates, helping WISPs and enterprises expand their business.

**PROVEN RELIABILITY** has created an unsurpassed connectivity standard in many industries that depend on fixed wireless broadband. Our products undergo rigorous testing and are made from high-quality components.

### POWERFUL FEATURES

The Cambium Networks ePMP Force 180 delivers more than 200 Mbps of real user throughput. Using 2x2 MIMO- OFDM technologies, ePMP deployments achieve industry leading data rates.

The ePMP Force 180 Integrated Radio can be configured as a Subscriber Module, an unsynchronized Access Point or a Backhaul radio. This radio will function as a client to an ePMP GPS Synchronized Radio in either a Point-to- Multipoint (PMP) or Point-to-Point (PTP) deployment forming a GPS Synchronized solution.



## SPECIFICATIONS

<b>PRODUCT</b>	
Model Number	C058900P072A (US/FCC), C050900P071A (EU/ROW), (See below for a complete list of part numbers for ordering)
<b>SPECTRUM</b>	
Channel Spacing	Configurable on 5 MHz increments
Frequency range	5 GHz: 4910 – 5970 MHz (exact frequencies as allowed by local regulations)
Channel Width	5   10   20   40 MHz
<b>INTERFACE</b>	
MAC (Media Access Control) Layer	Cambium Proprietary
Physical Layer	2x2 MIMO/OFDM
Ethernet Interface	10/100/1000BaseT, Compatible with Cambium PoE pinouts (V+ = 7 & 8, Return = 4 & 5) and Standard PoE pinouts (V+ = 4 & 5, Return = 7 & 8)
Protocols Used	IPv4/IPv6 (Dual Stack), UDP, TCP, ICMP, SNMPv2c, NTP, STP, IGMP, SSH
Network Management	IPv4/IPv6, HTTPs, SNMPv2c, SSH, Cambium Networks CnMaestro™
VLAN	802.1Q with 802.1p priority
<b>PERFORMANCE</b>	
ARQ	Yes
Nominal Receive Sensitivity (w/FEC) @ 200MHz Channel	MCS0 = -93 dBm to MCS15 = -72 dBm (per branch)
Nominal Receive Sensitivity (w/FEC) @ 40MHz Channel	MCS0 = -90 dBm to MCS15 = -69 dBm (per branch)
Modulation Levels (Adaptive)	MCS0 (BPSK) to MCS15 (64QAM 5/6)
Quality of Service	Three level priority (Voice, High, Low) with packet classification by DSCP, COS, VLAN ID, IP & MAC Address, Broadcast, Multicast and Station Priority
<b>LINK BUDGET</b>	
Transmit Power Range	-17 to +30 dBm (combined, to regional EIRP limit) (1 dB interval)
Integrated Antenna Peak Gain	16 dBi
Maximum Transmit Power	30 dBm combined (subject to regional regulatory restrictions)
<b>PHYSICAL</b>	
Antenna Connection	Integrated Antenna
Surge Suppression	2 Joule Integrated
Environmental	IP55
Temperature	-30°C to +60°C (-22°F to +140°F)
Weight	0.50 kg (1.1 lb.) (includes mounting bracket)
Wind Survival	145 km/hour (90 mi/hour) with antenna
Dimensions (h x w x d)	12.4 x 25.1 x 11.9 cm (4.9 x 9.9 x 4.7 in) – with mounting bracket attached
Pole Diameter Range	1 – 1.6 in (2.5 – 4.1 cm) with included clamp ; up to 2.25 in (5.7 cm) with larger clamp
Power Consumption	10 W Maximum, 5 W Typical
Input Voltage	10 to 30 V

## SPECIFICATIONS

**SECURITY**

Encryption	128-bit AES (CCMP mode)
------------	-------------------------

**CERTIFICATIONS**

FCCID	Z8H89FT0015
Industry Canada Cert	109W-0015
CE	5.4 GHz: EN 301 893 V2.1.1 5.8 GHz: EN 302 502 V2.1.1

**PARAMETER**

Frequency Range	4910 – 5970 MHz
Antenna Type	Integrated
Typical Gain	16 dBi
3db Beamwidth-Azimuth	15°
3db Beamwidth-Elevation	30°
Polarization(s)	Dual Linear, H/ V
Front-to-Back Isolation	>20 dB
Cross Polarization	15 dB

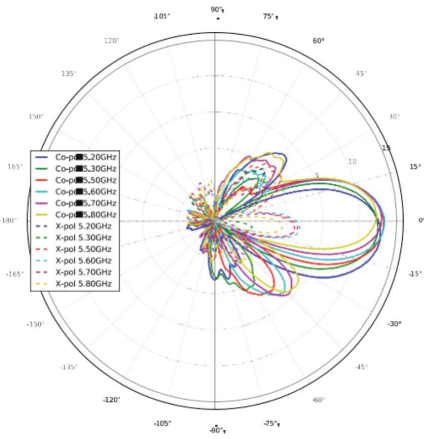
## EPMP 5 GHZ FORCE 180 PART NUMBERS:

<b>ORDERING PART NUMBER</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>MODEL NUMBER FOR REGULATORY PURPOSES</b>
C050900C071A	ePMP 5GHz Force 180 Integrated Radio (ROW) (no cord)	C050900P071A
C050900C171A	ePMP 5GHz Force 180 Integrated Radio (ROW) (US cord)	C050900P071A
C050900C271A	ePMP 5GHz Force 180 Integrated Radio (ROW) (EU cord)	C050900P071A
C050900C471A	ePMP 5GHz Force 180 Integrated Radio (ROW) (India cord)	C050900P071A
C050900C571A	ePMP 5GHz Force 180 Integrated Radio (ROW) (China/ANZ cord)	C050900P071A
C050900C671A	ePMP 5GHz Force 180 Integrated Radio (ROW) (Brazil cord)	C050900P071A
C050900C073A	ePMP 5GHz Force 180 Integrated Radio (EU) (EU cord)	C050900P071A
C058900C072A	ePMP 5GHz Force 180 Integrated Radio (FCC) (US cord)	C058900P072A

SPECIFICATIONS

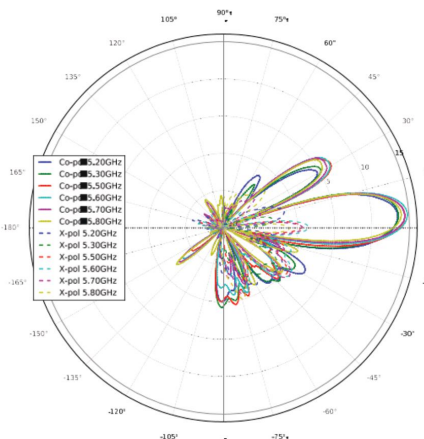
5 GHz ePMP Force 180  
Integrated Antenna Azimuth Patterns

H-POL ELEVATION GAIN (dBi) FOR ZERO AZIMUTH

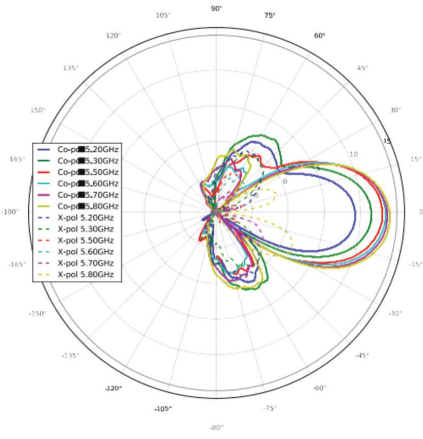


5 GHz ePMP Force 180  
Integrated Antenna Elevation Patterns

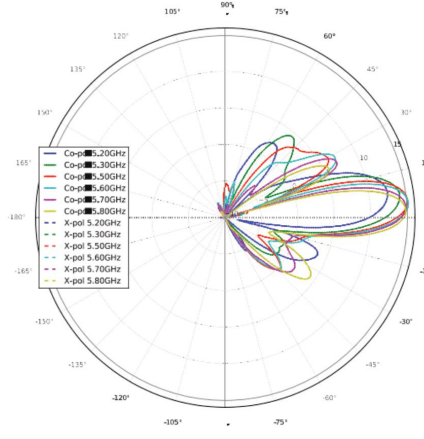
H-POL AZIMUTH GAIN (dBi) FOR ZERO ELEVATION



V-POL ELEVATION GAIN (dBi) FOR ZERO AZIMUTH



V-POL AZIMUTH GAIN (dBi) FOR ZERO ELEVATION



## ANEXO C: Hojas de especificaciones de equipos de red de fibra óptica



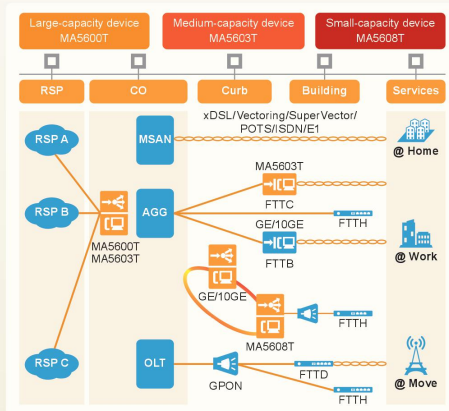
# SmartAX MA5600T, MA5603T, and MA5608T

## First Global All-in-One Access Platform

- The MA5600T, MA5603T, and MA5608T make up a series of integrated fiber-copper access devices. They support ADSL2+, VDSL2, vectoring, SuperVector, POTS, GPON, and P2P access modes and provide Internet access, voice, and video services to users.
- The MA5600T, MA5603T, and MA5608T help to simplify network architecture, improve network reliability, and lower TCO essentially.
- The MA5600T, MA5603T, and MA5608T meet requirements in different scenarios by supporting capacities for large, medium, and small products.

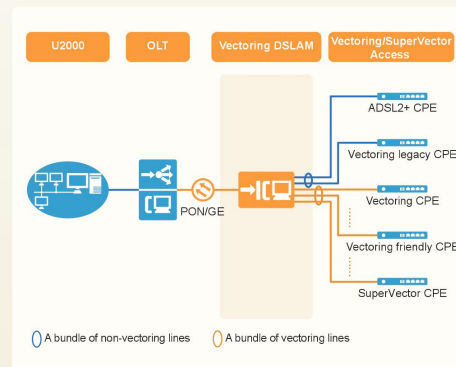
### All in One

The MA5600T, MA5603T, and MA5608T are equipped with an integrated fiber-copper access platform, and integrated access and aggregation capability that effectively ensure the smooth evolution of the access network.



### High-Bandwidth Copper Access

New technologies, such as VDSL2, vectoring, and SuperVector, revive existing copper lines by increasing their bandwidth. Based on VDSL2 vectoring, SuperVector accelerates the copper line rate to 300 Mbit/s. This helps copper lines meet users' requirements for high bandwidth.







### Reliability

- Type B and type C protection in a GPON network.
- BFD, LAG, MSTP, RRPP, and Smart Link for upstream redundancy.
- Redundant backup of the control board, power board, and upstream board.

### Green

- Equipped with unique GPON chipsets, the maximum power consumption of the 16-port GPON board is only 50 W, 30% less than the industry grade.
- The unique energy-saving bus allows vacant service boards and idle service ports to be powered off.

## Product Specifications

Product				
Specification	MA5600T (ETSI) 10 U (height), 21 inch (width)	MA5600T (IEC) 10 U (height), 19 inch (width)	MA5603T 6 U (height), 19 inch (width)	MA5608T 2 U (height), 19 inch (width)
Control board switching capacity	· SCUN/SCUK: 480 Gbit/s (active/standby mode)/960 Gbit/s (load-sharing mode) · SCUH: 960 Gbit/s (active/standby mode)/1920 Gbit/s (load-sharing mode)			128 Gbit/s (active/standby mode) 256 Gbit/s (load-sharing mode)
Power supply mode	DC power supply (dual for backup)			DC power supply (dual for backup) AC power supply + battery for backup
Rated voltage	-48 V/-60 V			DC power supply: -48 V/-60 V AC power supply: 110 V/220 V
Ambient temperature	-40°C to +65°C* (normal operation) Minimum startup temperature: -25°C			*+65°C indicates the temperature of the air intake vent of the service subrack.
GPON ports	16*16 = 256	16*14 = 224	16*6 = 96	16*2 = 32
ADSL2+ ports	16*16 = 256	16*14 = 224	16*6 = 96	N/A
VDSL2 ports	8*16 = 128	8*14 = 112	8*6 = 48	N/A
Vectoring ports	64*12 = 768	64*12 = 768	64*6 = 384	N/A
SuperVector ports	N/A	N/A	64*6 = 384	N/A
POTS	64*16 = 1024	64*14 = 896	64*6 = 384	N/A
GE/FE ports	48*16 = 768	48*14 = 672	48*6 = 288	48*2 = 96
GE/10GE upstream ports (control board for upstream transmission)	· SCUN/SCUK: 8*GE (load-sharing mode) · SCUH: 8*10GE/GE (load-sharing mode)			· MCUD: 8*GE (load-sharing mode) · MCUD1: 4*GE+2*10GE/GE (load-sharing mode)
GE upstream ports (upstream board for upstream transmission)	2*2 = 4	2*2 = 4	2*2 = 4	N/A
10GE upstream ports (upstream board for upstream transmission)	2*2 = 4	2*2 = 4	2*2 = 4	N/A

## Why Huawei

Huawei's MA5600T, MA5603T, and MA5608T provide a stable and reliable ultra-broadband service experience for home and enterprise users. They carry all services over one fiber network, avoiding repeated network construction, simplifying networks, and making O&M easier. A leader in the access field, Huawei ranked first in market share for several consecutive years. 82% of global top 50 carriers choose Huawei's access solutions. Huawei is dedicated to building one efficient, simple, and ultra-broadband access network, improving customers' service experience.

## More

### MA5600T, MA5603T, and MA5608T:

<http://e.huawei.com/en/products/fixed-network/access/olt/ma5600t>

### Access products:

<http://e.huawei.com/en/products/fixed-network/access>

### Huawei products:

<http://support.huawei.com/enterprise>



MA5600T, MA5603T, and MA5608T



Access Products



Huawei Enterprise Support

Copyright © Huawei Technologies Co.,Ltd. 2018. All rights reserved.

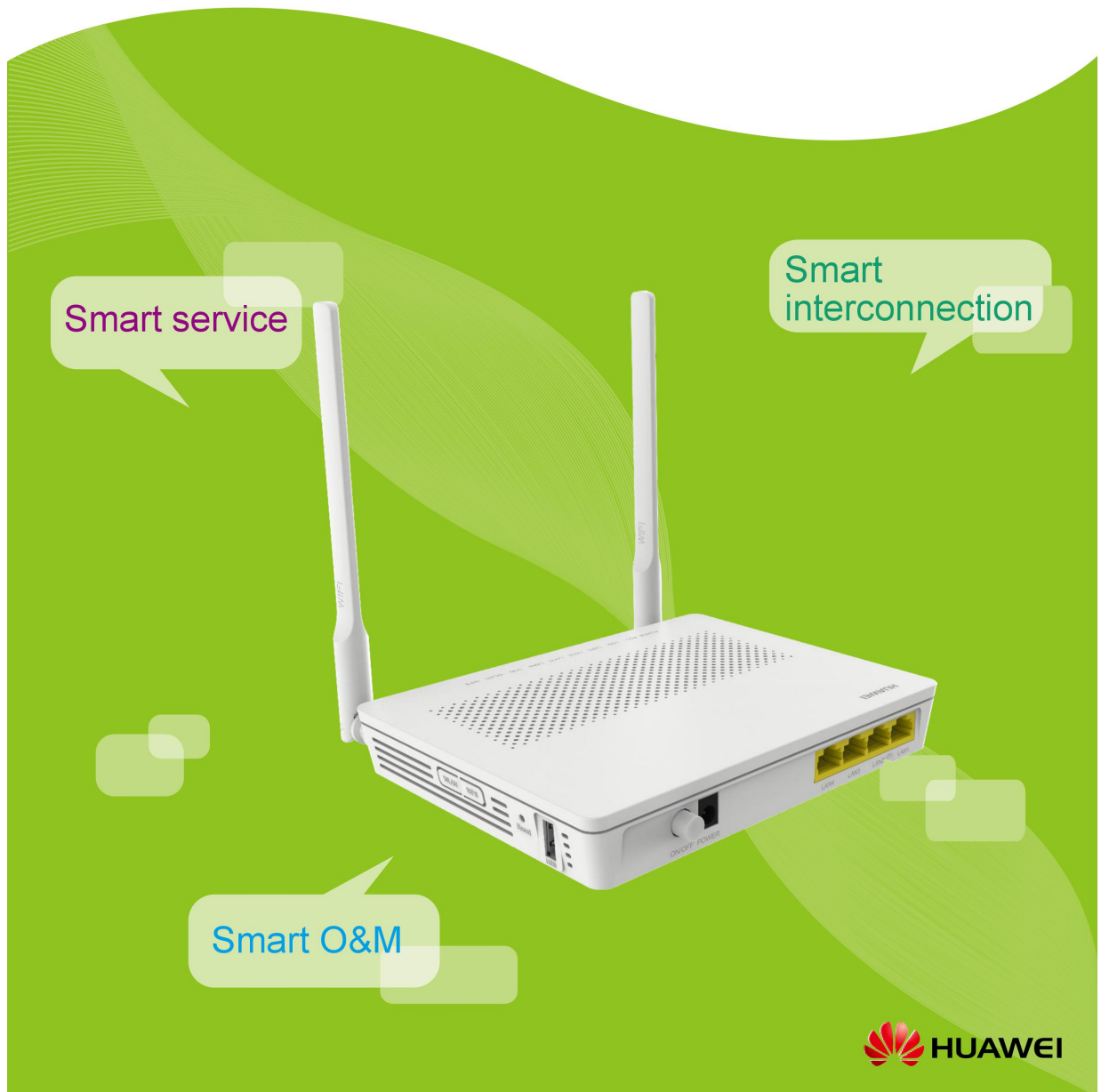
### General disclaimer

The information in this document may contain predictive statements including, without limitation, statements regarding the future financial and operating results, future product portfolio, new technology, etc. there are a number of factors that could cause actual results and developments to differ materially from those expressed or implied in the predictive statements. Therefore, such information is provided for reference purpose only and constitutes neither an offer nor an acceptance. Huawei may change the information at any time without notice.

<http://www.huawei.com>

# A Smarter Way for Your Broadband Life

Huawei HG8045H, an intelligent routing-type ONT





## ○ Device Parameters

Dimensions (L x W x H)	176 mm x 138.5 mm x 28 mm (without an external antenna)	System power supply	11–14 V DC, 2 A
Weight	About 260 g	Static power consumption	6.5 W
Operating temperature	0° C to +40° C	Maximum power consumption	10.5 W
Operating humidity	5% RH to 95% RH (non-condensing)	Ports	4GE + Wi-Fi + USB
Power adapter input	100–240 V AC, 50/60 Hz	Indicators	POWER/PON/LOS/LAN /USB/WLAN/WPS

## ○ Interface Parameters

GPON Port	Ethernet Port	WLAN	USB Port
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Class B+</li> <li>• Receiver sensitivity: -27dBm</li> <li>• Wavelengths: US 1310nm, DS 1490nm</li> <li>• Wavelength blocking filter (WBF)</li> <li>• Flexible mapping between GEM Port and TCONT</li> <li>• GPON: consistent with the SN or password authentication defined in G.984.3</li> <li>• Bi-directional FEC</li> <li>• SR-DBA and NSR-DBA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ethernet port-based VLAN tags and tag removal</li> <li>• 1:1 VLAN, N:1 VLAN, or VLAN transparent transmission</li> <li>• QinQ VLAN</li> <li>• Limit on the number of learned MAC addresses</li> <li>• MAC address learning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IEEE 802.11b/g/n</li> <li>• 2 x 2 MIMO</li> <li>• Antenna gain: 5 dBi</li> <li>• WMM</li> <li>• Multiple SSIDs</li> <li>• WPS</li> <li>• Air interface rate: 300 Mbps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• USB2.0</li> <li>• FTP-based network storage</li> </ul>

## ○ Product Function

<b>Smart interconnection</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Smart Wi-Fi coverage (V300R015C10)</li> <li>• Any port any service</li> <li>• Parental control (V300R015C00)</li> <li>• L2/L3(IPv4) forwarding: 1G uplink, 2G</li> </ul>	<b>QoS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ethernet port rate limitation</li> <li>• 802.1p priority</li> <li>• SP/WRR/SP+WRR</li> <li>• Broadcast packet rate limitation</li> </ul>
<b>Smart O&amp;M</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IPTV video quality diagnosis (V300R015C10)</li> <li>• Variable-length OMCI messages</li> <li>• Active/Passive rogue ONT detection and isolation</li> <li>• PPPoE/DHCP simulation testing</li> <li>• WLAN emulation</li> </ul>	<b>Security</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SPI firewall</li> <li>• Anti-DoS attack</li> <li>• Filtering based on MAC/IP/URL addresses</li> </ul>
<b>Smart service</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Smart Wi-Fi sharing: 802.1x authentication (V300R015C10)/</li> <li>• Portal SoftGRE-based sharing (V300R015C10)</li> </ul>	<b>Layer 3 Features</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PPPoE/Static IP/DHCP</li> <li>• NAT/NAPT</li> <li>• Port forwarding</li> <li>• ALG, UPnP</li> <li>• DDNS/DNS server/DNS client</li> <li>• IPv6/IPv4 dual stack, and DS-Lite</li> <li>• Static/Default routes</li> <li>• Multiple services on one WAN port</li> </ul>
<b>Power Saving</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicator power saving</li> <li>• Scheduled Wi-Fi shutdown(V300R015C00)</li> <li>• COCv4</li> </ul>	<b>Multicast</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IGMP v2/v3 snooping</li> <li>• IGMP v2/v3 proxy(V300R015C00)</li> <li>• MLD v1/v2 snooping</li> <li>• Multicast services through Wi-Fi</li> </ul>
		<b>Common O&amp;M</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OMCI/Web UI/TR069</li> <li>• Dual-system software backup and rollback</li> </ul>

