



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO ECONÓMICO Y
REGULATORIO DE UNA RED QUE PROVEA LA COBERTURA
DE SERVICIOS DE TELEFONÍA EN EL RECINTO BAJADA DE
CHANDUY DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

VERÓNICA JACQUELINE OJEDA CARRERA
ADRIÁN JAVIER VINUEZA PALACIOS

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento a Dios, a la Virgen María, y a nuestros familiares que siempre estuvieron apoyándonos en las vicisitudes y el transcurso de nuestra carrera para el logro de esta gran meta.

Agradecemos también a nuestra compañera Katherine Suárez por su loable voluntad de ayudarnos a encontrar la localidad del sector de estudio, sobre el cual se funda este proyecto.

Por el apoyo incondicional del Lcdo. Roberto Paz Arévalo y su madre, la Sra. Jenny Paz Arévalo en los procesos de logística necesarios en la realización de las mediciones técnicas experimentales del estudio de campo del sector.

Al Ing. Daniel Dik Rodríguez por la consejería y recomendaciones brindadas a lo largo del desarrollo de nuestro trabajo.

Verónica Jacqueline Ojeda Carrera

Adrián Javier Vinuesa Palacios

DEDICATORIA

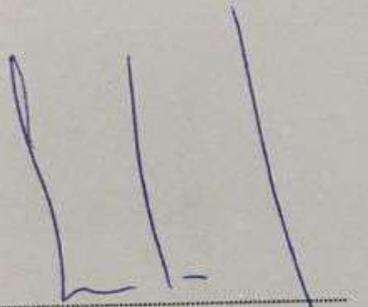
Dedico el presente proyecto a Dios, por ser la luz de mi vida, a mis padres por todo el apoyo incondicional y la confianza que me han brindado siempre, a mi abuelita por sus oraciones y consejos, que a pesar de que no esté aquí conmigo forma parte de mí en mis recuerdos y en mi corazón, a mi enamorado Roberto por ser un soporte, por su cariño y sus ánimos en todo momento, a mi compañero de tesis Adrián y al MSc. César Yépez Flores por la paciencia y todo lo compartido a lo largo de este tiempo.

Verónica Jacqueline Ojeda Carrera

Dedico el presente proyecto principalmente a Dios y la Santísima Virgen María quienes han sido mi pilar fundamental para mantenerme fiel y constante en mis principios académicos de excelencia y sacrificio. A mis padres por su ávido apoyo en la culminación de esta gran etapa, que ha sido un sueño compartido y es ahora una realidad palpable, copiosa de orgullo y alegría. Al Msc. César Yépez Flores por su experiencia y conocimientos impartidos, y a cada una de las personas que he tenido el placer de conocer y han formado parte de mi vida personal y universitaria.

Adrián Javier Vinuesa Palacios

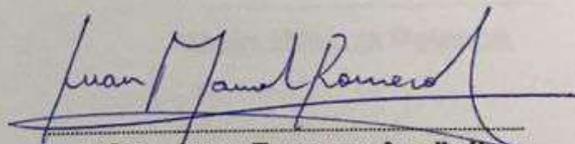
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Handwritten signature in blue ink, consisting of three vertical strokes and a horizontal base.

MSc., César Yépez Flores

PROFESOR EVALUADOR



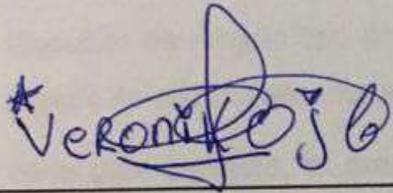
Handwritten signature in blue ink, featuring a stylized 'J' and 'R'.

MSc., Juan Romero Argüello

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y 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"



Verónica Ojeda Carrera



Adrián Vinueza Palacios

RESUMEN

En un mundo cada vez más globalizado, los medios de comunicación se han vuelto esenciales para el crecimiento y sostenibilidad social. Específicamente, la telefonía fija y la Internet son las que mayormente han favorecido el progreso económico, social y cultural, gracias a las facilidades que prestan para la comunicación instantánea de manera remota.

Sin embargo, existen segmentos sociales como las comunidades rurales y suburbanas, las cuales aún se mantienen marginadas de las grandes sociedades, sin disponer de ningún tipo de conectividad con el resto del mundo. Dicha circunstancia repercute negativamente su desarrollo comercial y socio-cultural.

Bajo este aspecto, el presente proyecto propone el diseño de una red de acceso inalámbrico de banda ancha para la provisión de servicios de telefonía fija (STF/TF) e incluso internet fijo (SIF/IF) básico en la comuna Bajada de Chanduy de la Provincia del Guayas, ya que representa un excelente modelo referencial para el despliegue de servicios de Telecomunicaciones de buena calidad en este tipo de sectores.

Finalmente, propone una proyección financiera del despliegue de red que resulte viable y rentable para el prestador de servicios. Con el fin último no de generar abundante lucro, sino de dar confianza y aumentar el interés de los proveedores a través de un incentivo fiscal por la declaración de nuevos servicios prestados en sectores rurales y urbano-marginales.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
CAPÍTULO 1.....	1
1. MARGINACIÓN TECNOLÓGICA EN SECTORES RURALES Y SUBURBANOS DE ECUADOR.....	1
1.1 Descripción del Problema	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivo General	7
1.4 Objetivos Específicos	7
1.5 Metodología	7
1.6 Resultados Esperados	8
1.7 Elementos Diferenciadores	8
1.8 Alcance del Proyecto.....	8
CAPÍTULO 2.....	11
2. PRINCIPIOS DE TELEFONÍA E INTERNET	11
2.1 Tecnologías de Telefonía fija e Internet	11
2.1.1 Introducción.....	11
2.1.2 Tecnologías de acceso para Telefonía fija e Internet.....	12
2.2 Voz sobre IP.....	14
2.2.1 Definición	14

2.2.2	Ventajas de la Telefonía IP en sectores rurales del Ecuador	14
2.2.3	Protocolos VoIP.....	15
2.2.4	Códecs de Audio	21
2.2.5	Tráfico de Llamadas.....	25
2.3	Redes de Transporte y Redes de Acceso Inalámbrico	28
2.3.1	Tecnología BFWA.....	29
2.3.2	Estándar IEEE 802.11n.....	31
2.4	Propagación en el Medio.....	33
2.4.1	Modelos de Propagación.....	33
2.5	Marco Regulatorio	39
CAPÍTULO 3.....		41
3.	ESTUDIO DE CAMPO Y DISEÑO DE LA RED DE ACCESO.....	41
3.1	Definición del Sector de Análisis	41
3.1.1	Descripción Geográfica y Demográfica	41
3.1.2	Conectividad en el Recinto Bajada de Chanduy	42
3.1.3	Encuesta Demográfica	42
3.2	Disponibilidad Espectral de Bandas BFWA del Recinto Bajada de Chanduy.....	43
3.2.1	Primer Punto de Medición Espectral	47
3.2.2	Segundo Punto de Medición Espectral	50
3.2.3	Tercer Punto de Medición Espectral	53
3.2.4	Pruebas de Recepción.....	56
3.2.5	Análisis de la Banda ISM 2.4 GHz	59
3.3	Diseño de la Solución.....	61
3.3.1	Criterios de Diseño.....	61
3.3.2	Herramientas de Diseño.....	62
3.3.3	Identificación del Medio de Propagación	62
3.3.4	Selección de Población Estratégica	63
3.3.5	Ubicación del Punto de Acceso.....	65
3.3.6	Determinación de Tecnología VoIP.....	67

3.3.7 Dimensionamiento de la Capacidad de la Red.....	67
3.3.8 Selección de Equipos de Comunicación	72
3.3.9 Esquema de Nodo Central	75
3.3.10 Diseño del Nodo de Acceso Local.....	77
3.3.11 Diseño de la Red del Suscriptor	79
3.3.12 Presupuesto de Enlace	81
CAPÍTULO 4.....	93
4. ANÁLISIS ECONÓMICO Y PROYECCIÓN FINANCIERA.....	93
4.1 Condiciones y Oportunidades de Mercado	93
4.1.1 Planes y Tarifas básicas de Telefonía fija e Internet fijo	93
4.2 Inversión Inicial.....	94
4.2.1 Costos de Inversión.....	95
4.2.2 Incentivo Tributario.....	97
4.3 Proyección Financiera.....	98
4.3.1 Ingresos	98
4.3.2 Egresos	99
4.3.3 Flujo de Caja	99
4.4 Rentabilidad y Viabilidad Económica del Proyecto.....	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA.....	103
ANEXOS.....	106
LEY ORGÁNICA DE LAS TELECOMUNICACIONES.....	106
Artículo 88.- Promoción de la Sociedad de la Información y del Conocimiento.....	106
Artículo 92.- Contribución.....	107
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE COMUNICACIÓN.....	108
ABREVIATURAS.....	114
GLOSARIO.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Cobertura STF en Parroquias Rurales de la Provincia del Guayas [3].....	4
Figura 1.2: Hogares con Acceso a Internet en Ecuador [4].	6
Figura 1.3: Mapa Geográfico de Bajada de Chanduy y Comunas Rurales Vecinas.....	9
Figura 1.4: Distribución Poblacional de Bajada de Chanduy y Comunas Rurales Vecinas.....	10
Figura 2.1: Flujograma de Señalización de llamadas H.323/H.323.	16
Figura 2.2: Flujograma de Señalización de llamadas SIP/SIP.....	17
Figura 2.3: Flujograma de Señalización de llamadas PSTN/SIP.....	20
Figura 2.4: Atenuación Específica por lluvia en Función de la Frecuencia [28].	38
Figura 2.5: Método Gráfico de Interpolación Logarítmica para Cálculo de Atenuación por lluvia [28].....	39
Figura 3.1: Mapa Geográfico de la Comuna Bajada de Chanduy.....	41
Figura 3.2: Conectividad Disponible en Bajada de Chanduy.	43
Figura 3.3: Equipos CANOPY 5760SM y 5750AP.....	44
Figura 3.4: Espectro de una Señal BFWA de 20 MHz.	44
Figura 3.5: Trabajo de Campo y Mediciones Espectrales.....	45
Figura 3.6: Mapa de Coordenadas de Puntos de Mediciones Espectrales... ..	46
Figura 3.7: Análisis Espectral del Primer Punto a 0° de Azimut.....	47
Figura 3.8: Análisis Espectral del Primer Punto a 60° de Azimut.....	48
Figura 3.9: Análisis Espectral del Primer Punto a 120° de Azimut.....	48
Figura 3.10: Análisis Espectral del Primer Punto a 180° de Azimut.....	49
Figura 3.11: Análisis Espectral del Primer Punto a 240° de Azimut.....	49
Figura 3.12: Análisis Espectral del Primer Punto a 300° de Azimut.....	50
Figura 3.13: Análisis Espectral del Segundo Punto a 0° de Azimut.	50

Figura 3.14: Análisis Espectral del Segundo Punto a 60° de Azimut.	51
Figura 3.15: Análisis Espectral del Segundo Punto a 120° de Azimut.	51
Figura 3.16: Análisis Espectral del Segundo Punto a 180° de Azimut.	52
Figura 3.17: Análisis Espectral del Segundo Punto a 240° de Azimut.	52
Figura 3.18: Análisis Espectral del Segundo Punto a 300° de Azimut.	53
Figura 3.19: Análisis Espectral del Tercer punto a 0° de Azimut.	53
Figura 3.20: Análisis Espectral del Tercer Punto a 60° de Azimut.	54
Figura 3.21: Análisis Espectral del Tercer Punto a 120° de Azimut.	54
Figura 3.22: Análisis Espectral del Tercer Punto a 180° de Azimut.	55
Figura 3.23: Análisis Espectral del Tercer Punto a 240° de Azimut.	55
Figura 3.24: Análisis Espectral del Tercer Punto a 300° de Azimut.	56
Figura 3.25: Distribución de Puntos para Pruebas de Recepción.....	57
Figura 3.26: Alineamiento y Nivel de Recepción a 20 metros.....	58
Figura 3.27: Alineamiento y Nivel de Recepción a 30 metros.....	58
Figura 3.28: Alineamiento y Nivel de Recepción a 60 metros.....	59
Figura 3.29: Alineamiento y Nivel de Recepción a 100 metros.....	59
Figura 3.30: Canales WiFi 2.4GHz en el Primer Punto de Bajada de Chanduy.	60
Figura 3.31: Canales WiFi de 2.4 GHz en el Centro de Bajada de Chanduy.	60
Figura 3.32: Canales WiFi de 2.4 GHz al Final de Bajada de Chanduy.....	61
Figura 3.33: Zonas de Mayor Población en Bajada de Chanduy.....	64
Figura 3.34: Cobertura de Red Inalámbrica en Bajada de Chanduy.....	66
Figura 3.35: Esquema del Nodo Central del Proveedor de Servicios.	76
Figura 3.36: Diagrama del Nodo de Acceso Local.....	78
Figura 3.37: Diagrama de Red del Suscriptor.....	80
Figura 3.38: Diagrama Optimizado de la Red del Suscriptor.	81
Figura 3.39: Ubicación Geográfica y Cobertura de los Suscriptores de Análisis.	83
Figura 3.40: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor A. ..	84
Figura 3.41: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor B. ..	85

Figura 3.42: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor C...	85
Figura 3.43: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor D...	86
Figura 3.44: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor E...	86
Figura 3.45: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor F. ..	87
Figura 3.46: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor G...	87
Figura 3.47: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor H...	88
Figura 3.48: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor I. ...	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Registro de Abonados de Telefonía fija en el Litoral del Ecuador.....	2
Tabla 2: Registro de Abonados por Tipo de Acceso [2].	3
Tabla 3: Abonados por Provincia del Servicio de Acceso a Internet [2].	5
Tabla 4: Comparación de Protocolos H.323 y SIP [14].	18
Tabla 5: Especificaciones Técnicas de Códecs en VoIP [17].	22
Tabla 6: Comparación Técnica entre los Códecs G.711 y G.729 [18].	23
Tabla 7: Rendimiento de Ancho de Banda por Cantidad de Llamadas G.711.	24
Tabla 8: Rendimiento de Ancho de Banda por Cantidad de Llamadas G.729.	24
Tabla 9: Tráfico en Erlangs por GoS y Número de Circuitos.	27
Tabla 10: Especificaciones Técnicas de BFWA.	30
Tabla 11: Esquemas de Modulación y Codificación en IEEE 802.11n.....	32
Tabla 12: Coeficientes de Propagación del Modelo SUI [26].	37
Tabla 13: Coordenadas Geográficas de Puntos de Mediciones Espectrales.	47
Tabla 14: Coordenadas de los Puntos de Prueba de Recepción.....	57
Tabla 15: Distribución Poblacional de Bajada de Chanduy.	64
Tabla 16: Ubicación y Cobertura de Puntos de Acceso en Bajada de Chanduy.	66
Tabla 17: Circuitos y ancho de banda VoIP requeridos durante hora pico. ..	68
Tabla 18: Requerimientos de ancho de banda para planes de 3 Mbps.	69
Tabla 19: Requerimientos de ancho de banda para planes de 5 Mbps.	69
Tabla 20: Requerimientos de ancho de banda para planes de 10 Mbps.	70
Tabla 21: Esquemas de Modulación y Codificación en los Puntos de Acceso 1 y 2 de la Región 1 de Bajada de Chanduy.....	71

Tabla 22: Esquemas de Modulación y Codificación en el Punto de Acceso 3 de la Región 2 de Bajada de Chanduy.	71
Tabla 23: Esquemas de Modulación y Codificación en el Punto de Acceso 4 de la Región 3 de Bajada de Chanduy.	71
Tabla 24: Comparación de equipos BFWA Ubiquiti/MikroTik/Cambium.	73
Tabla 25: Equipos de Comunicación Requeridos.	74
Tabla 26: Puntos de Acceso Requeridos por Número de Suscriptores.	75
Tabla 27: Detalle Técnico de Equipos Utilizados en el Nodo Central.	76
Tabla 28: Detalle Técnico de Equipos Utilizados en el Nodo Acceso Local.	79
Tabla 29: Detalle Técnico de Equipos Utilizados en la Red del Suscriptor... ..	80
Tabla 30: Coordenadas y Ubicación de Suscriptores de Análisis.	82
Tabla 31: Asignación de Frecuencias de los Puntos de Acceso.	84
Tabla 32: Sensibilidad de los Módulos Suscriptores según MCS.	89
Tabla 33: Resultados Teóricos de Presupuesto de Enlace.	90
Tabla 34: Resultados Simulados de Presupuesto de Enlace.	90
Tabla 35: Error Porcentual de EIRP Teórica y Simulada.	91
Tabla 36: Error Porcentual de Pérdidas de Trayecto Teóricas y Simuladas.	91
Tabla 37: Error Porcentual de Margen de Enlace Teórico y Simulado.	92
Tabla 38: Planes y Tarifas de Servicios de Telefonía fija e Internet fijo.	94
Tabla 39: Costo de Inversión del Nodo Central de la Red de Acceso.	95
Tabla 40: Costo de Inversión del Nodo de Acceso Local.	95
Tabla 41: Costo de Inversión de la Red de Suscriptores.	96
Tabla 42: Costos Totales de Inversión.	96
Tabla 43: Costo de Inversión de la Red de Acceso por PSTN.	97
Tabla 44: Proyección Anual de Ingresos del Proyecto.	98
Tabla 45: Proyección Anual de Gastos del Proyecto.	99
Tabla 46: Proyección Financiera del Proyecto a 5 Años Operativos.	100
Tabla 47: Indicadores Financieros de Rentabilidad y Sostenibilidad.	100

CAPÍTULO 1

1. MARGINACIÓN TECNOLÓGICA EN SECTORES RURALES Y SUBURBANOS DE ECUADOR.

1.1 Descripción del Problema

En la actualidad existe un gran descuido en la provisión de servicios básicos de informática y telecomunicaciones en los sectores rurales de Ecuador, incluso en aquellos que poseen un mayor desarrollo comercial y socio-cultural. Esto se debe principalmente a su bajo número de habitantes que los excluye de ser considerados como clientes objetivos por los prestadores de servicios.

Este tipo de sectores poseen un escaso o nulo acceso a las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), lo que dificulta el eficiente desarrollo de sus actividades comerciales. Tal es el caso de la comuna Bajada de Chanduy, cuya actividad económica se fundamenta en el sector agropecuario.

Generalmente, los comerciantes de Bajada de Chanduy se ven obligados a invertir en medios de transporte sin la certeza de concretar la venta de sus productos. Esto representa sin lugar a dudas un verdadero problema, ya que no pueden agendar fechas de mercado para determinar la justa cantidad de mercadería.

1.2 Justificación

Ecuador es un país en vías de desarrollo que busca el crecimiento económico y socio-cultural. Una de las formas para conseguir este progreso es mediante la expansión de las TIC, promoviéndolas conforme al artículo 88 de la Ley Orgánica de las Telecomunicaciones, especialmente en zonas rurales y urbano-marginales en beneficio de los ciudadanos ecuatorianos [1].

Bajada de Chanduy, como uno de estos sectores, necesita optimizar su sistema de comunicación por medio de una red telefónica a fin de mejorar la oferta y promoción de sus productos. En efecto, esta se vuelve indispensable para

conciliar negocios a distancia de manera inmediata, agendar fechas de mercado e incrementar la competitividad económica.

No obstante, las necesidades de comunicación de este tipo de comunas no están ligadas únicamente al sector comercial, sino también al sector educativo en los métodos formativos a través de la informática, y al sector público en la capacidad de acceder a los servicios de instituciones y organismos nacionales de manera remota.

Para evidenciar esta escasez tecnológica, se presentan a continuación las cifras estadísticas del registro de abonados de telefonía fija reportados por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) el pasado Febrero de 2017 [2].

MES AÑO	ESMERALDAS	MANABÍ	GUAYAS	SANTA ELENA	LOS RÍOS	EL ORO	SANTO DOMINGO	TOTAL ABONADOS
2012	40,436	92,113	546,085	24,614	40,414	73,686	52,864	870,212
2013	41,328	99,663	565,602	25,880	42,249	76,535	56,664	907,921
2014	41,494	104,848	584,651	27,029	43,035	78,901	57,892	937,850
2015	43,940	111,075	606,622	29,089	46,679	82,472	59,558	979,435
ene-16	44,081	111,187	604,964	28,922	46,421	82,491	59,569	977,635
feb-16	42,936	109,047	591,828	27,251	44,875	79,996	58,208	954,141
mar-16	42,658	109,122	591,347	27,186	44,779	79,835	58,202	953,129
abr-16	42,517	109,048	591,247	27,193	44,781	79,791	57,921	952,498
may-16	42,409	108,741	592,501	27,354	45,189	79,926	57,408	953,528
jun-16	42,428	108,260	593,797	27,394	45,057	79,727	57,457	954,120
jul-16	42,609	108,276	594,200	27,563	45,361	79,836	57,599	955,444
ago-16	46,028	108,455	592,949	27,624	45,563	79,907	54,499	955,025
sep-16	45,997	108,197	590,484	27,586	45,306	79,861	54,223	951,654
oct-16	45,848	106,544	587,430	27,465	45,123	79,712	53,933	946,055
nov-16	45,450	105,865	588,836	27,384	44,978	79,572	53,663	945,748
dic-16	44,747	104,264	587,117	27,506	44,874	79,465	53,520	941,493
ene-17	41,067	103,736	586,324	27,437	44,866	79,542	56,770	939,742

Tabla 1: Registro de Abonados de Telefonía fija en el Litoral del Ecuador [2].

Puede observarse de la Tabla 1 que la Provincia del Guayas es aquella con el mayor número de abonados de telefonía fija y crecimiento anual. Sin embargo, las cifras corresponden a las grandes urbes y unos pocos sectores suburbanos limítrofes, por lo que debe analizarse el registro según el tipo de acceso para conocer la distribución de líneas telefónicas en zonas rurales. (Ver Tabla 2).

Año	ABONADOS CONVENCIONAL	ABONADOS INALÁMBRICO (CDMA 450 + WIMAX)	TTUP	TTUP INALÁMBRICO
2011	2,131,267	62,824	17,386	9
2012	2,198,913	89,384	20,093	282
2013	2,265,797	108,453	19,786	735
2014	2,315,203	106,978	18,667	842
2015	2,385,952	108,322	17,534	849
ene-16	2,386,981	108,184	17,543	853
feb-16	2,346,704	105,216	17,643	853
mar-16	2,344,522	104,673	17,736	820
abr-16	2,342,972	104,254	17,499	855
may-16	2,343,295	104,032	17,308	850
jun-16	2,346,060	104,386	16,228	854
jul-16	2,344,107	103,246	15,824	854
ago-16	2,343,097	103,172	15,793	850
sep-16	2,340,179	102,359	15,754	846
oct-16	2,333,535	101,891	15,810	848
nov-16	2,329,977	101,089	15,661	881
dic-16	2,324,141	100,518	15,539	873
ene-17	2,322,420	99,961	15,564	848
	95.22%	4.10%	0.64%	0.04%

Tabla 2: Registro de Abonados por Tipo de Acceso [2].

De esta tabla se alega que las tecnologías inalámbricas CDMA 450 y WiMAX representan el segmento rural, ya que se destinan especialmente a este tipo de sectores. Estas representan aproximadamente el 4.1% abonados de telefonía a nivel nacional. Cifra coherente con el Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia del Guayas (PDOT) 2012 – 2021 [3]. (Ver Figura 1.1)

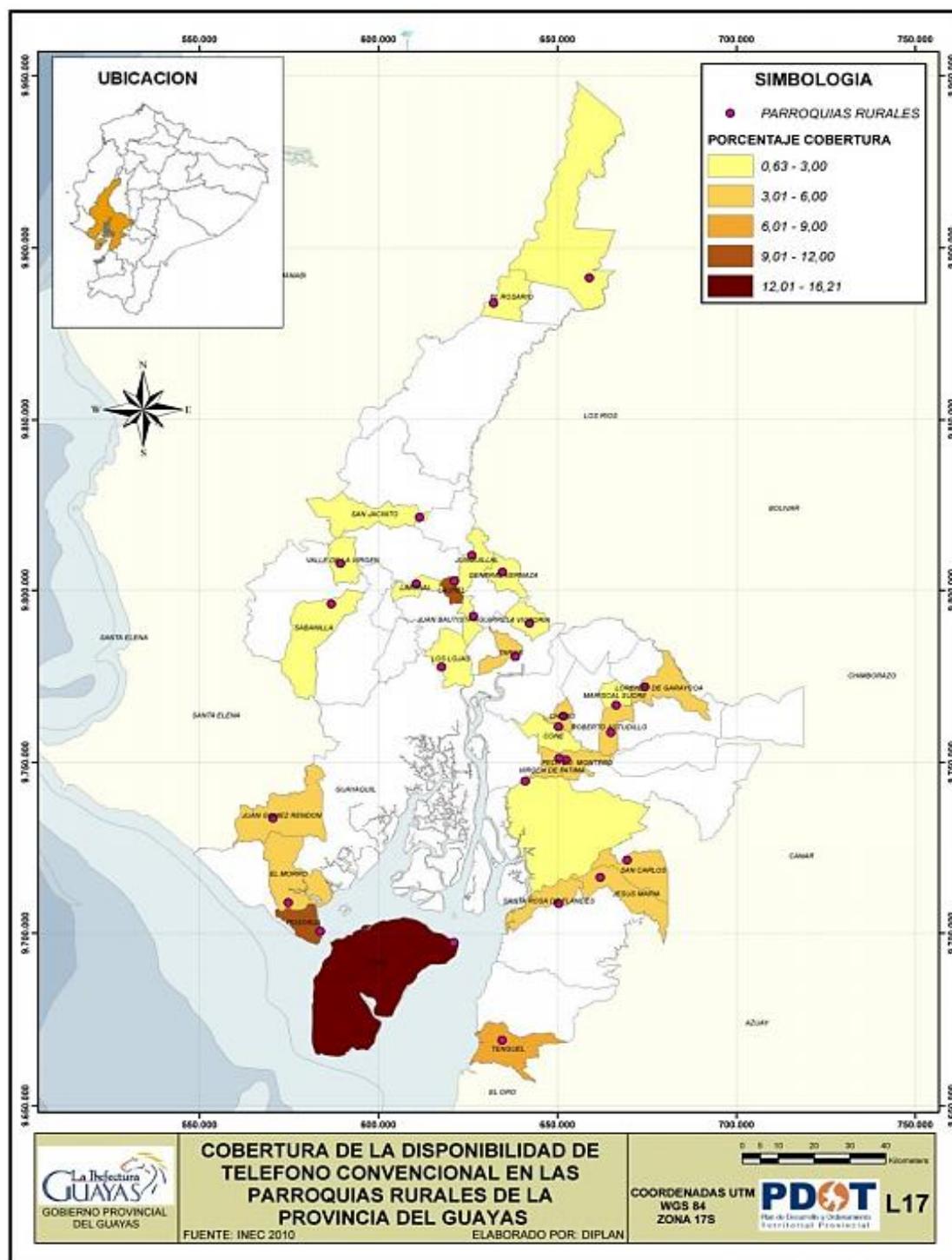


Figura 1.1: Cobertura STF en Parroquias Rurales de la Provincia del Guayas [3].

Nótese que la Figura 1.1 presenta la distribución de conectividad de servicios de telefonía fija. Estima una proporción alrededor de un 4.07% de abonados en las principales parroquias rurales de la Provincia del Guayas, demostrando que cerca del 96% de habitantes de estos sectores rurales no disponen de STF.

Cabe recalcar que también es necesario ilustrar las estadísticas correspondientes al registro de clientes de los servicios de Internet fijo. Estas pertenecen también a los reportes recientes de la ARCOTEL [2] y adicionalmente a las estadísticas sociales 2015 del INEC [4]. En La Tabla 3 pueden observarse las cifras de usuarios por provincia con acceso a Internet.

PROVINCIA	Cuentas Conmutadas	Cuentas Dedicadas	Cuentas Totales	Ctas. Totales (%)	No. habitantes Diciembre 2016	% habitantes provincia que tienen una suscripción a Internet
Azuay	343	103,700	104,043	1.11%	824,646	12.62%
Bolívar	8	9,258	9,266	0.10%	203,344	4.56%
Cañar	0	18,874	18,874	0.20%	263,048	7.18%
Carchi	12	12,440	12,452	0.13%	181,265	6.87%
Chimborazo	21	39,897	39,918	0.43%	463,819	8.61%
Cotopaxi	61	27,488	27,549	0.29%	506,325	5.44%
El Oro	155	54,921	55,076	0.59%	680,845	8.09%
Esmeraldas	32	24,917	24,949	0.27%	608,906	4.10%
Galápagos	0	4,052	4,052	0.04%	30,172	13.43%
Guayas	148	430,275	430,423	4.58%	4,146,996	10.38%
Imbabura	147	43,920	44,067	0.47%	451,476	9.76%
Loja	1,036	43,035	44,071	0.47%	500,794	8.80%
Los Ríos	326	32,469	32,795	0.35%	876,912	3.74%
Manabí	120	80,868	80,988	0.86%	1,510,375	5.36%
Morona Santiago	0	9,130	9,130	0.10%	179,406	5.09%
Napo	2	7,961	7,963	0.08%	122,838	6.48%
Orellana	18	8,038	8,056	0.09%	153,269	5.26%
Pastaza	1	8,505	8,506	0.09%	102,655	8.29%
Pichincha	559	514,731	515,290	5.49%	3,003,799	17.15%
Santa Elena	0	19,600	19,600	0.21%	367,235	5.34%
Sto. Domingo de los Tsáchilas	0	38,447	38,447	0.41%	426,910	9.01%
Sucumbíos	6	10,759	10,765	0.11%	210,532	5.11%
Tungurahua	700	60,070	60,770	0.65%	564,260	10.77%
Zamora Chinchipe	77	6,227	6,304	0.07%	110,296	5.72%
Zonas No Delimitadas	0	4	4	0.00%	38,607	0.01%
Operadoras Móviles			7,774,484	82.81%		
Total general	3,772	1,609,586	9,387,842	56.80%	16,528,730	
	0.04%	17.15%				

Tabla 3: Abonados por Provincia del Servicio de Acceso a Internet [2].

A pesar de que en la tabla 3 se proyecta que Guayas abarca el 4.58% del total cuentas de Internet fijo a nivel nacional, solo el 10.38% de la población provincial dispone de SIF, cuya mayoría está representada por la ciudad de Guayaquil y otros sectores urbanos. Por lo que es necesario observar la proporción representativa en los sectores rural (Ver Figura 1.2).

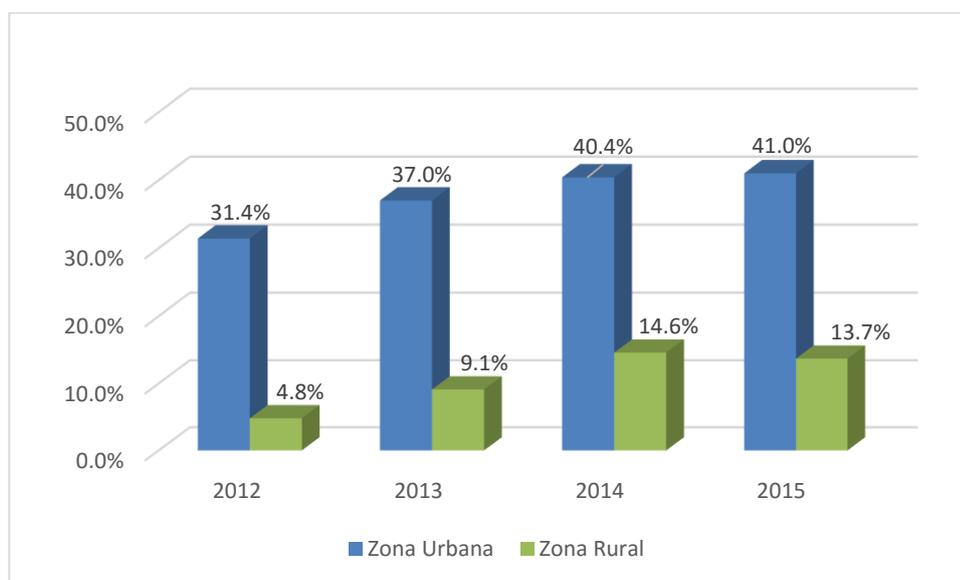


Figura 1.2: Hogares con Acceso a Internet en Ecuador [4].

La Figura 1.2 detalla que en el año 2015 solo el 13.7% de la población rural disponía de acceso a Internet en sus hogares. De manera similar que en el caso de STF, la cifra es también aproximable en la Provincia del Guayas, justificando entonces que aproximadamente el 86% de familias en zonas rurales tampoco tiene acceso a servicios básicos de Internet fijo.

Luego de evaluar estas insuficiencias, reconociendo la importancia económica y social que tienen estos sectores, es indiscutible que más del 80% de sus habitantes requiere de la telefonía fija e Internet para desarrollar eficientemente sus actividades comerciales y socio-culturales. Por lo que es sumamente indispensable abastecerlos con estos servicios básicos de Telecomunicaciones.

1.3 Objetivo General

Encontrar una solución viable y rentable para la implementación de una red de telefonía fija en el recinto Bajada de Chanduy, sector rural de la Provincia del Guayas, a través de una investigación técnica de campo y análisis demográfico que permitan establecer la tecnología adecuada para cubrir las necesidades de conectividad de sus habitantes y mejorar su calidad de vida.

1.4 Objetivos Específicos

- Determinar la cantidad de familias que necesitan servicios básicos de telefonía fija e internet.
- Diseñar una red de acceso inalámbrico de bajo costo, flexible, escalable y de fácil despliegue en una de las bandas de frecuencias no licenciadas para la provisión de servicios de banda ancha en el recinto Bajada de Chanduy.
- Proponer una proyección financiera rentable del despliegue de la red en un plazo razonable con costos módicos para los clientes.

1.5 Metodología

En primer lugar se realiza un estudio de campo para conocer las disposiciones geográficas y características de propagación del entorno, permitiendo así definir la infraestructura física de la red. Se investiga la cantidad de habitantes del sector evaluando sus capacidades y necesidades de conectividad a través de una encuesta demográfica con el fin de identificar la población objetivo.

Posteriormente se analizan las alternativas tecnológicas considerando los aspectos técnicos y regulatorios, para lo cual se requiere examinar la disponibilidad de frecuencias no licenciadas mediante un análisis espectral previo al diseño de la red de acceso.

Para su dimensionamiento se toma en cuenta el ancho de banda, tráfico de voz y cantidad total de habitantes para seleccionar los equipos de comunicación apropiados. Por consiguiente se realizan los respectivos cálculos teóricos de presupuesto de enlace para compararlos con los resultados de simulación por LINKPLanner para un modelamiento más aproximado a la realidad.

Por último, se realiza un análisis económico del proyecto contrastando su costo de inversión con el correspondiente al despliegue convencional de la red de telefonía pública conmutada (RTPC o PSTN por sus siglas en inglés) para determinar su viabilidad, rentabilidad y el periodo de recuperación de la inversión.

1.6 Resultados Esperados

- Proporcionar conectividad telefónica al menos el 90% de domicilios.
- Ofrecer tasas de al menos 3 Mbps en servicios de voz y datos.
- Brindar una disponibilidad continua de la red las 24 horas, los 7 días de la semana, especialmente durante la hora pico de 10h00-11h00 AM.
- Conseguir una recuperación de la inversión en un plazo inferior a 5 años.
- Alcanzar una tasa interna de rentabilidad superior a la tasa mínima atractiva de retorno en al menos 5%.

1.7 Elementos Diferenciadores

Uno de los aspectos más interesantes de este proyecto se puntualizan en una solución Low-Cost de la gama tecnológica ePMP 1000 de Cambium Networks, una de las líneas de mayor apogeo tecnológico y comercial, cuya infraestructura de red define una flexibilidad y vasta escalabilidad para el crecimiento indefinido de suscriptores e integración progresiva de múltiples servicios de banda ancha.

Sin embargo, lo excepcional radica en un plan estratégico económico y legal sumamente conveniente para el prestador de servicios. Este consiste en declarar al Fondo para el Desarrollo de Telecomunicaciones Rurales (FODETEL) la financiación de este proyecto para reducir su contribución tributaria trimestral a la ARCOTEL [1], [5].

1.8 Alcance del Proyecto

La implementación de este proyecto puede orientarse a cualquier zona rural o urbano-marginal de geografía llana y baja densidad vegetativa para una distribución demográfica de al menos 400 hogares. Es recomendable emprenderla progresivamente comenzando con un pequeño porcentaje de clientes en el primer año y una proporción mayor los años subsecuentes.

A pesar de que estas consideraciones se aplican a Bajada de Chanduy, resulta muy interesante conocer la existencia de comunas vecinas como Aguas Verdes y Pocito (Ver Figura 1.3). Estas suman cerca de 250 viviendas, una cifra bastante prometedora para extender la cobertura de servicios de Telecomunicaciones y generar un mayor rendimiento económico para el proveedor (Ver Figura 1.4).

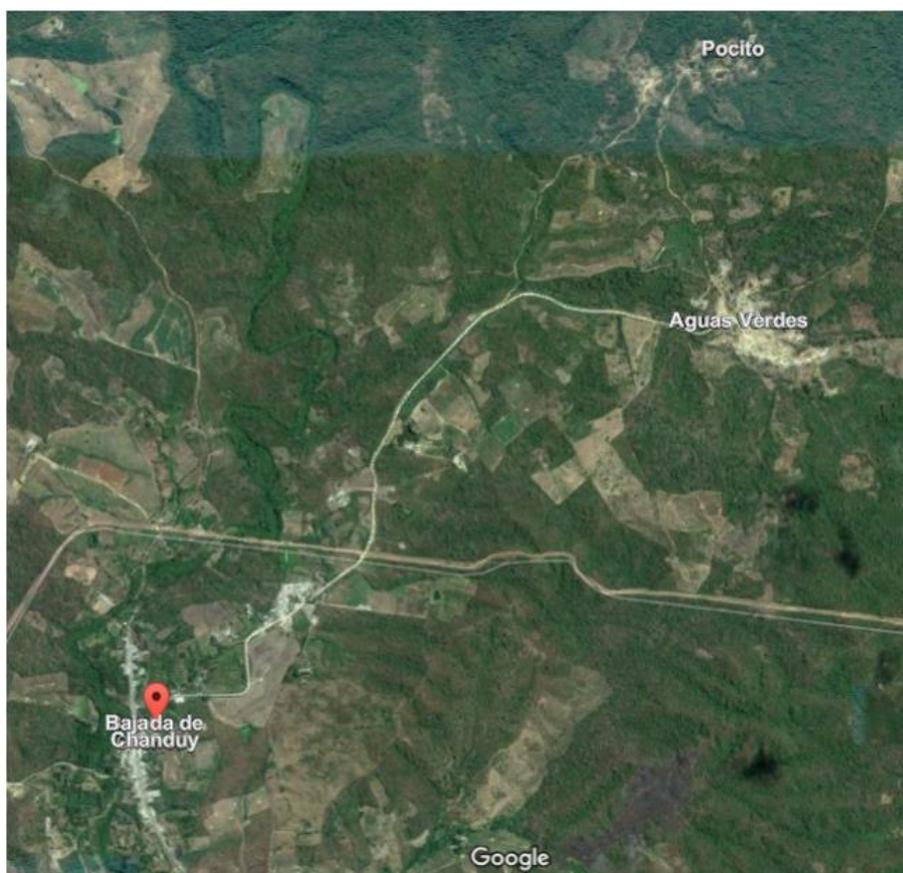


Figura 1.3: Mapa Geográfico de Bajada de Chanduy y Comunas Rurales Vecinas.



Figura 1.4: Distribución Poblacional de Bajada de Chanduy y Comunas Rurales Vecinas.

Como puede observarse en la Figura 1.4, ambos pueblos vecinos muestran una distribución poblacional notable, especialmente Aguas Verdes. Por lo que después de cubrir totalmente Bajada de Chanduy, el siguiente sector rural a cubrir con STF y SIF puede ser Aguas Verdes, por su cercanía y mayor densidad poblacional.

CAPÍTULO 2

2. PRINCIPIOS DE TELEFONÍA E INTERNET

2.1 Tecnologías de Telefonía fija e Internet

2.1.1 Introducción

En la actualidad con la globalización y desarrollo tecnológico la telefonía fija y el acceso a internet se han vuelto los principales servicios básicos de telecomunicaciones en la sociedad, pues permiten la participación del ser humano con el mundo exterior y el desarrollo de sus actividades cotidianas de manera rápida, sencilla y remota.

Estos sistemas requieren un uso compartido de recursos para un funcionamiento eficiente y confiable, como lo es el ancho de banda que define la cantidad de usuarios y calidad del servicio provisto.

Inicialmente los servicios de STF y SIF se desarrollaron sobre redes de par de cobre, cuya escalabilidad se condiciona por la cantidad de líneas físicas, lo que ocupa más espacio y requiere mayor mantenimiento. Esto ha llevado al desarrollo de sistemas de banda ancha que optimizan estos recursos para incrementar la capacidad, calidad y escalabilidad.

Una de las tecnologías que cumplen con estos requerimientos y a su vez reducen los costos de inversión son las de acceso inalámbrico. Estas emplean la modulación y propagación de ondas electromagnéticas en el espacio para llevar información desde un punto a otro de manera remota y proveer todo tipo servicios de telecomunicaciones incluyendo STF y SIF.

Entre las tecnologías más destacadas para brindar conectividad en lugares de difícil acceso como zonas rurales y suburbanas son: Wireless Local Area Network (WLAN), Worldwide Interoperability for Microwave Access (WIMAX) y Code Division Multiple Access (CDMA) a 450 MHz.

2.1.2 Tecnologías de acceso para Telefonía fija e Internet

Una de las bondades de la RTPC es su capacidad de transmitir de manera analógica la voz sin depender de instalaciones eléctricas, sin embargo no brinda seguridad en la comunicación, sus medios guiados ocupan demasiado espacio y su acceso a internet solo permite una tasa de datos de 56kbps con dial-up en condiciones ideales [6].

Existe también otra tecnología conocida como Red Digital de Servicios Integrados (RDSI o ISDN por sus siglas en inglés), que permite transmitir 64kbps de voz con acceso a internet hasta 1,920 kbps. ISDN suele utilizarse para soluciones privadas corporativas sobre todo la PRI, aunque su disponibilidad es limitada en el mercado [7].

Por otra parte, los sistemas de banda ancha son los más utilizados en los servicios de telecomunicaciones. Principalmente porque al basarse en redes IP, utilizan una lógica jerárquica constituida de procedimientos y protocolos que definen un esquema de comunicación organizada, segura y confiable, capaz de conectarse al ciberespacio.

Al mismo tiempo permiten establecer prioridades en la integración de servicios de voz, datos y multimedia mediante QoS (Quality of Service), definiendo soluciones residenciales o corporativas de STF y SIF según el tipo de servicio prestado. Las redes de mayor alcance son: Cable-módem, VDSL (Very high Digital Subscriber Line), Fibra Óptica FTTH (Fiber-to-the-Home) y el estándar IEEE 802.11n.

Cable-módem alcanza una velocidad máxima de acceso de 27 Mbps [8], VDSL tasas entre 12.9 – 52.8 Mbps [9], las redes de FTTH más de 1 Gbps y las redes inalámbricas tasas de mayores a 50 Mbps.

Cable-módem y DSL son las tecnologías más comunes debido a su inversión moderada y buena disponibilidad de ancho de banda. Esto las vuelve las más económicas del mercado frente a la FTTH; que a pesar de ofrecer mayores velocidades a través de enlaces de mínima compartición, sus recursos y costos de mantenimiento son mucho más elevados.

Pese a que estas tecnologías ofrecen altas tasas de datos, no tienen la versatilidad necesaria para implementarse en cualquier clase de entorno. Su despliegue de red requiere un ambiente con disposiciones geográficas simples y obstrucciones mínimas. Este problema se resuelve gracias al acceso inalámbrico que permite un fácil despliegue en entornos rurales.

Entre las tecnologías inalámbricas, las más utilizadas en soluciones de voz y datos en zonas marginales son: CDMA 450 y WIMAX por sus coberturas de gran alcance, y las del estándar IEEE 802.11 que trabajan en las bandas no licenciadas de 2.4 GHz y 5GHz; permitiendo abaratar costos de inversión, además de proporcionar una gran flexibilidad y escalabilidad.

CDMA450 ofrece servicios de buena calidad en extensos rangos de cobertura. Basado en CDMA2000, alcanza velocidades de acceso hasta 3.1 Mbps [10]. Sin embargo, su principal inconveniente radica en ser un sistema de espectro licenciado, por lo que su costo es mayor. Su uso es más adecuado para cubrir zonas significativamente grandes con alta densidad poblacional.

WiMAX también provee coberturas similares con acceso de gran ancho de banda y soporta múltiples servicios, pero su inconveniente reside en un costo relativamente alto en la implementación y mantenimiento de la red especialmente en el consumo de potencia eléctrica [10]. Este es más apropiado para redes de gran escala.

WiFi por su parte permite una mayor compatibilidad con redes cableadas, dispone de una gran facilidad en la integración de servicios de voz y datos con un despliegue más rápido. Es mucho más flexible, escalable y además su costo de implementación es el más económico.

Si bien WiFi fue diseñado como una solución de redes LAN, sus nuevas actualizaciones poseen prestaciones para cubrir redes de mayor escala. Esto vuelve posible el despliegue de redes de acceso bajo el estándar IEEE 802.11n para la provisión de servicios básicos integrados de internet y voz sobre IP en áreas de mayor extensión.

2.2 Voz sobre IP

2.2.1 Definición

Abreviada como VoIP (Voice over Internet Protocol), es la tecnología que emplea un conjunto de recursos normas, dispositivos y protocolos para transportar la señal de voz mediante protocolo IP. Digitaliza la voz y la segmenta en paquetes de datos para enviarla a través de Internet sin recurrir a la conmutación de circuitos analógicos convencionales.

Para que las señales de voz sean enviadas por internet se utilizan protocolos de VoIP provenientes de la Red Experimental de Protocolo de Voz de ARPANET [11]. El tráfico se transporta sobre una misma red IP, típicamente LAN o WLAN junto con los demás paquetes de datos.

Para el funcionamiento de la telefonía IP se requiere siempre de una conexión a internet de banda ancha simétrica para garantizar una buena calidad de llamada, flujo de electricidad y una buena arquitectura de red de buen QoS para evitar latencia, eco, distorsión y pérdida de paquetes.

2.2.2 Ventajas de la Telefonía IP en sectores rurales del Ecuador

La telefonía IP, a pesar de requerir de una conexión a Internet, presenta varios beneficios de conectividad frente a la PSTN:

- Menor costo de las llamadas.
- Mayor flexibilidad.
- Rápido despliegue de red y escalabilidad de mínimo espacio físico
- Mejores funcionalidades de generación de reportes de servicio, identificación, transferencia y grabación de llamadas.

En Ecuador existen sectores rurales que no cuentan con la disponibilidad de telefonía convencional, ya que el alcance de la PSTN y su capacidad de penetración son muy limitados en dichos lugares debido a la dificultad de acceso e irregular distribución poblacional.

Generalmente dichas zonas suelen contar con una conectividad celular, sin embargo, la cobertura es inestable, lo que provoca un servicio intermitente de pobre calidad. Además, las tarifas no resultan muy económicas, menos aun si el servicio no es óptimo.

Para proveer servicios telefónicos en este tipo de sectores se necesita de una red versátil que brinde acceso en zonas remotas, y una solución inalámbrica tiene la capacidad de proveer telefonía fija e internet de banda ancha para proporcionar comunicación a estos pequeños sectores a un menor costo de inversión.

Dado que la PSTN es la red con mayor despliegue físico y cantidad de abonados, las redes de telefonía IP deben conectarse a esta mediante dispositivos de red intermediarios conocidos como gateways. De tal forma que permiten a las llamadas provenientes de la red IP ingresar a la RTPC y viceversa.

2.2.3 Protocolos VoIP

VoIP consta de varios protocolos que se centran en la señalización de las llamadas para su establecimiento y control, estos protocolos son: H.323, MGCP, IAX, SIP y SCCP. Los más utilizados son H.323 y de manera especial SIP. Para la transmisión digital de la voz por IP se utilizan los protocolos RTP/RTCP y adicionalmente SDP en SIP.

H.323 define una serie de protocolos y especificaciones desarrollados para videoconferencia y voz (aunque no específicamente VoIP) [12]. Utiliza H.225 para la señalización de las llamadas y H.245 para controlar la habilitación de los canales de transmisión multimedia. En la figura 2.1 puede apreciarse el flujograma de una llamada H.323/H.323.

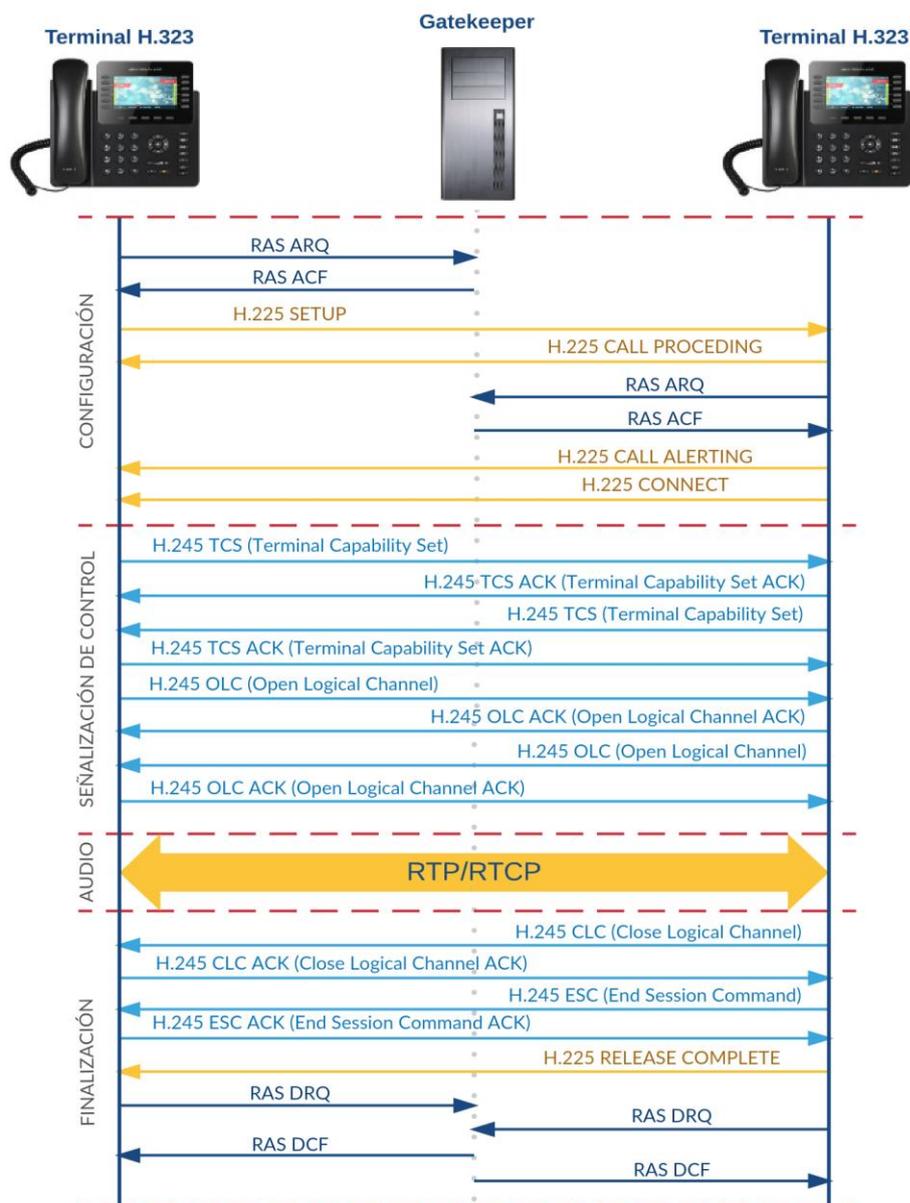


Figura 2.1: Flujograma de Señalización de Llamadas H.323/H.323.

La figura 2.1 muestra el conjunto de comandos secuenciales para la correcta realización de una llamada entre dos terminales H.323. Estos se dividen en 4 etapas; configuración, señalización de control, audio y finalización, las cuales describen procedimientos elaborados para la realización de una llamada VoIP.

SIP (Session Initiation Protocol), desarrollado conforme al esquema de internet, es una alternativa a H.323 que define el establecimiento de una llamada por medio del inicio de sesión de dos terminales a través de una red IP [13]. En la Figura 2.2 se puede observar el flujograma de la llamada entre dos terminales SIP.

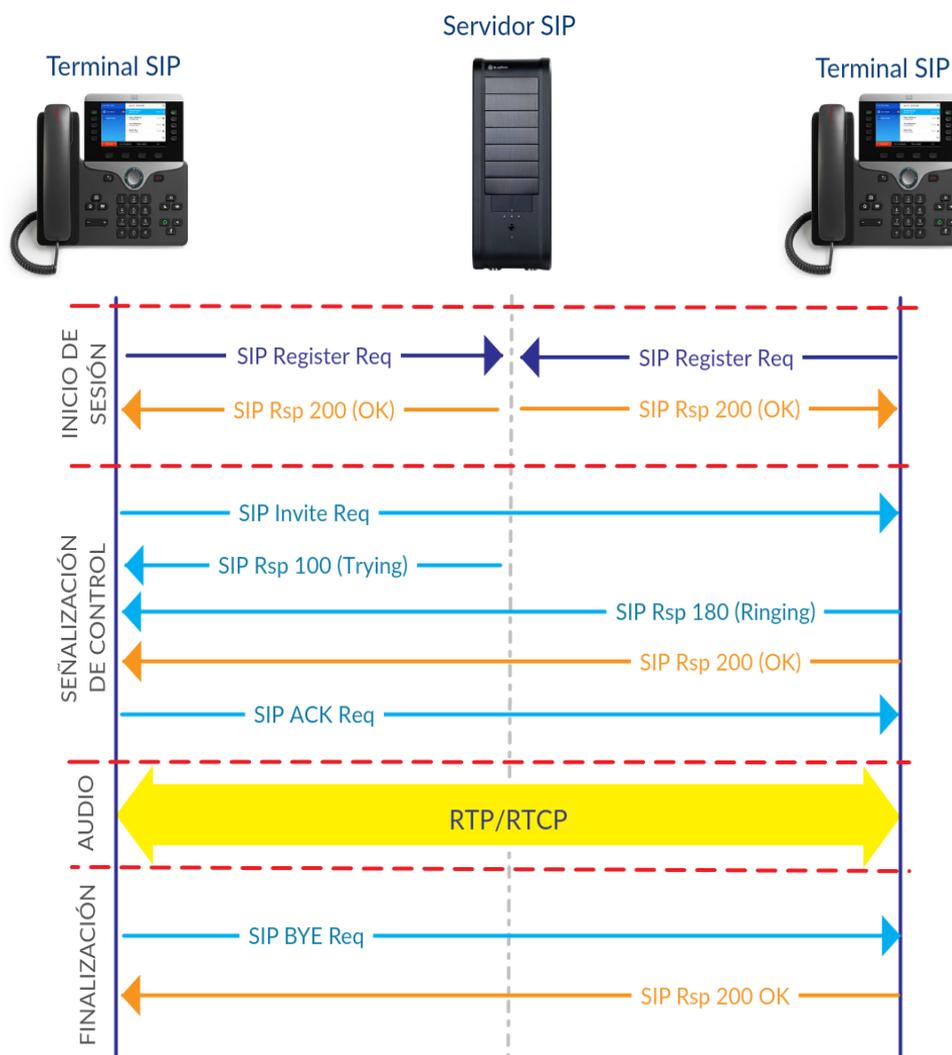


Figura 2.2: Flujograma de Señalización de Llamadas SIP/SIP.

Por su parte, como puede notarse en la Figura 2.2, SIP reúne una secuencia de comandos más sencilla que H.323. Por lo que se comprueba su mayor simplicidad en el establecimiento de llamadas IP.

A pesar de que H.323 y SIP trabajan en redes IP, estos protocolos poseen diferencias notables que pueden analizarse en la Tabla 4 para distinguir sus ventajas e inconvenientes en la operación de la red de servicios [14].

H.323	SIP
Diseñado para la comunicación de multimedia sobre la red IP, especialmente videoconferencia.	Diseñado especialmente para trabajar en la red IP mediante inicio de sesiones para el establecimiento de llamadas.
La comunicación sobre H.323 posee procedimientos complejos para la transmisión de multimedia.	Su arquitectura es más simple. Actualmente algunas revisiones presentan complejidad ligeramente menor a H.323
Mayor tiempo de respuesta y tamaño de código. Optimizaciones incurrir en problemas de interconexión.	Es el protocolo más extendido entre los principales fabricantes VoIP por su sencilla integración en la red IP.
Puede lidiar fallas en entidades de red intermedias eligiendo dispositivos alternativos (Gatekeepers y terminales).	Detecta fallas por medio de expiración de tiempo, por lo que debe hacerse un nuevo requerimiento generando mayor retraso.
Tiene la capacidad de codificar y decodificar mensajes en formato binario compacto a través de máquinas ampliamente disponibles.	Codifica mensajes en formato ASCII; legibles para el usuario, pero requieren mayor ancho de banda, añaden retraso, pérdida de paquetes, etc.
Usa protocolos RTP/RTCP, SRTP.	Usa protocolos RTP/RTCP, SRTP y SDP.
Posee retro-compatibilidad de versiones facilitando la interoperabilidad.	No tiene retro-compatibilidad, lo que incurre en problemas de interoperabilidad
Define una interfaz terminal/gatekeeper para resolución de direcciones utilizando los comandos de señalización ARQ o LRQ.	Para la resolución de direcciones, realiza redireccionamiento o enruta el comando INVITE a través de un servidor proxy.
Tiene mecanismos de direccionamiento flexible; URIs, direcciones e-mail, números E.164, URL, UIM y números ISUP.	Comprende solo direcciones URI, apropiadas para dispositivos, pero causa cierta confusión al traducir varios dígitos marcados.
La facturación se efectúa mediante RAS enviando el reporte Start/End de la llamada desde el terminal al Gatekeeper.	El Proxy debe estar en la ruta de señalización durante la llamada para detectar la finalización y obtener la información de facturación.
Toma protocolos de la PSTN que permiten una adecuada integración de ambas redes.	La señalización debe ser traducida para conseguir la integración con la PSTN.
Soporta cualquier Códec, estandarizado o propietario.	Soporta cualquier Códec registrado de IANA u otro Códec aprobado.
Utiliza TCP o UDP	Utiliza TCP o UDP, ATM, etc.
Soporta LANs y Los métodos de resolución de direcciones según <i>Ubicación de Usuario</i> permiten el direccionamiento WAN	Soporta direccionamiento WAN inherente y facilita la expansión e incremento del número de componentes de una red IP.

Tabla 4: Comparación de Protocolos H.323 y SIP [14].

Como puede verse en la Tabla 4, las principales ventajas de SIP además de la sencillez de su arquitectura, son las siguientes: facilidad de integración en la red IP, mejor experiencia en la capa de aplicación y capacidad de direccionamiento WAN de fácil expansión y escalabilidad.

Independientemente de la selección de H.323 o SIP, un inconveniente típico que de ambos protocolos comparten es el hecho de que no pueden comunicarse directamente, por lo que requieren de un Signalling Gateway (SG) para la traducción sus respectivos comandos de señalización.

A pesar de ello, es preciso agregar que la utilización de un SG no siempre resuelve el problema de comunicación de los protocolos mencionados, pues aún existen inconvenientes como la latencia, que deben mitigarse con procedimientos adecuados de ingeniería. Por ende la infraestructura de los servicios VoIP suelen operar sobre un único protocolo.

Es importante clarificar que toda red digital de telefonía debe conectarse a la PSTN debido a que esta es la red telefónica de mayor alcance. Esto quiere decir, que las redes de voz sobre IP deben integrarse al sistema clásico de telefonía, de manera que se hace vigente y justificable la utilización de un SG.

En el caso de Ecuador, la mayoría de infraestructuras VoIP trabajan con SIP por lo que se utilizan comúnmente Gateways de señalización PSTN/SIP. En la figura 2.3 se puede observar el flujograma de una llamada PSTN/SIP.

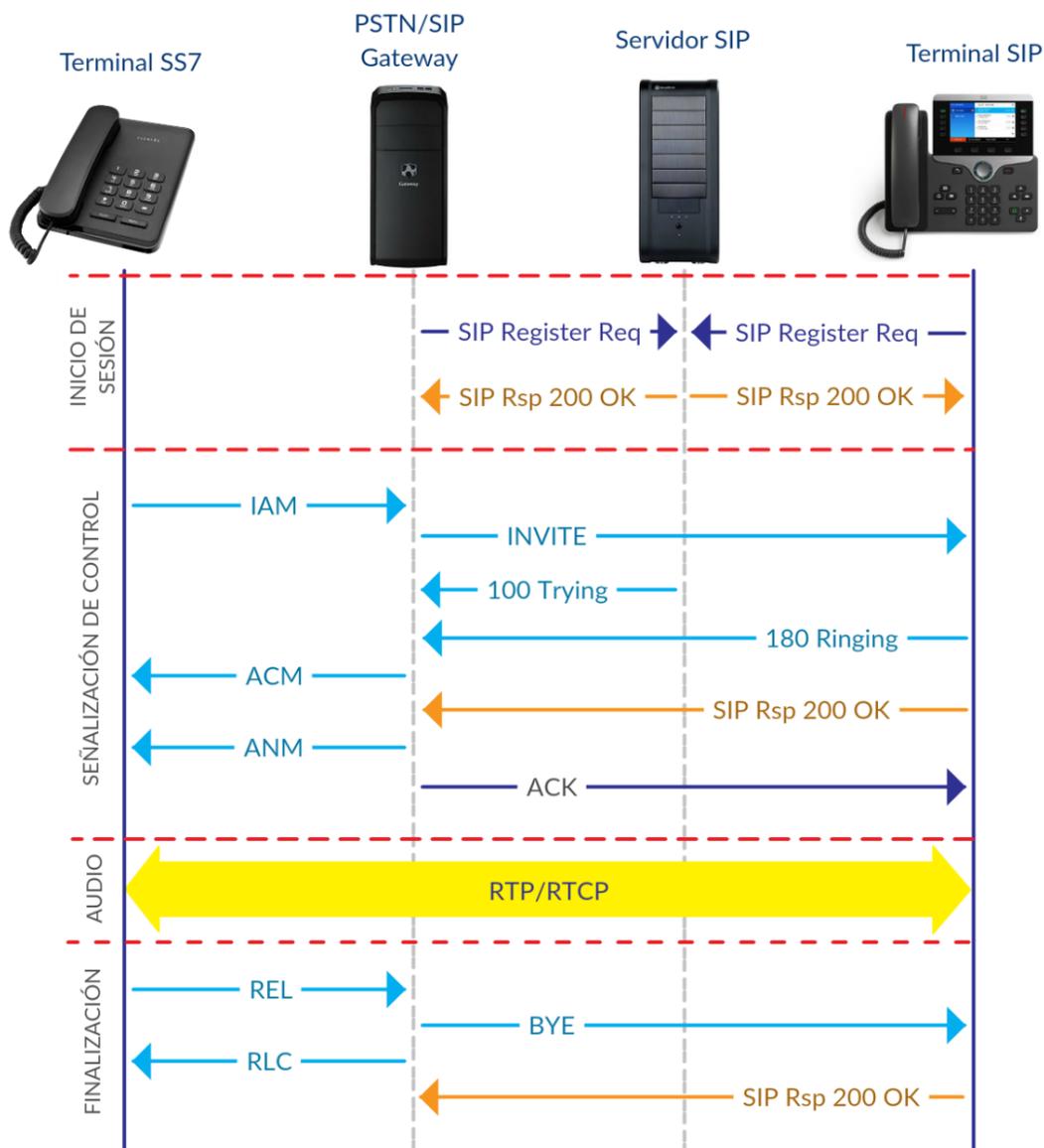


Figura 2.3: Flujograma de Señalización de Llamadas PSTN/SIP.

Tal como puede observarse en la Figura 2.3, el PSTN/SIP Gateway es el encargado de traducir los comandos de control y señalización. Este tiene además la función de enviar nuevos requerimientos para corregir fallos de conexión o comunicación. Mientras más robusto, mejores los resultados y rendimiento del proceso de las llamadas.

2.2.4 Códecs de Audio

Un Códec (Codificador/decodificador) de audio es un dispositivo o software cuya función es convertir la señal de audio analógica en digital y viceversa [15]. Esta señal se codifica y comprime bajo determinadas especificaciones que acondicionan la calidad de audio y ancho de banda requerido.

El objetivo de la compresión está en reducir la cantidad de bits de la señal de audio original a partir de la atenuación de potencia, eliminación de información innecesaria o considerada redundante para ocupar el menor espacio posible sin comprometer la confiabilidad.

Para ello se usan técnicas de codificación y filtrado para procesar la información relevante, que utilizan un umbral de enmascaramiento y rango dinámico que condicionan el proceso de cuantificación, de modo que se define la resolución de la señal de audio y los bits necesarios para su codificación.

Los códecs de voz o vocoders analizan la señal de voz en un segmento temporal para extraer los parámetros del modelo y la excitación. En el proceso de decodificación se sintetizan estos parámetros a través de un modelo de producción de voz de tal manera que solo esta puede ser procesada confiablemente.

Existen vocoders de diferentes tipos: por predicción lineal, por forma de onda y codificadores híbridos. Inicialmente con PCM se conseguían flujos de 64Kbps. Actualmente se ha conseguido reducirlos hasta tasas menores a 5 kbps [16].

En telefonía IP al igual que las demás redes de comunicación, se dispone de un ancho de banda fijo para la transmisión de datos, es por eso que se procura utilizar las mejores técnicas de modulación y codificación de señales para un uso eficiente del ancho de banda disponible sin provocar un detrimento sustancial en la calidad del servicio.

Para conseguir esto se requiere de códecs apropiados para telefonía que procesan los 40 KHz de ancho de banda de la voz. Los estándares en VoIP son: G.711, G.723, G.726, G.728 y G.729 de la ITU, cuyas características técnicas [17] se muestran en la Tabla 5.

Códec	Información de Códec					Cálculos de Ancho de Banda			
	Tasa de datos (Kbps)	Tamaño de muestras (Bytes)	Intervalo de muestreo (ms)	Retardo (ms)	MoS	Tamaño de Payload (Bytes - ms)		Tasa de paquetes (PPS)	Ethernet Bw + Overhead (Kbps)
G.711	64	80	10	~0.125	4.10	160	20	50.0	87.2+8
G.723.1	5.3	20	30	~37.50	3.80	20	30	33.3	20.8+8
	6.3	24	30	~37.50	3.90	24	30	33.3	21.9+8
G.726	24	15	5	~0.125	3.85	80	20	42.8	47.2+8
	32	20	5	~0.125	3.85	80	20	50.0	55.2+8
G.728	16	10	5	~2.500	3.61	60	30	33.3	31.5+8
G.729	8	10	10	~15.00	3.92	20	20	50.0	31.2+8

Tabla 5: Especificaciones Técnicas de Códecs en VoIP [17].

De esta tabla puede notarse que el consumo de ancho de banda es directamente proporcional a la tasa de datos. Esto a su vez se refleja en el grado medio de opinión del usuario MoS (Mean Opinion Score) que representa la calidad de la voz ofrecida por el códec durante la llamada.

Actualmente G.711 y G.729 son los más utilizados en Telefonía IP por sus especificaciones que cumplen con los principales requerimientos en VoIP: Calidad de voz y ahorro de ancho de banda.

El estándar G.711 es un códec de alta tasa de datos (64 Kbps) que utiliza modulación PCM para digitalizar la señal analógica de voz con una tasa de muestreo de 8000 muestras por segundo y luego de cuantificarla se la codifica utilizando la Ley-A o Ley-U.

G.729 es el estándar que define una compresión de la voz en porciones de 10 milisegundos reduciendo el payload de audio hasta 8kbps optimizando considerablemente el uso de ancho de banda pero comprometiendo algunas características durante la transmisión.

A continuación en la Tabla 6 se presentan las principales diferencias entre los códecs G.711 y G.729 [18].

G.711	G.729
Ofrece mayor calidad de voz durante las llamadas, similar al SS7 e ISDN.	Menor calidad de voz durante la realización de las llamadas.
Consumo mayor ancho de banda.	Optimiza el uso de ancho de banda.
Puede sostener 18 llamadas simultaneas sobre un enlace T1/E1 de 1.5 Mbps.	Puede sostener 140 llamadas simultaneas sobre un enlace T1/E1 de 1.5Mbps.
Es el códec con el menor retardo ya que la compresión es extremadamente baja.	Presenta mayor retardo debido a los procedimientos de cómputo y compresión.
No se recomienda su uso en conexiones de internet con limitado ancho de banda.	Recomendado para conexiones de internet con poco ancho de banda.
Puede transportar música, tonos de fax o DTMF con una confiabilidad aceptable.	Transporta música, tonos de fax o DTMF de manera poco confiable.
Es el estándar mayormente soportado por los proveedores VoIP.	Requiere de la compra de una licencia para su uso.

Tabla 6: Comparación Técnica entre los Códec G.711 y G.729 [18].

Puede apreciarse de la Tabla 6 que ambos códec tienen sus propias ventajas distintivas. Mientras que G.711 ofrece la mejor calidad de voz, G.729 reduce el consumo de ancho de banda logrando una mayor escalabilidad, sin embargo, resulta poco conveniente al tratarse de un códec licenciado.

En las siguientes tablas, se ilustra el rendimiento en términos de ancho de banda de los códec G.711 (Tabla 2.4) y G.729 (Tabla 2.5).

Código	G.711		Ancho de Banda Requerido			
	Ancho de banda por llamada (Kbps)	Llamadas simultáneas	Ethernet	Overhead	Throughput	Sugerencia
Ethernet	87.20	1	87 Kbps	8 Kbps	95 Kbps	100 Kbps
		5	436 Kbps	40 Kbps	476 Kbps	500 Kbps
Overhead	8.00	10	872 Kbps	80 Kbps	952 Kbps	1.0 Mbps
		20	1.74 Mbps	160 Kbps	1.904 Mbps	2.0 Mbps
Throughput	95.20	50	4.36 Mbps	400 Kbps	4.76 Mbps	5.0 Mbps
		100	8.72 Mbps	800 Kbps	9.52 Mbps	10.0 Mbps
Sugerencia	100.00	250	21.80 Mbps	2.00 Mbps	23.80 Mbps	25.0 Mbps
		500	43.60 Mbps	4.00 Mbps	47.60 Mbps	50.0 Mbps

Tabla 7: Rendimiento de Ancho de Banda por Cantidad de Llamadas G.711

La Tabla 7 indica que una llamada bajo G.711 requiere de un throughput neto de 95.20 Kbps. No obstante, para fines prácticos de diseño suelen sugerirse 100 Kbps para facilitar la asignación de ancho banda y garantizar el rendimiento de la llamada.

Código	G.729		Ancho de Banda Requerido			
	Ancho de banda por llamada (Kbps)	Llamadas simultáneas	Ethernet	Overhead	Throughput	Sugerencia
Ethernet	31.20	1	31 Kbps	8 Kbps	39 Kbps	40 Kbps
		5	156 Kbps	40 Kbps	196 Kbps	200 Kbps
Overhead	8.00	10	312 Kbps	80 Kbps	392 Kbps	400 Kbps
		20	624 Kbps	160 Kbps	784 Kbps	800 Kbps
Throughput	39.20	50	1.56 Mbps	400 Kbps	1.96 Mbps	2.0 Mbps
		100	3.12 Mbps	800 Kbps	3.92 Mbps	4.0 Mbps
Sugerencia	40.00	250	7.80 Mbps	2.00 Mbps	9.80 Mbps	10.0 Mbps
		500	15.60 Mbps	4.00 Mbps	19.60 Mbps	20.0 Mbps

Tabla 8: Rendimiento de Ancho de Banda por Cantidad de Llamadas G.729.

Para G.729, la Tabla 8 muestra que para la realización de una llamada IP son necesarios 39.20 Kbps de throughput neto, que resulta un 60% más eficiente en términos de ancho de banda. De manera similar al caso anterior, para un buen rendimiento se recomienda asignar 40 Kbps por canal de voz.

Es importante señalar que en el dimensionamiento de la red, muy aparte de elegir G.711 o G.729 como códec de voz, aún debe optimizarse la capacidad de la red para reducir evitar el desperdicio de recursos, de tal forma que se consiga un mayor rendimiento económico sin comprometer la calidad de servicio proporcionada al cliente.

2.2.5 Tráfico de Llamadas

Al diseñar una red es preciso dimensionar su capacidad, principalmente a medida que esta crece. La metodología suele basarse en resultados empíricos basados en la previa experiencia como convención para el diseño de la red y sus requerimientos.

El tráfico se define como la cantidad de datos que fluyen por un circuito durante un determinado intervalo de tiempo. Esto también incluye la relación entre la cantidad de llamadas y su período de duración, que a su vez permite determinar el número justo de circuitos y la cantidad de ancho de banda necesario para la realización de llamadas VoIP.

Este dimensionamiento se lleva a cabo mediante el establecimiento de un grado de servicio (GoS) para definir la disponibilidad de circuitos (virtuales) a partir de un tráfico determinado.

La intensidad de tráfico se mide en Erlangs que representan la proporción de utilización temporal de una línea telefónica durante un tiempo neto de 1 hora [19]. En otras palabras 1 Erlang equivale a utilizar el 100% de una línea durante una hora continua, pudiendo darse el caso de realizar n llamadas cuya duración sume en total 1 hora.

A continuación se muestra la fórmula básica de intensidad de tráfico:

$$A = \lambda \cdot h \quad (2.1)$$

Donde A es el tráfico en Erlangs, λ es la tasa promedio de llamadas por hora y h es la duración media de las llamadas en horas.

El GoS comprende valores entre 0 y 1 que indican la probabilidad con la que una llamada es bloqueada durante la hora cargada, que representa el periodo de tiempo equivalente a una hora continua en que el volumen de tráfico en la red local es máximo. Su cálculo se obtiene de la formula Erlang-B, dada por:

$$GoS = P_b(A, m) = \frac{\frac{A^m}{m!}}{\sum_{i=0}^m \frac{A^i}{i!}} \quad (2.2)$$

Donde A es el tráfico total en Erlangs y m es la cantidad de circuitos empleados en la red.

Para un valor definido de GoS La cantidad de circuitos o servidores requeridos puede determinarse a partir de la ecuación (2.2) cuya tabulación se muestra a continuación en la Tabla 9.

N° Circuitos	Tráfico (A) en Erlangs para GoS =				
	0.1%	0.5%	1%	1.5%	2%
5	0.762	1.13	1.36	1.52	1.66
10	3.09	3.96	4.46	4.80	5.08
12	4.23	5.28	5.88	6.27	6.61
14	5.45	6.66	7.35	7.81	8.20
20	9.41	11.1	12.0	12.65	13.2
22	10.8	12.6	13.7	14.32	14.9
24	12.2	14.2	15.3	16.01	16.6
26	13.7	15.8	17.0	17.72	18.4
28	15.2	17.4	18.6	19.45	20.2
30	16.7	19.0	20.3	21.19	21.9
32	18.2	20.7	22.0	22.95	23.7
34	19.7	22.3	23.8	24.72	25.5
36	21.3	24.0	25.5	26.49	27.3
38	22.9	25.7	27.3	28.28	29.2
40	24.4	27.4	29.0	30.08	31.0
42	26.0	29.1	30.8	31.88	32.8
44	27.6	30.8	32.5	33.69	34.7
46	29.3	32.5	34.3	35.51	36.5
48	30.9	34.2	36.1	37.34	38.4
50	32.5	36.0	37.9	39.17	40.3
52	34.2	37.7	39.7	41.00	42.1
54	35.8	39.5	41.5	42.84	44.0
56	37.5	41.2	43.3	44.69	45.9
58	39.1	43.0	45.1	46.54	47.8
60	40.8	44.8	46.9	48.40	49.6
70	49.2	53.7	56.1	57.73	59.1
80	57.8	62.7	65.4	67.15	68.7
90	66.5	71.8	74.7	76.63	78.3
100	75.2	80.9	84.1	86.16	88.0
110	84.1	90.1	93.5	95.74	97.7
120	93.0	99.4	103.0	105.35	107.4
130	101.9	108.7	112.5	115.00	117.2
140	110.9	118.0	122.0	124.67	127.0
150	119.9	127.4	131.6	134.39	136.8

Tabla 9: Tráfico en Erlangs por GoS y Número de Circuitos.

Al apreciar la columna sombreada de la Tabla 9, se observa un GoS de 1%. En Ecuador se utiliza esta medida como estándar en toda red telefónica ya sea convencional o digital considerando la hora pico entre las 10h00 y 11h00 AM a una tasa de 1 llamada por hora con un tiempo de duración de 5 – 6 minutos. Una vez calculado el tráfico, puede determinarse el número de circuitos necesarios.

2.3 Redes de Transporte y Redes de Acceso Inalámbrico

La red de transporte conocida también como red troncal o backbone es aquella encargada de recoger el tráfico de información proveniente de la red de acceso para transportarlo a distancias mayores. Esta hace posible que la información de los usuarios o clientes sea transmitida desde un punto a otro, o varios puntos mediante métodos half-duplex o full-duplex.

Mediante esta red se logra transferir varios tipos de información: desde datos hasta comandos de control de red para la señalización de la comunicación, gestión de la red y su mantenimiento.

Se basa en tecnologías ATM, HDSL, SDH/PDH y DWDM, y se compone principalmente de sistemas de transmisión por redes de fibra óptica y sistemas radioeléctricos diseñados y gestionados por entidades funcionales [20]. De esta manera la red de transporte se extiende desde el nodo central del proveedor hasta el enlace troncal.

Para el caso de telefonía fija e Internet la empresa que proporciona estos servicios se la conoce como ISP (Internet Service Provider) que gestiona el acceso y conectividad de sus clientes tanto residenciales como corporativos según el tipo de tecnología utilizada:

Dial-up, ADSL, Cablemódem, fibra óptica, línea eléctrica, redes móviles como UMTS o HSDPA, enlace satelital y acceso inalámbrico fijo. Si el proveedor cuenta con una infraestructura inalámbrica este se denomina WISP (Wireless-ISP) cuya principal ventaja es su rápido y flexible despliegue de red en zonas remotas o de difícil acceso.

La red de acceso, conocida también como última milla se define como el segmento de la red de comunicaciones que conecta los suscriptores con el proveedor de servicios. Puede basarse en tecnologías de acceso guiado como par de cobre, DSL, cable coaxial, fibra óptica, HFC, PLC y acceso inalámbrico o radiofrecuencia como tipo celular, WiFi, WiMax, LMDS, Satelite, etc [21].

En las zonas rurales los servicios de telefonía e internet son limitados o nulos por lo que se vuelven un sector objetivo para la inclusión social y desarrollo de las

TIC al permitir la expansión del mercado de las telecomunicaciones y aumentar la demanda de estos servicios.

Para que una red de acceso inalámbrico sea desplegada debe analizarse principalmente la rentabilidad del servicio en el sector objetivo, sus características geográficas, situación económico-social, disponibilidad y presencia de proveedores. Ello permitirá definir el tipo de tecnología más apropiada.

Usualmente la tecnología más adecuada en sectores remotos suele ser la inalámbrica, por su fácil instalación de equipos en áreas de difícil acceso donde resulta costoso el tendido de cables. Sus más notables características son una menor inversión inicial, reducida cantidad de recursos, menor espacio físico, cobertura extensible, y ancho de banda asignable de forma fija o dinámica.

El diseño de toda red de acceso inalámbrico debe satisfacer las necesidades de la población creciente y además debe ser rentable para el proveedor. Esta red debe ser robusta, escalable y flexible para permitir la integración progresiva de nuevos servicios y adaptarse a las futuras tecnologías venideras sin entorpecer la estética y movilidad en el entorno.

Para que esto sea posible es necesario desarrollar una red IP con equipos adecuados para conseguir una comunicación exitosa, confiable y segura bajo las condiciones del sector marginal. Debe establecerse además un QoS que priorice VoIP sobre servicios web y datos para garantizar el funcionamiento y disponibilidad del servicio de telefonía las 24 horas y 7 días de la semana.

2.3.1 Tecnología BFWA

Broadband Fixed Wireless Accces (Acceso inalámbrico fijo de banda ancha) es un método de provisión de internet y servicios integrados de alta velocidad. Su infraestructura inalámbrica comprende usualmente la banda no licenciada de 5.755 a 5.875 GHz [22]. Sus aplicaciones suelen orientarse a redes fijas de distribución comercial de banda ancha.

BFWA es capaz de abarcar redes de pequeña y mediana escala en urbes y poblados marginales. Además es considerada como una de las

tecnologías más convenientes para la provisión de internet de banda ancha y servicios integrados de voz, datos y video.

Su principal ventaja reside en la implementación de sistemas de acceso inalámbrico de gran capacidad en menor tiempo y costo, volviéndose una de las primeras opciones para los proveedores. Entre los estándares definidos están WiMAX, HiperMAN, y WiFi como el más utilizado. En la Tabla 10 se presentan sus condiciones técnicas y estándares.

Frecuencia de Operación	5.755 -5.875 GHz
EIRP	4 W 36 dBm
Potencia Máxima	36 dBm
Ancho de banda por canal de radio	20/40 MHz
Potencia Tx	200 Mw/ MHz
Canales de Frecuencia	6 canales de 20 MHz 5.765 GHz 5.785 GHz 5.825 GHz 5.845 GHz 5.865 GHz
Estándares	WiMAX: IEEE 802.16d (2-11 GHz)
	HiperMAN: ETSI TS 102 210 (2-11 GHz)
	WiFi: IEEE 802.11n/ac-ax (2.4/5.8 GHz)

Tabla 10: Especificaciones Técnicas de BFWA.

Puede observarse de esta tabla que el ancho de banda de canal mínimo es de 20 MHz. Lo que significa que efectivamente puede desplegarse una red de acceso basada en WiFi, cuyo ancho de banda es de 22 MHz. Si se desea una mayor tasa de datos, puede aumentarse el ancho de banda, aunque el rango de cobertura se reduce.

2.3.2 Estándar IEEE 802.11n

Es una especificación de las comunicaciones WLAN en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz. Se caracteriza por mejorar notablemente el rendimiento de la red incrementando la tasa de datos, la confiabilidad y el rango de cobertura, prestaciones muy necesarias para aplicaciones de Internet y telefonía IP.

Basado en tecnología MIMO (Multiple Input/Multiple Output), el estándar utiliza un canal de radiofrecuencia más ancho y un mecanismo conocido como agregación de tramas; optimizando el tiempo de transmisión al realizar un solo requerimiento de canal para enviar los paquetes de datos.

Con 802.11n el máximo throughput teórico asciende hasta 600 Mbps, más de 10 veces el throughput de 802.11g. Sus mejores prestaciones se consiguen en la banda de 5 GHz que presenta mínimos traslapes de canales adyacentes y menos interferencias en contraste con la banda de 2.4 GHz.

El rendimiento de las conexiones 802.11n es regulado mediante esquemas de modulación y codificación conocidos como MCS por sus siglas en inglés. El MCS define los parámetros de transmisión que determinan la máxima velocidad de datos alcanzada.

Los esquemas de modulación típicos en los puntos de acceso abarcan desde MCS0 hasta MCS15 y los clientes hasta MCS7 como mínimo [24]. Esto puede observarse con mayor detalle en la Tabla 11.

Índice MCS	Flujos espaciales	Tipo de Modulación	Tasa de Codificación	Tasa de Datos [Mbps]			
				Canal 20 MHz		Canal 40 MHz	
				IG 800 [nS]	IG 400 [nS]	IG 800 [nS]	IG 400 [nS]
0	1	BPSK	1/2	6.50	7.20	13.50	15.00
1	1	QPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
2	1	QPSK	3/4	19.50	21.70	40.50	45.00
3	1	16-QAM	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
4	1	16-QAM	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
5	1	64-QAM	2/3	52.00	57.80	108.00	120.00
6	1	64-QAM	3/4	58.50	65.00	121.50	135.00
7	1	64-QAM	5/6	65.00	72.20	135.00	150.00
8	2	BPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
9	2	QPSK	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
10	2	QPSK	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
11	2	16-QAM	1/2	52.00	57.80	108.00	120.00
12	2	16-QAM	3/4	78.00	86.70	162.00	180.00
13	2	64-QAM	2/3	104.00	115.60	216.00	240.00
14	2	64-QAM	3/4	117.00	130.00	243.00	270.00
15	2	64-QAM	5/6	130.00	144.40	270.00	300.00

Tabla 11: Esquemas de Modulación y Codificación en IEEE 802.11n.

En esta tabla se descubren parámetros como los flujos espaciales que describen la cantidad de flujos de información que pueden transmitirse en un mismo rango de frecuencias. Nótese que el tipo de modulación se repite cada 8 índices, por ejemplo MCS0 y MCS8. La tasa de codificación indica la proporción de datos útiles de la trama, el canal de frecuencias define el ancho de banda utilizado y el intervalo de guarda el periodo de tiempo entre símbolos.

2.4 Propagación en el Medio

Las redes inalámbricas presentan descompensación principalmente debido al ruido térmico presente en el aire, la presencia de obstáculos; fenómenos de reflexión, refracción, difracción, atenuación e interferencia. Por ello es necesario identificar el entorno en el que se desplegará la red eligiendo los equipos necesarios que se ajusten a los parámetros de transmisión adecuados para conseguir una buena confiabilidad en el enlace inalámbrico.

Generalmente los servicios residenciales de telecomunicaciones que proporciona un WISP en sectores remotos rurales o suburbanos no presentan problemas significativos en calidad de servicio o experiencia de usuario ya que las señales que se propagan en tales medios no suelen ser afectadas por interferencia debido a que las bandas de frecuencia no están siendo ocupadas en el sitio.

Sin embargo, existen posibles complicaciones que ocurren ante la presencia de obstáculos como árboles, edificios y montículos que impiden la línea de vista directa, provoquen reflexiones destructivas, difracción desfavorable o scattering por superficies rugosas, incluso fenómenos naturales como precipitaciones lluviosas.

Esto implica que es preciso mitigar dichos problemas mediante un adecuado presupuesto de enlace que evite o reduzca las descompensaciones generadas por el entorno: Geografía, vegetación, obstáculos, etc. para favorecer principalmente la línea de vista y la zona de Fresnel del haz de radio.

Debe realizarse además un estudio de campo para identificar de una forma más específica las principales variables que condicionan el entorno. Luego, definir los parámetros de transmisión a través de un modelo matemático que describa las pérdidas de potencia generadas en el medio, y así poder garantizar la continuidad del enlace.

2.4.1 Modelos de Propagación

Los modelos de propagación son formulaciones matemáticas, diagramas o algoritmos que describen las características de radio en un determinado entorno. Estos se identifican por el ambiente de propagación que puede

ser en interiores o exteriores, área de cobertura por microceldas o macroceldas, y origen de datos: empíricos o teóricos.

En el litoral ecuatoriano las zonas rurales más remotas se caracterizan por sus terrenos usualmente llanos con niveles de vegetación moderados, hidrografía media y pocos habitantes. Sus entornos suburbanos pueden tener terrenos llanos o elevados con poca vegetación, hidrografía mínima y una mayor densidad poblacional.

Existen recomendaciones técnicas como la UIT-P que sugieren determinados modelos de propagación en su mayoría teóricos y semiempíricos para diversos entornos y tecnologías de comunicación. Estos modelos de predicción suelen ser bastante precisos para calcular las pérdidas por trayecto del enlace.

A pesar de que estos modelos son los más precisos, presentan inconvenientes al describir un entorno de condiciones específicas y reunir una mayor cantidad de variables. De manera que no son pocas las veces que se considera el uso de modelos empíricos y en ciertas ocasiones semiempíricos debido a su menor complejidad de cálculos y a una mayor flexibilidad de utilización en entornos aproximados.

Sin embargo, la precisión de estos modelos son menores, por lo que para reducir el error de pérdidas es necesario añadir factores de corrección y condiciones por tramos. Algunos de los modelos de propagación sugeridos para entornos rurales y suburbanos en la costa ecuatoriana son el COST-231, ECC-33 y el modelo SUI-extendido.

El modelo Hata COST-231 se utiliza para un rango de frecuencias de 1500-2000 Mhz [24], que en entornos suburbanos o rurales define las pérdidas de camino de la siguiente forma:

$$P_L(dB) = 46.3 + 10\gamma \log_{10}(d) + 33.9 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_b) - ah_m \quad (2.3)$$

$$\gamma = [44.9 - 6.55(\log_{10}(h_b))]/10 \quad (2.4)$$

$$ah_m = 0.8 + (1.1 \log_{10}(f) - 0.7)h_r - 1.56 \log_{10}(f) \quad (2.5)$$

Donde, d es la distancia en Km, f la frecuencia en MHz, γ el exponente de pérdidas por trayecto, ah_m el factor de atenuación por receptor, h_b la altura de la estación base y h_r la altura de la estación receptora, ambas en metros.

El modelo ECC-33 conocido también como Okumura-Hata extendido se utiliza en entornos suburbanos que considera las bandas celulares y rangos de frecuencia en el orden de los GHz [25]. Su formulación está dada por:

$$P_L(dB) = A_{fs} + A_{bm} - G_b - G_r \quad (2.6)$$

Donde, A_{fs} , A_{bm} , G_b y G_r son respectivamente las pérdidas de espacio libre, pérdida media de trayecto y los factores de ganancia por alturas de las estaciones base y receptora. Estas se definen individualmente a continuación:

$$A_{fs} = 92.45 + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (2.7)$$

$$A_{bm} = 20.41 + 9.83 \log_{10}(d) + 7.894 \log(f) + 9.56[\log_{10}(f)]^2 \quad (2.8)$$

$$G_b = \log_{10}(h_b/200) \{13.958 + 5.8[\log_{10}(d)]^2\} \quad (2.9)$$

Y para entornos de ciudad media:

$$G_r = [42.57 + 13.7 \log_{10}(f)][\log_{10}(h_r) - 0.585] \quad (2.10)$$

Donde, f es la frecuencia en GHz, d la distancia en Km, h_b y h_r las alturas de la estación base y receptora en metros.

Luego está el modelo semiempírico de Stanford University Interim (SUI), adecuado para WIMAX y BFWA [26], que presenta tres escenarios distintos para entornos marginales: categoría A para terrenos elevados con densidad moderada a alta de árboles, categoría B para ambientes elevados con escasa vegetación o terrenos llanos con mucha vegetación, y C para terrenos mayormente llanos con baja densidad de árboles.

Su modificación extendida considera frecuencias de 2 - 11 GHz y viene dada por:

$$P_L(dB) = \begin{cases} 92.45 + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) & d \leq d'_0 \\ A + 10\gamma \log_{10}(d/d_0) + \Delta L_{bf} + \Delta L_{bh} & d > d'_0 \end{cases} \quad (2.11)$$

$$A = 92.45 + 20 \log_{10}(d'_0) + 20 \log_{10}(f) \quad (2.12)$$

$$d'_0 = d_0 \cdot 10^{-\left(\frac{\Delta L_{bf} + \Delta L_{bh}}{10\gamma}\right)} \quad (2.13)$$

$$\gamma = a - b \cdot h_b + c/h_b \quad (2.14)$$

$$\Delta L_{bf} = 6 \log_{10}\left(\frac{f}{2000}\right) - 36 \quad (2.15)$$

$$\Delta L_{bh} = \begin{cases} -10 \log_{10}(h/3) & h \leq 3 \text{ m} \\ -20 \log_{10}(h/3) & h > 3 \text{ m} \end{cases} \quad (2.16)$$

Donde d es la distancia en metros, f la frecuencia en Hz, γ el exponente de pérdidas; a , b , y c las constantes de categoría del terreno, h_b la altura de la estación base, d_0 la distancia umbral de 100 metros, d'_0 la corrección de umbral en metros, ΔL_{bf} el factor de corrección de frecuencia y ΔL_{bh} el factor de corrección de altura del receptor.

Los coeficientes a, b, y c pueden determinarse a través de la Tabla 12 que se muestra a continuación:

Constante	Categoría A	Categoría B	Categoría C
a	4.6	4.0	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20.0

Tabla 12: Coeficientes de Propagación del Modelo SUI [26].

La tabla anterior indica cuales deben ser los coeficientes de propagación según el tipo de terreno. Una vez identificado, conociendo la altura de la antena receptora puede calcularse el exponente de pérdidas h_b .

Adicionalmente deben considerarse otras pérdidas por precipitaciones como la lluvia las cuales se hacen presentes principalmente en las estaciones de invierno. Mientras mayor sea la intensidad de la lluvia, mayores serán las pérdidas a causa de esta. La atenuación específica por lluvia se obtiene mediante la ley potencial definida como:

$$\gamma_R = k \cdot R^\alpha \quad (2.17)$$

Donde, γ_R es la atenuación específica en dB/Km, R es la intensidad de la lluvia en mm/h, y k junto con α son los coeficientes de polarización determinados en función de la frecuencia a partir de las ecuaciones propuestas por la recomendación UIT-R P.838 [27].

Esta normativa presenta una complejidad que requiere de cálculos extensos, por lo cual se sugiere recurrir al método de interpolación logarítmica (Ver Ecuación 2.18), para obtener los valores aproximados de atenuación por lluvia de forma gráfica (Ver Figura 2.4) [28].

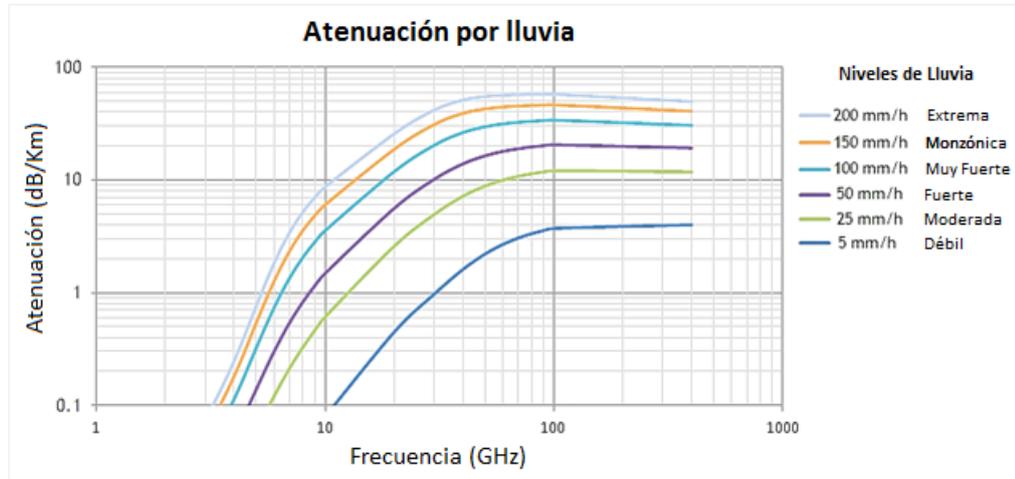


Figura 2.4: Atenuación Específica por Lluvia en Función de la Frecuencia [28].

Puede notarse en la Figura 2.5 que mientras más fuerte sea la lluvia, mayor es la atenuación agregada a la señal transmitida. En Ecuador las lluvias más fuertes según la normativa mencionada [27], están en el rango de 50 – 100 mm/h. Sus valores de atenuación específica se obtienen interpolando las curvas respectivas con las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\log_{10}(F_f) - \log_{10}(F_0)}{L_{Fdf} - L_{Fd0}} = \frac{\log_{10}(F_x) - \log_{10}(F_0)}{L_{Fdx} - L_{Fd0}} \quad (2.18)$$

Donde F_f y F_0 representan la década logarítmica referencial con sus distancias L_{Fdf} y L_{Fd0} en cm, F_x La frecuencia de estudio y L_{Fdx} su distancia en cm.

Luego:

$$\frac{\log_{10}(A_f) - \log_{10}(A_0)}{L_{Adf} - L_{Ad0}} = \frac{\log_{10}(A_x) - \log_{10}(A_0)}{L_{Adx} - L_{Ad0}} \quad (2.19)$$

Donde A_f y A_0 representan la década logarítmica referencial con sus distancias L_{Adf} y L_{Ad0} en cm, A_x la atenuación de estudio y L_{Adx} su distancia en cm.

En la figura 2.5 se ilustra el procedimiento gráfico para calcular las atenuaciones.

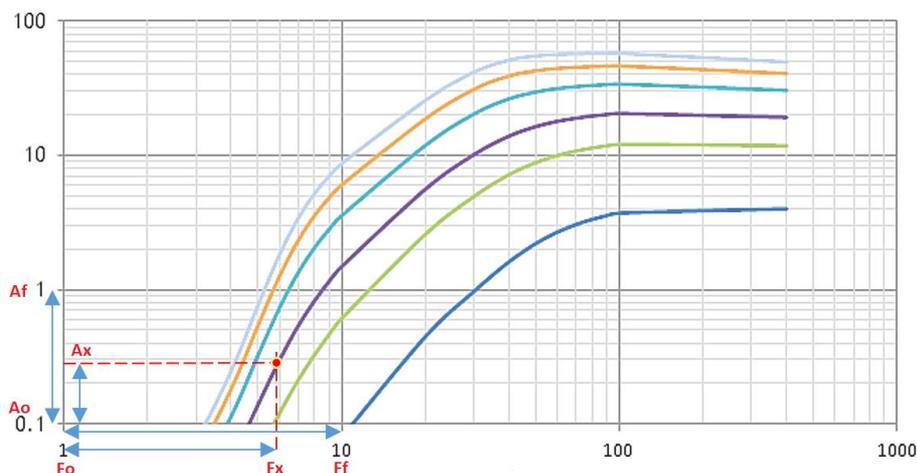


Figura 2.5: Método Gráfico de Interpolación Logarítmica para Cálculo de Atenuación por Lluvia [28].

Puede apreciarse en la Figura 2.5 que mediante la ecuación 2.18 se obtiene la componente del eje de frecuencia L_{Fdx} y se traza una recta perpendicular para intersectar la curva correspondiente al tipo de lluvia. Posteriormente se traza la recta perpendicular que corte al eje de atenuación para obtener L_{Adx} , y a través de la ecuación 2.19 determinar la atenuación específica A_x .

2.5 Marco Regulatorio

Es de vital importancia considerar los aspectos legales y regulatorios que involucra el despliegue de una red de servicios de telecomunicaciones. Por ello es necesario cumplir con la normativa establecida por la ARCOTEL, que es el ente regulador en el Ecuador encargado de otorgar la concesión de servicios y licencias.

Este determina los parámetros de una correcta operación de servicios como licencia, frecuencia, ancho de banda, potencia de transmisión y ubicación geográfica. Los cuales además conceden privilegios a los prestadores de servicios para operar óptimamente en determinadas bandas espectrales.

El Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador establece que el rango de 5.650 a 5.850 GHz constituye una de las bandas no licenciadas del espectro radioeléctrico [29], lo que resulta favorable para el desarrollo de aplicaciones BFWA al no requerir una concesión de frecuencias para su operación.

Los entornos rurales y suburbanos como Bajada de Chanduy suponen una completa disponibilidad de frecuencias sin interferencia alguna dentro de la banda mencionada debido su lejanía y bajo desarrollo tecnológico. Sin embargo, debe verificarse mediante un previo análisis espectral del sector para garantizar el funcionamiento adecuado de enlaces de radio en el despliegue de la red.

Normalmente este tipo de sectores no suelen considerarse en proyectos de inversión ya que no representan una población significativa que genere ingresos a los proveedores de telecomunicaciones.

No obstante, conforme a la normativa del artículo 92 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones del Ecuador [1], se exige la contribución trimestral de los prestadores de servicios de telecomunicaciones con el 1% de sus ingresos facturados a la ARCOTEL.

Estos pueden reducir la proporción declarando al FODETEL la implementación de nuevos proyectos en zonas rurales o urbano-marginales. De esta manera se consigue la oportunidad de Inversión de la red de servicios de telefonía fija e internet en la Comuna Bajada de Chanduy.

CAPÍTULO 3

3. ESTUDIO DE CAMPO Y DISEÑO DE LA RED DE ACCESO

4.1 Definición del Sector de Análisis

3.1.1 Descripción Geográfica y Demográfica

Bajada de Chanduy es una comuna marginal que se encuentra localizada al suroeste de la provincia del Guayas. Para acceder a la localidad se requiere ingresar al recinto Cerecita (Vía a la Costa) y tomar un desvío del lado derecho de la ruta Guayaquil – Santa Elena.

El nombre de Bajada se le atribuye por la ubicación geográfica y Chanduy por conformar parte de la Parroquia Chanduy [30]. Cuenta con una junta creada el 10 de Julio en el año de 1937. Con alrededor de 410 viviendas, su población es de aproximadamente 2000 habitantes liderados por el Sr. Ismael Villón, Presidente de la junta.

La localidad se extiende entre $2^{\circ}18'40.3''S$, $80^{\circ}17'08.7''O$ y $2^{\circ}18'14.0'' S$, $80^{\circ}17'12.3''O$ como puede observarse a continuación en la Figura 3.1.

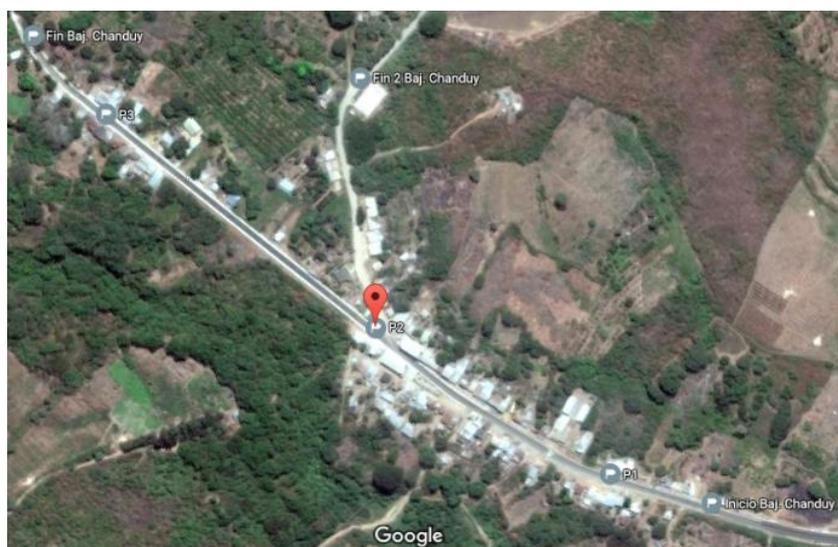


Figura 3.1: Mapa Geográfico de la Comuna Bajada de Chanduy.

Puede apreciarse en la Figura 3.1 que se marcaron 6 coordenadas: 3 para establecer los límites geográficos y 3 para situar los puntos donde se realizaron mediciones espectrales. Nótese que existe además un desvío derecho que lleva hacia la comuna de Aguas Verdes que se indica en el mapa general de la Figura 1.3.

3.1.2 Conectividad en el Recinto Bajada de Chanduy

En la comuna de Bajada de Chanduy existen limitaciones de conectividad en los servicios de telecomunicaciones, especialmente Telefonía fija e internet.

El servicio de telefonía convencional no existe en la comuna, ni siquiera armarios o redes de acometida cercanas. Para lograr comunicarse se requiere del servicio de telefonía móvil, pero su cobertura se extiende con muy bajos niveles de recepción y alta intermitencia obligando a los usuarios salir afuera de sus domicilios para realizar las llamadas.

El acceso a internet es limitado en la Bajada de Chanduy. Este tampoco ha sido potenciado ya que solo una mínima cantidad de habitantes disponen del servicio. La calidad ofrecida es incierta y los proveedores no han mostrado interés alguno en mejorar esta problemática o crear más puntos de acceso para la localidad.

3.1.3 Encuesta Demográfica

El motivo por el cual se efectuaron las visitas y encuestas es para conocer los requerimientos de conectividad y promover la mejor solución inalámbrica de servicios de telefonía fija e internet en el sector.

Se tomó una muestra aleatoria de 25 familias, de las cuales el 100% aseguró no contar con STF y considera que este servicio y el acceso a Internet son indispensables para el desarrollo de sus actividades. Algunos mencionaron contar con servicios de telefonía móvil aunque de muy baja calidad, y otros pocos el acceso a internet. Además indicaron ser capaces de pagar entre \$20,00 y \$30,00 por ambos servicios simultaneos.

Los resultados del experimento estadístico realizado sobre la conectividad de Bajada de Chanduy se muestran en la Figura 3.2.

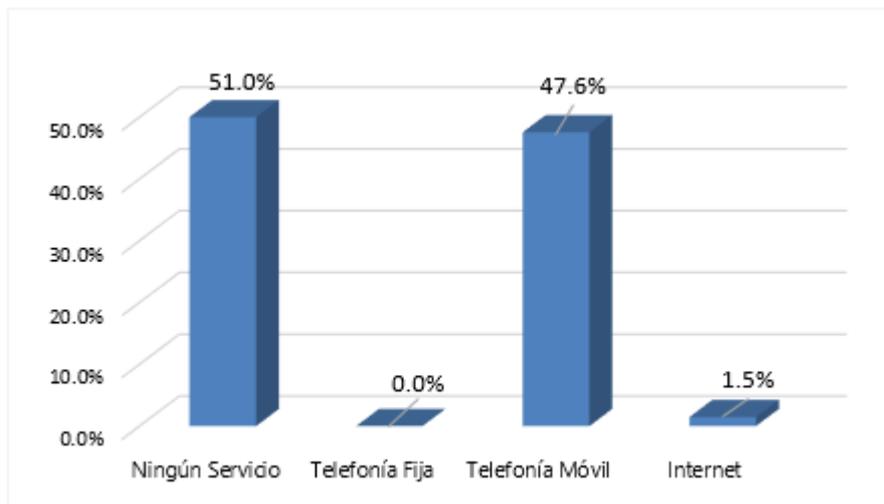


Figura 3.2: Conectividad Disponible en Bajada de Chanduy.

Esta figura ilustra que el 51.0% de habitantes no posee conectividad alguna, un 1.5% cuenta con acceso a Internet y un 47.6% dispone de telefonía móvil cuyo servicio recibido es pobre. Sin embargo esta cifra respalda la necesidad de los habitantes de contar con algún servicio de telefonía.

3.2 Disponibilidad Espectral de Bandas BFWA del Recinto Bajada de Chanduy

Con el fin de evidenciar la disponibilidad de las bandas libres BFWA en el sector, se realizaron mediciones espectrales con módulos de radiofrecuencia CANOPY de Cambium Networks en tres puntos estratégicos para cubrir la mayor parte de la comuna. Para lograr esto se utilizaron los siguientes dispositivos:

- Computadora Portátil.
- 2 cables de Red Ethernet 10/100.
- Inversor de Corriente DC/AC para automóvil.
- Módulo Suscriptor de Radiofrecuencia 5760SM.
- Punto de Acceso de Radiofrecuencia 5750AP.

En la Figura 3.3 se muestra una imagen de los equipos de radiofrecuencia utilizados.



Figura 3.3: Equipos CANOPY 5760SM y 5750AP.

Cuando un canal de frecuencias está ocupado quiere decir que existe radiación electromagnética significativa. Por tanto, si dicha radiación pertenece a un sistema de transmisión, entonces debe elegirse otra banda que este vacía para no generar interferencias mutuas. Su comportamiento espectral se describe de manera similar como se presenta en la Figura 3.4.

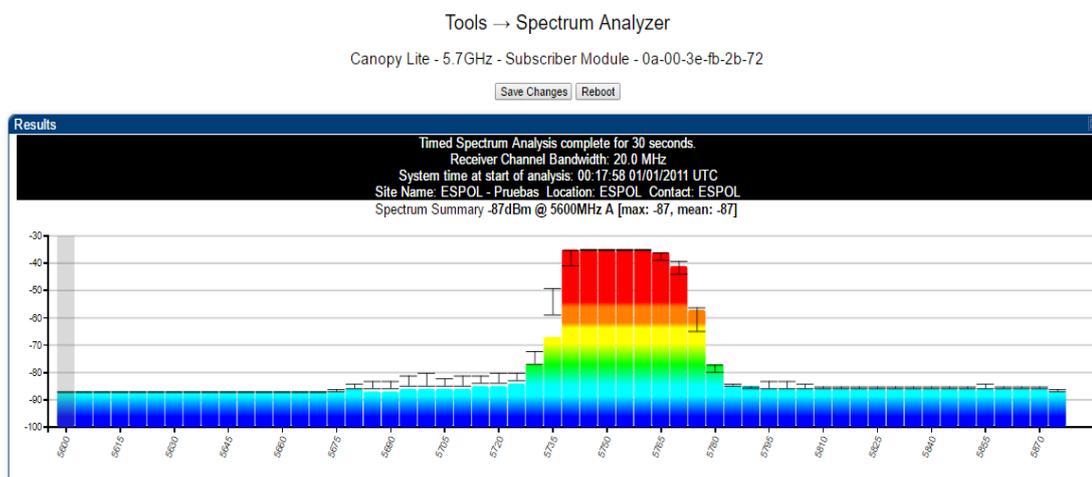


Figura 3.4: Espectro de una Señal BFWA de 20 MHz.

El espectro que se muestra en la Figura 3.4 corresponde al enlace entre los dos equipos de radiofrecuencia utilizados (Figura 3.3). El color rojo indica el mayor nivel de potencia de la señal (-35 dBm), el celeste una potencia mínima (-85 dBm) y el azul representa la potencia del ruido presente en el ambiente (-87 dBm).

Si la banda BFWA estuviera ocupada se observarían características espectrales similares a las que se ilustran en la Figura 3.4. Por tanto, es conveniente que en la Comuna Bajada de Chanduy no exista radiación alguna, es decir, se observen únicamente tonos de color azul.

Dado que la apertura de radio es de 60° , se efectuaron 6 mediciones para cumplir una cobertura de 360° en cada punto. En la Figura 3.5 se muestran algunas capturas del proceso de medición espectral en el sector.

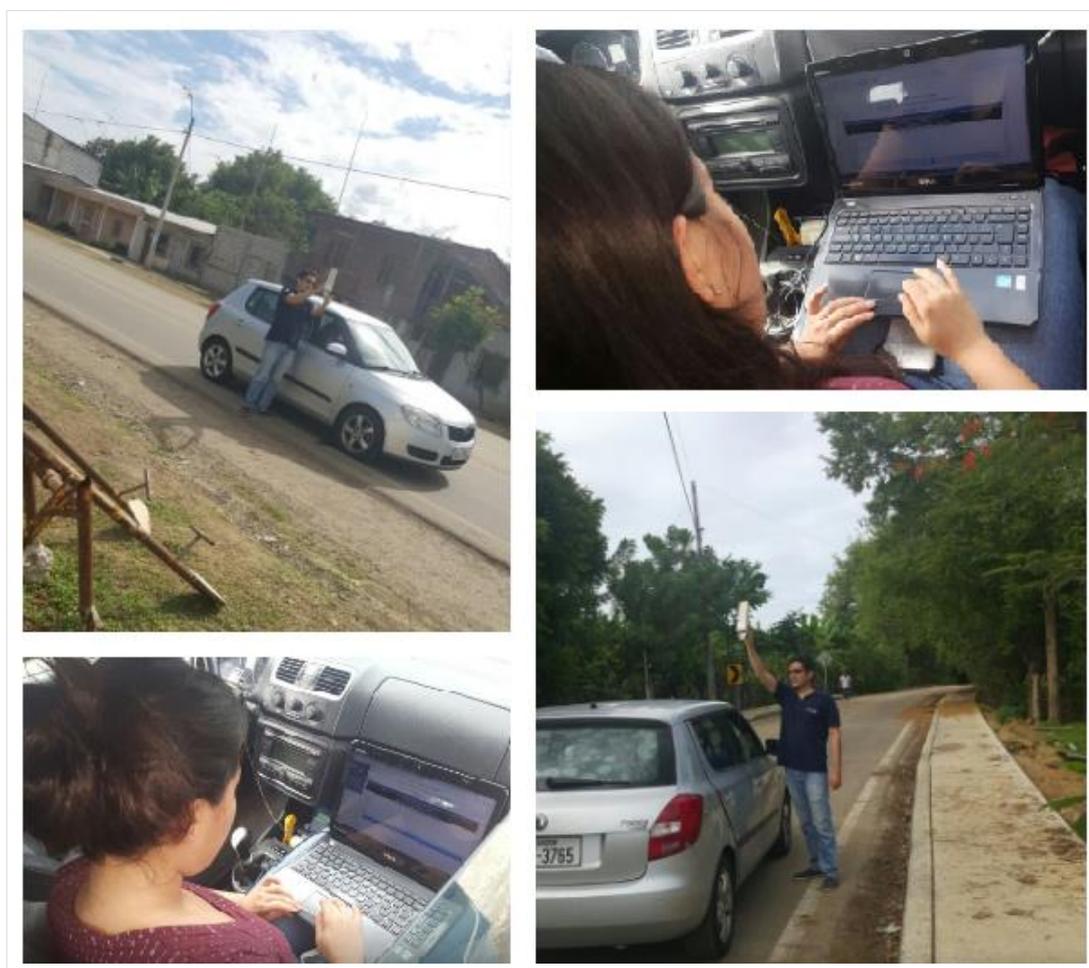


Figura 3.5: Trabajo de Campo y Mediciones Espectrales.

Como puede apreciarse en la Figura 3.5, en cada uno de los puntos estratégicos se realizaron las correspondientes mediciones espectrales de la banda BFWA y 2.4 GHz. El equipo utilizado fue el módulo 5760SM, energizado con la batería del

automóvil mediante un inversor de voltaje DC/AC y conectado a la computadora portátil para el respectivo análisis por software.

A continuación, en la Figura 3.6 y tabla 3.1 se muestran las coordenadas de los puntos mencionados y sus correspondientes mediciones espectrales en la banda de 5.8 GHz.



Figura 3.6: Mapa de Coordenadas de Puntos de Mediciones Espectrales.

En esta ilustración puede notarse que los puntos P1, P2 y P3 fueron situados a lo largo del poblado equidistantemente. Sobre estos, se realizaron 6 mediciones angulares de 60° para evaluar la disponibilidad espectral en los alrededores del sector. Las coordenadas pueden observarse en la Tabla 13.

Punto	Coordenadas	
1	2°18'37.3"S	80°17'10.2"O
2	2°18'28.6"S	80°17'11.8"O
3	2°18'17.5"S	80°17'12.6"O

Tabla 13: Coordenadas Geográficas de Puntos de Mediciones Espectrales.

Cada una de las coordenadas que muestra la Tabla 13 fue ubicada de tal manera que los radios de las mediciones espectrales abarquen proporcionalmente toda la zona del sector rural. Este procedimiento debe repetirse en los próximos estudios que se realicen en las comunidades vecinas de Aguas Verdes y Pocito (Ver Figura 1.3).

A continuación se presentan las mediciones espectrales realizadas en cada uno de los puntos propuestos. Estas fueron capturadas con el software integrado de los equipos de radiofrecuencia mencionados.

3.2.1 Primer Punto de Medición Espectral

En el primer punto estratégico se realizaron 6 mediciones a diferentes ángulos: 0°, 60°, 120°, 180°, 240° y 300° de azimut, las cuales se muestran a continuación:

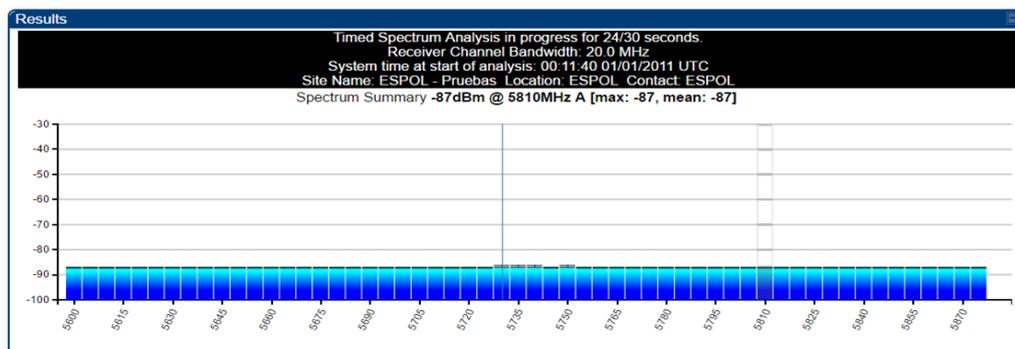


Figura 3.7: Análisis Espectral del Primer Punto a 0° de Azimut.

Obsérvese que a 0° de azimut, la disponibilidad espectral mostrada por la Figura 3.6 es completa. No existe influencia alguna del ruido del ambiente, permitiendo un buen enlace en dicha dirección.

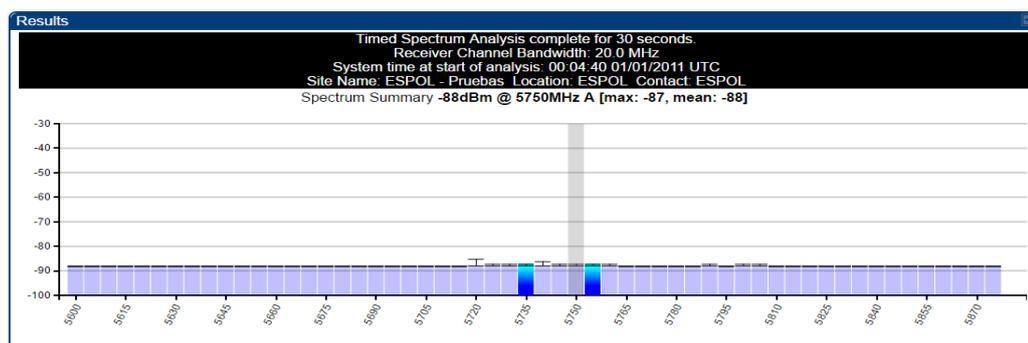


Figura 3.8: Análisis Espectral del Primer Punto a 60° de Azimut.

En el análisis espectral realizado a 60° de azimut, que se presenta en la Figura 3.8 puede notarse que los canales de frecuencia fuera de 5.735 GHz y 5.755 GHz tienen un tono más débil; esto se debe a un ligero inconveniente aleatorio ocurrido durante la medición. El enlace puede establecerse en problemas de interferencia.

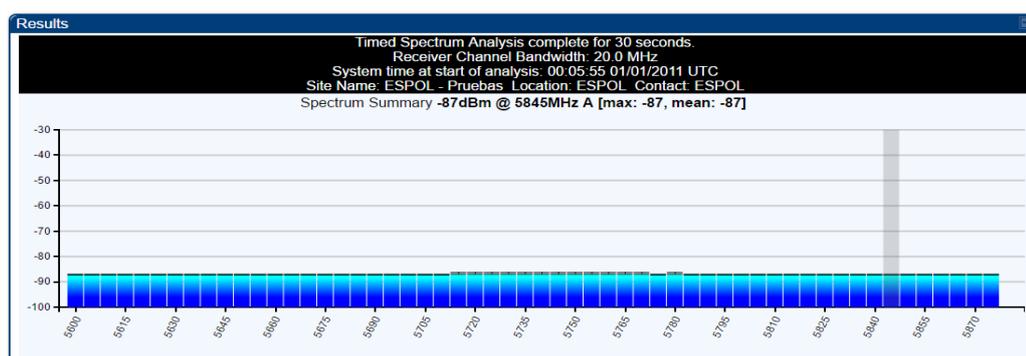


Figura 3.9: Análisis Espectral del Primer Punto a 120° de Azimut.

Con 120° de orientación en el primer punto, la Figura 3.9 muestra un espectro vacío similar al de la Figura 3.7. Puede establecerse un enlace sin experimentar interferencia del ruido ambiental.

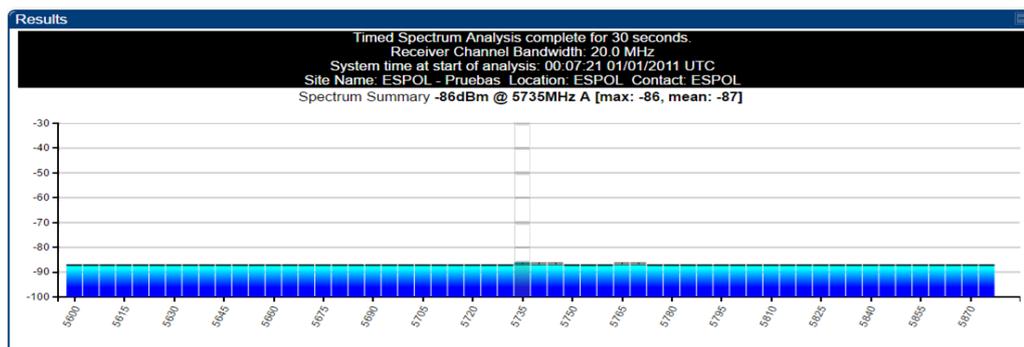


Figura 3.10: Análisis Espectral del Primer Punto a 180° de Azimut.

La medición espectral ilustrada en la Figura 3.10 presenta una total disponibilidad de frecuencias en la banda de 5.6 – 5.875 GHz. Lo que indica que a 180 ° puede establecerse un excelente enlace de radio BFWA.

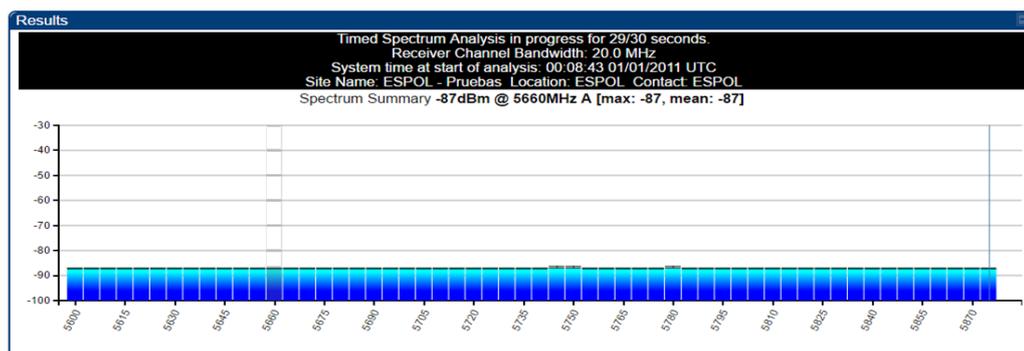


Figura 3.11: Análisis Espectral del Primer Punto a 240° de Azimut.

Puede verificarse en la Figura 3.11 que a un ángulo de 240° se dispone totalmente del espectro radioeléctrico. La contribución del ruido del ambiente es mínima, lo que garantiza el establecimiento de un enlace de radio sin interferencias en dicha dirección angular.

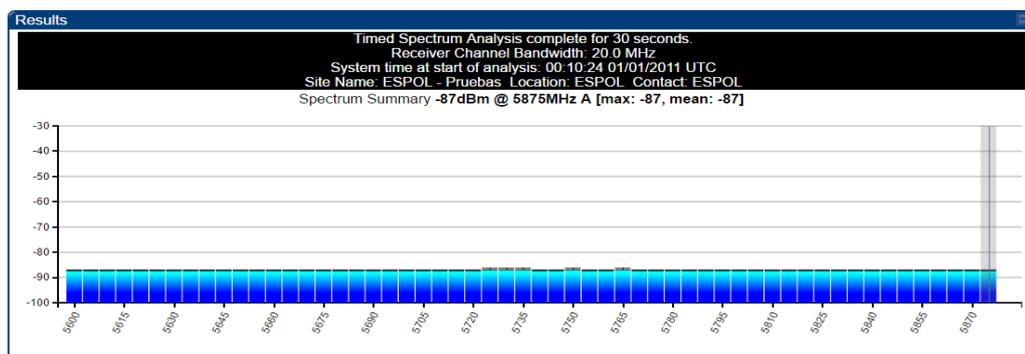


Figura 3.12: Análisis Espectral del Primer Punto a 300° de Azimut.

Tal como lo muestra la Figura 3.12, la disponibilidad espectral es completa, sin ninguna intervención del ruido. Esto hace posible establecer un buen enlace sin interferencias que provoquen algún detrimento de la señal de radio a un ángulo azimutal de 300°.

3.2.2 Segundo Punto de Medición Espectral

En el segundo punto estratégico también se realizaron 6 mediciones en las mismas orientaciones: 0°, 60°, 120°, 180°, 240° y 300° de azimut. Estas se presentan en las subsiguientes figuras:

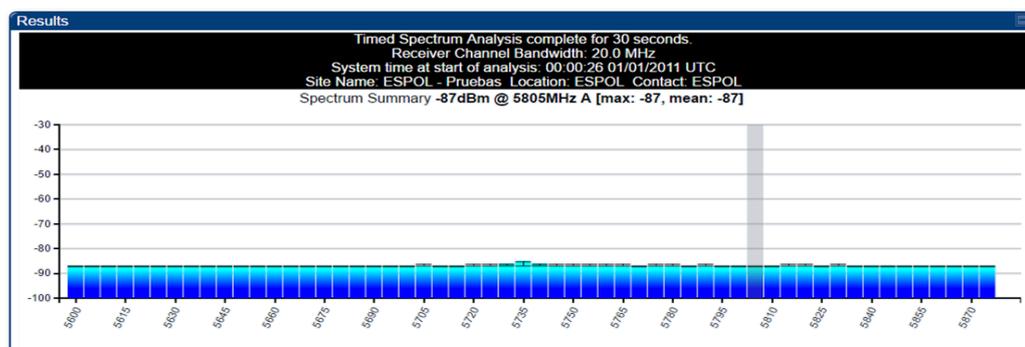


Figura 3.13: Análisis Espectral del Segundo Punto a 0° de Azimut.

Como puede verse en esta figura, la banda de 5.6 – 5.87 GHz no muestra interacción de ninguna señal de radiofrecuencia a un ángulo de 0° azimutales. Es decir, solo existe una contribución del piso de ruido ambiental, cuyo máximo valor es de -87 dBm, magnitud que no impide establecer un buen enlace de radio.

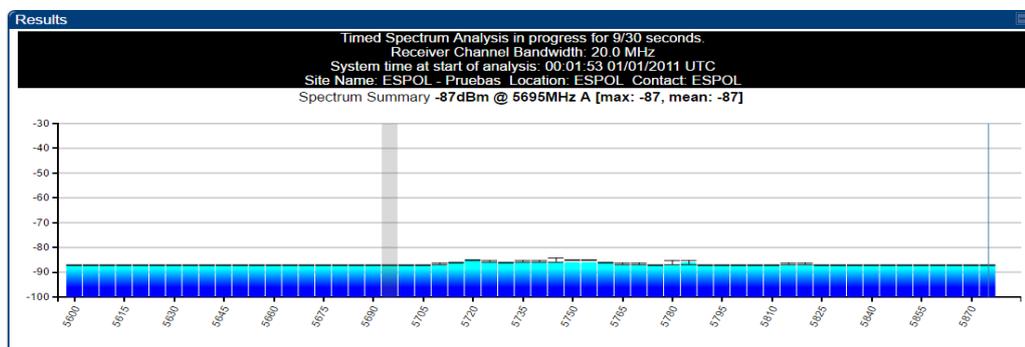


Figura 3.14: Análisis Espectral del Segundo Punto a 60° de Azimut.

A un azimut de 60° puede observarse claramente en la Figura 3.14 que alrededor de 5.71 y 5.77 GHz existe una pequeña contribución de potencia de -85 dBm aproximadamente. Esta magnitud es aún insignificante para suponer interferencia notable.

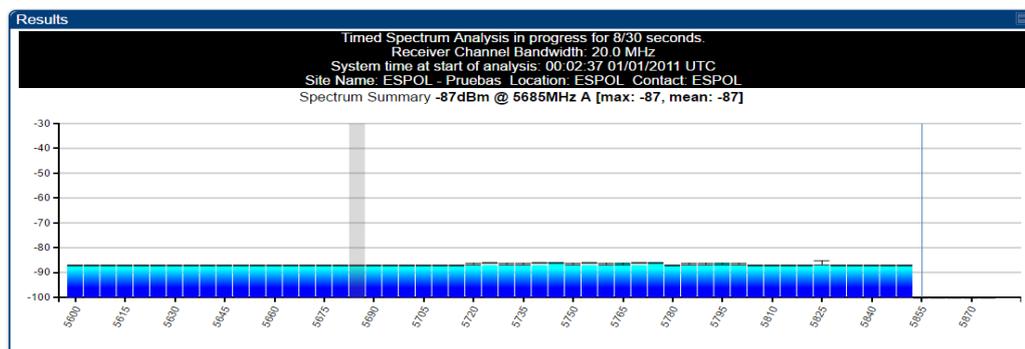


Figura 3.15: Análisis Espectral del Segundo Punto a 120° de Azimut.

A un ángulo de 120° el espectro mostrado en la Figura 3.15 vuelve a repetir un patrón similar a la Figura 3.13, donde la máxima contribución de potencia del piso de ruido es de -86 dBm.

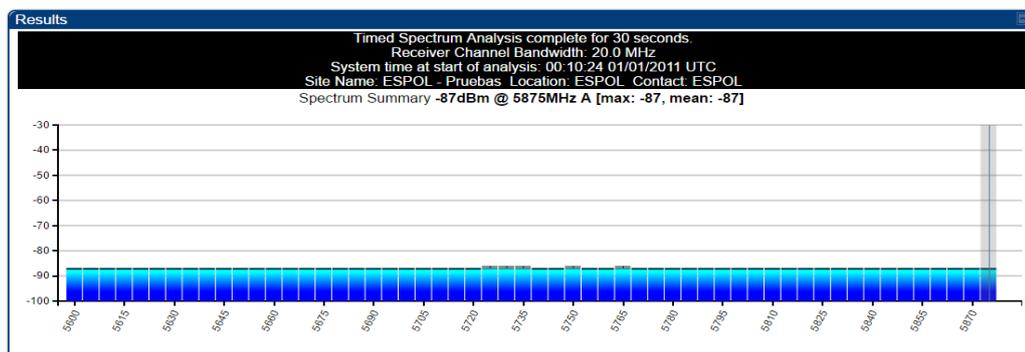


Figura 3.16: Análisis Espectral del Segundo Punto a 180° de Azimut.

En una orientación de 180° azimutales, la Figura 3.16 muestra una completa disponibilidad espectral, similar a la Figura 3.13. Manteniéndose un piso de ruido de -87 dBm.

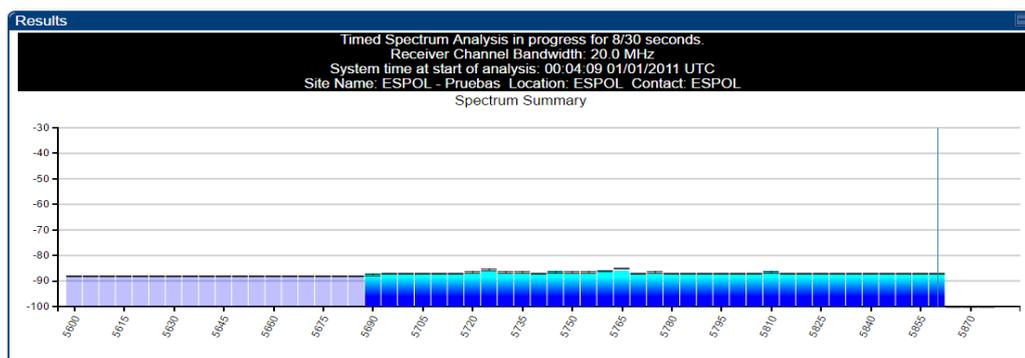


Figura 3.17: Análisis Espectral del Segundo Punto a 240° de Azimut.

En esta figura pueden notarse tan solo dos insignificantes contribuciones de potencia cerca de -86 dBm en 5.25 GHz y -85 dBm en 5.765 GHz. Esto muestra que a 240° de azimut aún existe disponibilidad espectral.

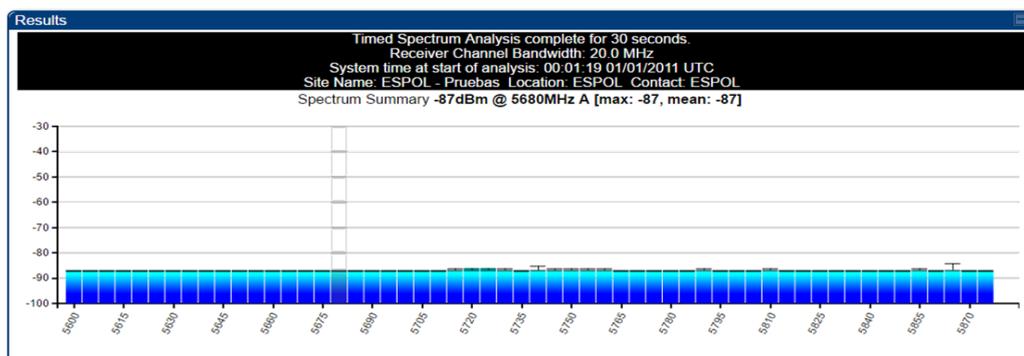


Figura 3.18: Análisis Espectral del Segundo Punto a 300° de Azimut.

La Figura 3.18 presenta una disponibilidad espectral similar a la Figura 3.14, donde no existe ningún tipo de interferencia ocasionada por el ruido del ambiente.

3.2.3 Tercer Punto de Medición Espectral

Al igual que en los casos anteriores, en el tercer punto estratégico se realizaron 6 mediciones espectrales en los siguientes ángulos: 0°, 60°, 120°, 180°, 240° y 300° de azimut. Estas pueden analizarse en las siguientes figuras:

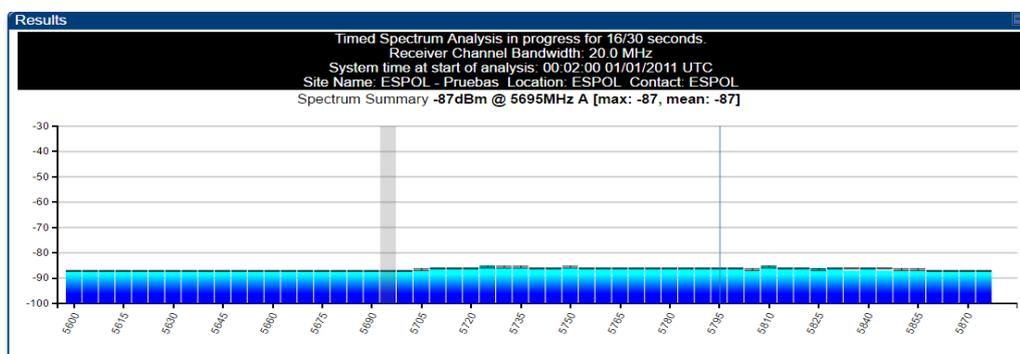


Figura 3.19: Análisis Espectral del Tercer punto a 0° de Azimut.

A un ángulo de 0° la medición espectral mostrada en la Figura 3.19 presenta una completa disponibilidad de frecuencias. Las contribuciones de ruido son mínimas, -86 dBm aproximadamente, pero no representan interferencia significativa para el enlace de radio.

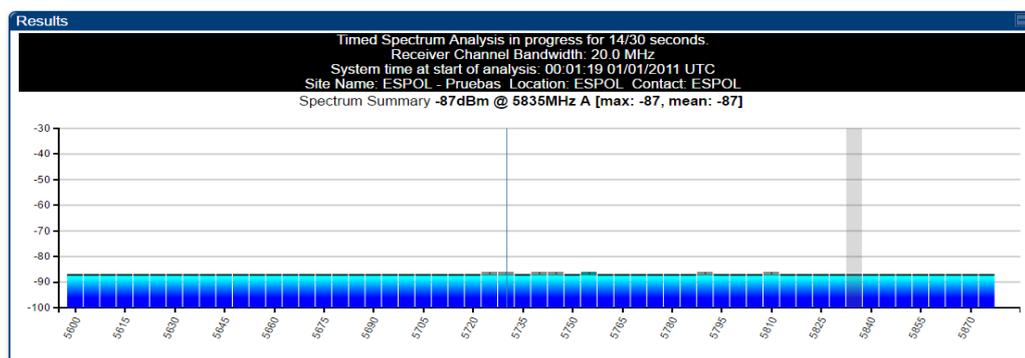


Figura 3.20: Análisis Espectral del Tercer Punto a 60° de Azimut.

Con una orientación de 60°, en la Figura 3.20 se descubre un espacio libre de frecuencias en el rango de 5.6 – 5.875 GHz. Lo que permite establecer un radioenlace de buenas características sin interferencia alguna.

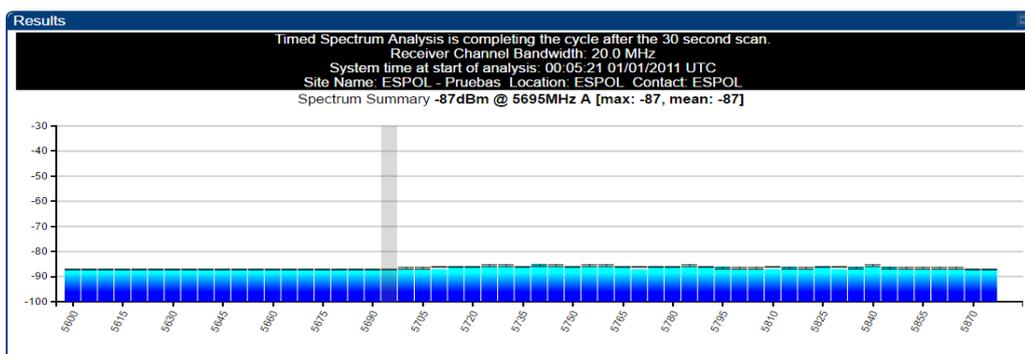


Figura 3.21: Análisis Espectral del Tercer Punto a 120° de Azimut.

Observando la Figura 3.21, existe cierta fluctuación de potencia de ruido originada en el rango de 5.7 – 5.865 GHz. Sin embargo, su magnitud máxima circunda alrededor de -86 dBm, poco significativo para ser considerado como posible interferencia para un enlace a 120°.

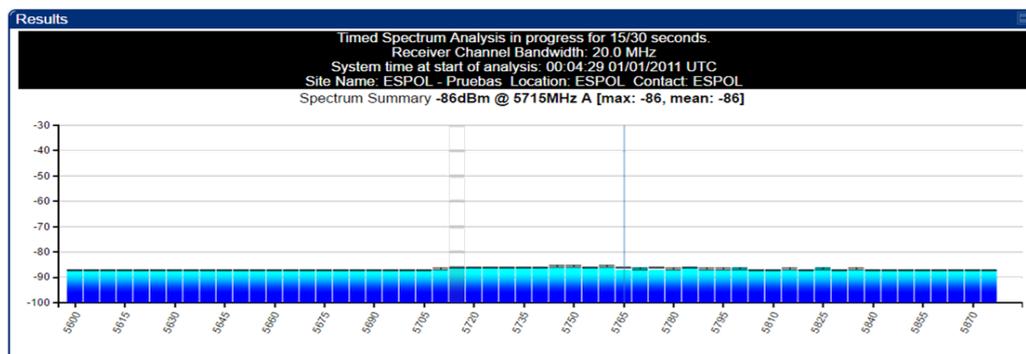


Figura 3.22: Análisis Espectral del Tercer Punto a 180° de Azimut.

En una orientación de 180°, puede observarse en la Figura 3.22 la presencia de una mínima potencia de ruido alrededor de 5.71 GHz y 5.84 GHz no mayor a -85 dBm. Tales condiciones no repercuten en el enlace de radio.

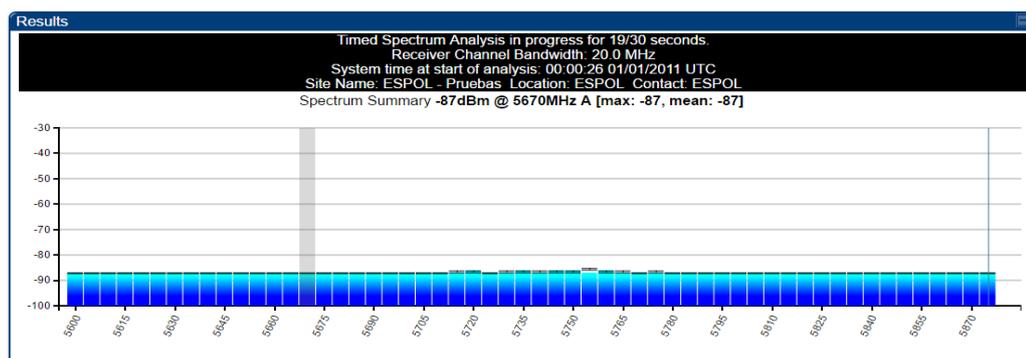


Figura 3.23: Análisis Espectral del Tercer Punto a 240° de Azimut.

En este caso, como se aprecia en la Figura 3.23, se observa la existencia de una leve contribución de ruido con niveles de potencia alrededor de -86 dBm en el rango de 5.71 – 5.75 GHz. No obstante, no influyen negativamente en una conexión inalámbrica a un azimut de 240°.

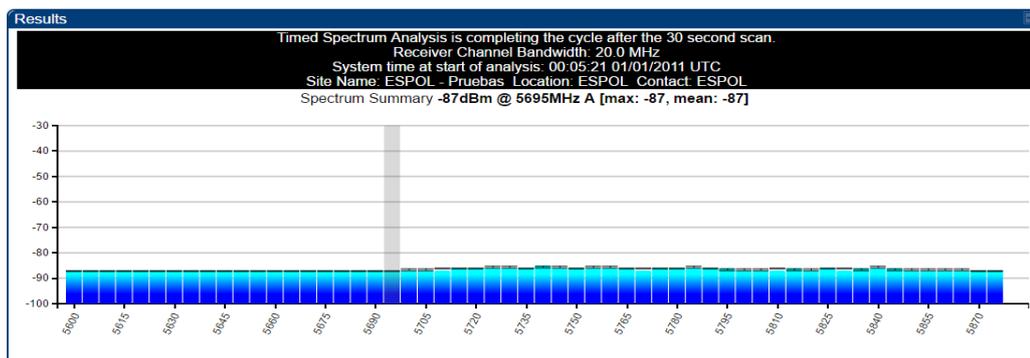


Figura 3.24: Análisis Espectral del Tercer Punto a 300° de Azimut.

Alrededor de 5.7 – 5.865 GHz fluctúan mínimas contribuciones del piso de ruido menores a -85 dBm. Esto significa que a un ángulo azimutal de 300° puede efectuarse un enlace de radio sin interferencias, tal como se muestra en la Figura 3.24.

Luego de observar cada una de las mediciones espectrales mostradas anteriormente, puede comprobarse en efecto que existe completa disponibilidad de la banda de frecuencias de 5.6 – 5.87 GHz para el despliegue de la red de servicios BFWA.

3.2.4 Pruebas de Recepción

Con el fin de comprobar la correcta operación del punto de acceso y los módulos suscriptores, se realizaron pruebas preliminares de alineación y nivel de recepción utilizando los equipos CANOPY mencionados con anterioridad.

Se habilitó el módulo 5750AP como punto de acceso ubicándolo en el punto más alto del centro de Bajada de Chanduy; y el módulo 5760SM como suscriptor, el cual se localizó en 4 distancias aproximadas de 20, 30, 60 y 100 metros para constatar la existencia línea de vista y calidad del enlace entre el punto de acceso y módulos suscriptores.

En la Figura 3.24 se presenta el mapa con la disposición expuesta de los equipos de radiofrecuencia:



Figura 3.25: Distribución de Puntos para Pruebas de Recepción.

Los puntos fueron situados como se muestra en la Figura 3.25 debido a que la ubicación representa la mayor densidad poblacional del sector con la mayor cantidad de posibles obstáculos. Sus coordenadas pueden observarse en la siguiente Tabla 14:

Punto	Latitud (S)	Longitud (O)	Distancia
AP	2.307950	80.286660	-
S1	2.307980	80.286420	20.0 m
S2	2.308540	80.286520	30.0 m
S3	2.308240	80.286540	60.0 m
S4	2.308830	80.286500	100.0 m

Tabla 14: Coordenadas de los Puntos de Prueba de Recepción.

En esta tabla se describen los 5 puntos de estudio destinados a las pruebas de recepción; cada uno describe distintas coordenadas y distancias, donde la etiqueta AP representa el punto de acceso y las siguientes los módulos suscriptores.

A continuación, en las siguientes figuras pueden observarse los resultados de las pruebas de alineamiento y nivel de recepción; los cuales

están sujetos a cierta imprecisión humana en los procedimientos de medición.

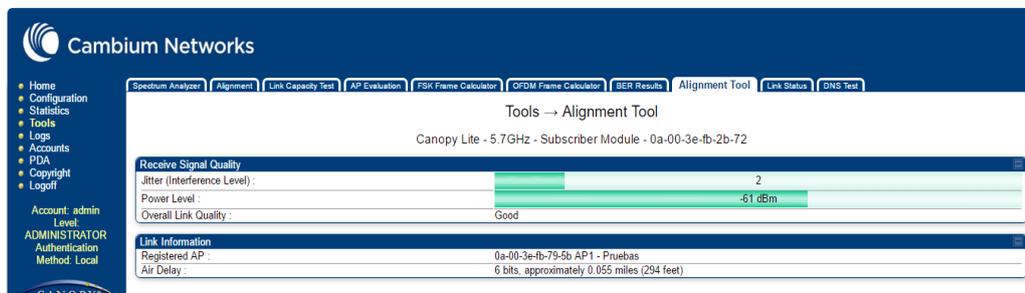


Figura 3.26: Alineamiento y Nivel de Recepción a 20 metros.

En una primera distancia de 20 metros del punto de acceso, la Figura 3.26 muestra un buen alineamiento y una potencia recibida de -41 dBm en el módulo suscriptor. Estos resultados garantizan una buena conectividad de servicios de banda ancha.

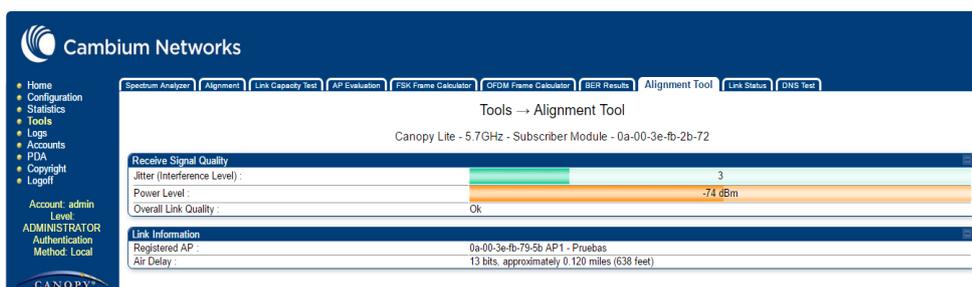


Figura 3.27: Alineamiento y Nivel de Recepción a 30 metros.

A 30 metros del punto de acceso, se observa en la Figura 3.27 un alineamiento aceptable que se refleja en la potencia recibida de -74 dBm en el módulo suscriptor. Aún a pesar de dichos resultados, las condiciones permiten establecer un enlace de radio de buenas cualidades.

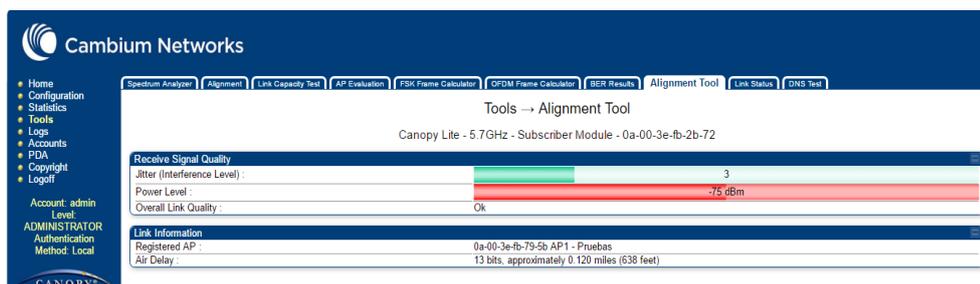


Figura 3.28: Alineamiento y Nivel de Recepción a 60 metros.

Puede apreciarse que los resultados mostrados por la Figura 3.28 no son los óptimos, ya que la potencia recibida de -75 dBm no es considerada buena. Sin embargo todavía puede establecerse un enlace BFWA de 60 metros con características parcialmente aceptables.

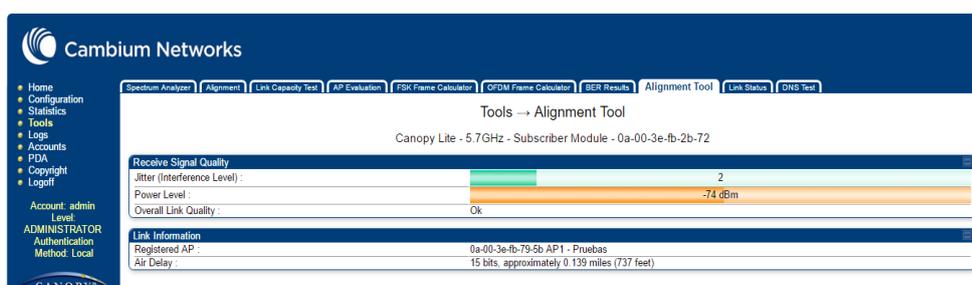


Figura 3.29: Alineamiento y Nivel de Recepción a 100 metros.

Los resultados mostrados por la Figura 3.29 indican que puede conseguirse un enlace de 100 metros con una buena conectividad a servicios de banda ancha, pues existe buen alineamiento y una potencia de recepción de -74 dBm.

Cabe señalar que los resultados obtenidos no determinan las condiciones de radiofrecuencia del enlace, ya que estas pueden mejorarse con las herramientas de precisión apropiadas para conseguir una excelente línea de vista y en consecuencia un nivel de recepción incluso superior a los -41 dBm que se indican en la Figura 3.25.

3.2.5 Análisis de la Banda ISM 2.4 GHz

Adicionalmente se inspeccionó la ocupación de la banda de 2.4 GHz para averiguar la disponibilidad de frecuencias utilizando la herramienta WiFi

Analyzer, de la que se observó la existencia de señales WiFi a lo largo del sector como lo indican las figuras siguientes:

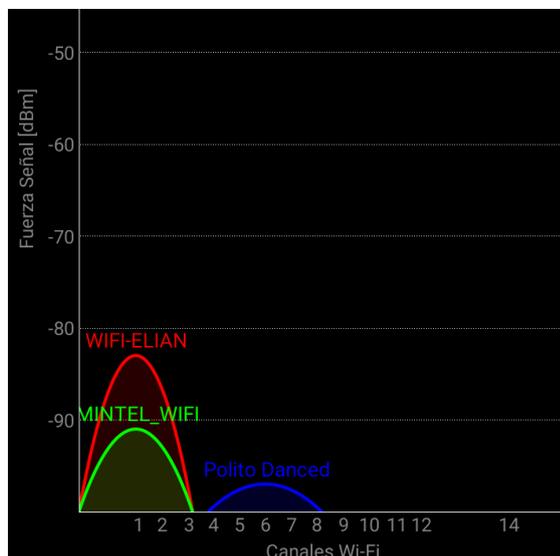


Figura 3.30: Canales WiFi 2.4GHz en el Primer Punto de Bajada de Chanduy.

En el primer punto del sector, como se muestra en la Figura 3.30, se aprecian 3 canales WiFi correspondientes a las pocas cuentas de Internet Fijo: dos usuarios en el canal 1; de los cuales uno pertenece al Ministerio de Telecomunicaciones (MINTEL); y otro suscriptor en el canal 6.

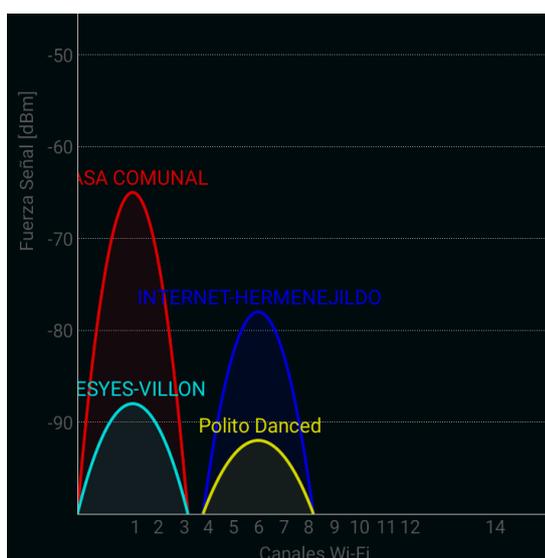


Figura 3.31: Canales WiFi de 2.4 GHz en el Centro de Bajada de Chanduy.

Puede observarse que en el centro del sector, como se ilustra en la Figura 3.31, existen 4 cuentas de internet fijo: dos cuentas en el canal 1 y otras dos en el canal 6; una de ellas existente también al inicio de la comuna.

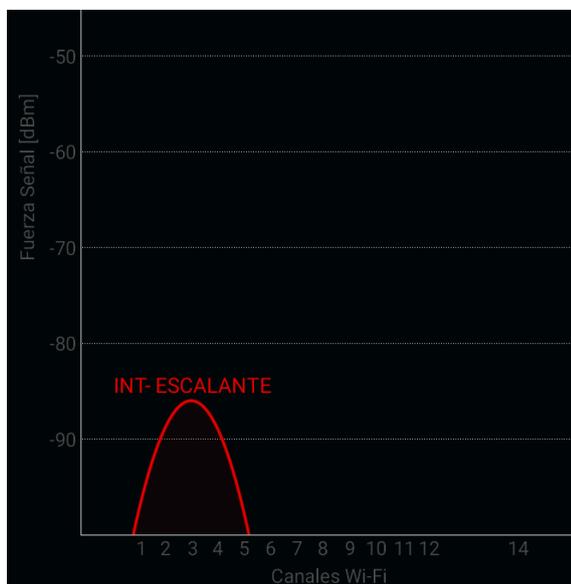


Figura 3.32: Canales WiFi de 2.4 GHz al Final de Bajada de Chanduy.

Por último se observa en la Figura 3.32 la existencia de una sola cuenta WiFi en el canal 3. Esto se debe a que en la parte final del sector hay una menor densidad poblacional.

Nótese que estas señales WiFi al estar en la banda de 2.4 Ghz no interfieren con la BFWA de 5.8 GHz. Únicamente deberán elegirse diferentes canales de 2.4 GHz para evitar futuras interferencias entre las redes domiciliarias que han de desplegarse con la implementación de este proyecto para brindar a los usuarios acceso a servicios de banda ancha.

3.3 Diseño de la Solución

3.3.1 Criterios de Diseño

Para diseñar el despliegue de la red de acceso local deben considerarse los siguientes criterios:

- Uso de herramientas de diseño
- Identificación del medio de propagación

- Selección de población estratégica
- Ubicación del punto de acceso
- Determinación de tecnología VoIP
- Asignación de ancho de banda por canal de suscriptor
- Selección de equipos de red y radiofrecuencia
- Esquema de nodo central
- Diseño del nodo de acceso
- Diseño de las redes domiciliarias
- Presupuesto de enlace
- Resultados de simulación.

3.3.2 Herramientas de Diseño

Para esta solución se escogieron dos herramientas muy útiles y convenientes para el diseño de la red de acceso local. La primera es Google Maps por su facilidad de observar imágenes del planeta tierra tomadas por satélite, identificar los límites de una población y definir zonas de cobertura.

La segunda es LINKPlanner de Cambium Networks, un software libre y versátil en la simulación de enlaces punto-multipunto. Permite realizar cálculos y análisis típicos de un presupuesto de enlace, integrando la gama de dispositivos de radio utilizados en este proyecto.

3.3.3 Identificación del Medio de Propagación

La Bajada de Chanduy es una pequeña comuna rodeada de árboles y varios tipos de vegetación. Sin embargo, más del 50% de las viviendas cuya altura oscila entre 3.5 – 5.5 m, se encuentra en el centro del pueblo, donde la densidad de vegetación es mucho menor y el terreno es prácticamente llano con una vía asfaltada principal que conecta con Cerecita.

De esta manera el entorno corresponde a una zona suburbana de fácil acceso donde el modelo de propagación que más se ajusta a las condiciones descritas es el SUI extendido de categoría C que se define en la ecuación 2.11.

3.3.4 Selección de Población Estratégica

De acuerdo con el presidente del comité, Ismael Villón y el análisis estadístico realizado (Ver Figura 3.2), los habitantes de la comuna Bajada de Chanduy necesitan de la provisión de telefonía fija e internet, hallándose totalmente dispuestos a pagar tarifas módicas menores a \$25.00 por servicios de buena calidad.

Por tanto ha de considerarse inicialmente aprovisionar de estos servicios de telecomunicaciones a los habitantes que viven en el centro del pueblo, donde hay mayor densidad poblacional y las características de propagación son mayormente favorables para el establecimiento de enlaces BFWA punto-multipunto.

En este estudio se segmentó la comuna en 3 regiones con la mayor cantidad de habitantes, donde la primera corresponde a la zona central del pueblo con la mayor densidad poblacional y las otras, a las zonas más alejadas y menos pobladas. En la figura 3.33 se muestran las zonas de cobertura de servicios.



Figura 3.33: Zonas de Mayor Población en Bajada de Chanduy.

La distribución poblacional presentada en la Figura 3.33 muestra 3 regiones sombreadas. El tono celeste indica la mayor densidad poblacional, y el tono verde la menor. La región 1 es aquella que representa el centro del sector y posee el mayor número de habitantes.

La distribución aproximada de habitantes en las regiones definidas se describe en la siguiente tabla:

Región	Familias/Viviendas	Proporción
1	240	58.5%
2	100	24.4%
3	70	17.1%
Total	410	100.0%

Tabla 15: Distribución Poblacional de Bajada de Chanduy.

Puede apreciarse en la Tabla 15 que la región 1 contiene cerca del 60% de familias, por lo que estas conforman la mayor población del sector que deberán ser cubiertas inicialmente. Una vez cubierta esta región, deberá cubrirse la región 2 y después la región 3.

El proceso de despliegue debe realizarse gradualmente, empezando con cubrir el 10 – 15% de familias, equivalentes a 50 equipos suscriptores.

Parte de la estrategia de mercado consiste en aprovechar la novedad de conectividad para atraer sistemáticamente la atención de los demás habitantes y aumentar progresivamente la demanda de servicios de banda ancha.

3.3.5 Ubicación del Punto de Acceso

Con el objetivo de proveer servicios de telefonía fija e internet, el punto de acceso ha de colocarse en una ubicación lo suficientemente alta y apropiada para cubrir la mayor parte de la región 1 de La Bajada de Chanduy.

Dicho sitio deberá constar de un cuarto de Rack con la seguridad apropiada para la instalación de los equipos de comunicación del nodo de acceso local. Esto permitirá su correcto funcionamiento en las condiciones necesarias, evitando el robo de equipos y así garantizar la disponibilidad y calidad del servicio.

Conociendo que la construcción más alta mide alrededor de 8 metros, dicho lugar será destinado para la instalación del punto de acceso. Afortunadamente, utilizando las herramientas de Google Maps y el software de simulación LINKPlanner se observó que tal ubicación permite extender efectivamente una cobertura en todo el sector utilizando 4 puntos de acceso (Ver Figura 3.34).

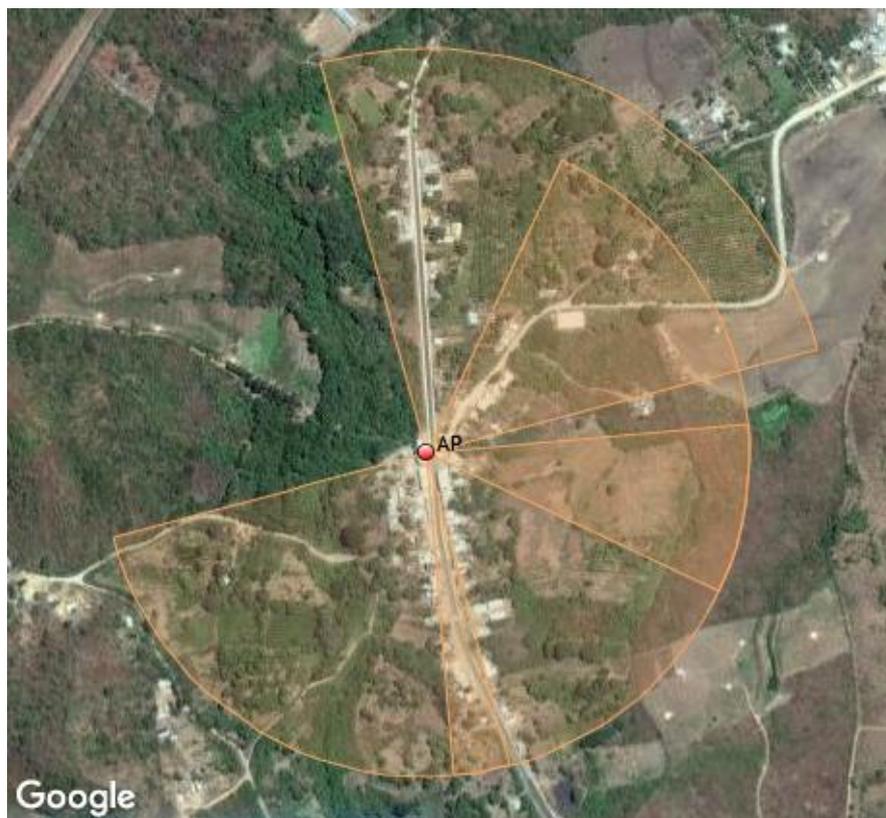


Figura 3.34: Cobertura de Red Inalámbrica en Bajada de Chanduy.

Puede apreciarse, tal como lo muestra la Figura 3.34, que las 3 regiones del sector son cubiertas completamente por los 4 puntos de acceso, pertenecientes a la gama ePMP 1000 de Cambium Networks, cuyas especificaciones se exponen más adelante.

A continuación, en la Tabla 16 se muestran las características de alineación necesarias para el despliegue de las 4 coberturas expuestas recientemente en la Figura 3.34.

Punto de Acceso	Latitud (S)	Longitud (O)	Altitud	Altura	Radio de Apertura	Azimuth	Elevación	Alcance
1	02.30797	80.28668	39.0 m	10 m	90.0°	210.0°	-1.5°	400.0 m
2	02.30797	80.28668	39.0 m	10 m	90.0°	130.0°	-1.5°	400.0 m
3	02.30797	80.28668	39.0 m	10 m	90.0°	30.0°	+2.0°	500.0 m
4	02.30797	80.28668	39.0 m	10 m	90.0°	70.0°	+3.0°	400.0 m

Tabla 16: Ubicación y Cobertura de Puntos de Acceso en Bajada de Chanduy.

Como es de esperarse, tras analizar la Tabla 16, se puede notar que los 4 puntos de acceso comparten las mismas coordenadas, altitud, altura y radio de apertura. Esto se debe a que se trata de los mismos equipos ubicados en un mismo sitio. Solamente varían en azimut, elevación y alcance, dependiendo de la región y alcance de cobertura necesario.

Por último, es importante recordar que deberá acordarse con el dueño de la vivienda un permiso de construcción sobre la terraza para la instalación del nodo de red y ofrecer en retribución gratuidad en el servicio de telefonía fija e internet.

3.3.6 Determinación de Tecnología VoIP

Una vez definidas las zonas a cubrir y la ubicación del punto de acceso, se procede a elegir la tecnología de voz sobre IP para el nuevo bucle local inalámbrico en el centro de La Bajada de Chanduy.

Dado que las centrales de telefonía IP en Ecuador trabajan bajo el protocolo SIP por su simplicidad frente a H.323, conviene elegirla en el diseño de la red local para evitar el uso de gateways SIP/H.323, facilitar los procesos de señalización y reducir la latencia durante la comunicación, permitiendo un despliegue de red más sencillo y además un ahorro económico para el proveedor de telefonía IP.

Si bien la utilización de los códecs de voz depende de la infraestructura ya establecida por el proveedor, la red de acceso local puede trabajar sin problemas con cualquiera de ambos, puesto que al tratarse de una LAN, posee gran flexibilidad y puede soportar grandes volúmenes de tráfico. Por lo que las cargas de datos expuestas tanto en la Tabla 2.4 como la Tabla 2.5 son mínimas para una capacidad de red mayor a 100 Mbps.

3.3.7 Dimensionamiento de la Capacidad de la Red

Considerando una cantidad inicial de 50 clientes para el servicio de telefonía e Internet, se procede a realizar los cálculos necesarios para el dimensionamiento y asignación de ancho de banda por cada uno de los suscriptores.

El mínimo ancho de banda requerido por usuario debe ser equivalente a las tasas de datos de planes básicos de internet fijo, que en Ecuador corresponden a 3.0, 5.0 y 10 Mbps de las que deben dedicarse un segmento exclusivo para el servicio de voz sobre IP.

Para definir el ancho de banda de voz en la red de acceso es necesario determinar el tráfico aproximado de llamadas en la red de suscriptores a partir de la ecuación 2.1.

El valor total estimado de la tasa de llamadas se obtiene del producto del valor típico de λ con la cantidad total de clientes del sector; que corresponde a 5 llamadas/hora para 50 clientes iniciales y 41 llamadas/hora para los 410 habitantes.

El número de circuitos necesarios para el tráfico total de voz sobre IP se lo obtiene utilizando la Tabla 9, y su ancho de banda requerido se determina en función del códec utilizado. Los resultados se muestran en la tabla 17.

N° Clientes	Tráfico [E]	N° Circuitos	Ancho de Banda VoIP [Mbps]	
			G.711	G.729
50	5	11	1.10	0.44
100	10	18	1.80	0.72
150	15	24	2.40	0.96
200	20	30	3.00	1.20
250	25	36	3.60	1.44
300	30	42	4.20	1.68
350	35	47	4.70	1.88
400	40	53	5.30	2.12
410	41	54	5.40	2.16

Tabla 17: Circuitos y ancho de banda VoIP requeridos durante hora pico.

Puede observarse que los resultados presentados en la Tabla 17 contrastan notablemente respecto a la Tabla 7 y la Tabla 8. Por lo que se demuestra el ahorro significativo de las técnicas de dimensionamiento en función del tráfico esperado.

A continuación, se presentan las tablas con los requerimientos netos de ancho de banda de voz y datos para los tres planes de Internet fijo:

Plan de Internet 3 Mbps - Compartición 8:1					
N° Clientes	Ancho de Banda Requerido [Mbps]				
	G.711		G.729		Total
	Voz	Datos	Voz	Datos	
50	1.10	17.65	0.44	18.31	18.75
100	1.80	35.70	0.72	36.78	37.50
150	2.40	53.85	0.96	55.29	56.25
200	3.00	72.00	1.20	73.80	75.00
250	3.60	90.15	1.44	92.31	93.75
300	4.20	108.30	1.68	110.82	112.50
350	4.70	126.55	1.88	129.37	131.25
400	5.30	144.70	2.12	147.88	150.00
410	5.40	148.35	2.16	151.59	153.75

Tabla 18: Requerimientos de ancho de banda para planes de 3 Mbps.

Puede notarse en la Tabla 18 que para planes de banda ancha de 3 Mbps únicos con una compartición 8:1 se requieren cerca de 154 Mbps disponibles durante la mayor concurrencia de usuarios. Los equipos de red en el nodo de acceso local deberán ser capaces de soportar dicha tasa de datos.

Plan de Internet 5 Mbps - Compartición 8:1					
N° Clientes	Ancho de Banda Requerido [Mbps]				
	G.711		G.729		Total
	Voz	Datos	Voz	Datos	
50	1.10	30.15	0.44	30.81	31.25
100	1.80	60.70	0.72	61.78	62.50
150	2.40	91.35	0.96	92.79	93.75
200	3.00	122.00	1.20	123.80	125.00
250	3.60	152.65	1.44	154.81	156.25
300	4.20	183.30	1.68	185.82	187.50
350	4.70	214.05	1.88	216.87	218.75
400	5.30	244.70	2.12	247.88	250.00
410	5.40	250.85	2.16	254.09	256.25

Tabla 19: Requerimientos de ancho de banda para planes de 5 Mbps.

Para planes de banda ancha de 5 Mbps únicos con una compartición 8:1, la Tabla 19 sugiere disponer de una capacidad de canal de al menos 256.25 Mbps durante la mayor concurrencia de usuarios. Los equipos de red en el nodo de acceso local deberán ser capaces de soportar dicha tasa de datos.

Plan de Internet 10 Mbps - Compartición 8:1					
N° Clientes	Ancho de Banda Requerido [Mbps]				
	G.711		G.729		Total
	Voz	Datos	Voz	Datos	
50	1.10	61.40	0.44	62.06	62.50
100	1.80	123.20	0.72	124.28	125.00
150	2.40	185.10	0.96	186.54	187.50
200	3.00	247.00	1.20	248.80	250.00
250	3.60	308.90	1.44	311.06	312.50
300	4.20	370.80	1.68	373.32	375.00
350	4.70	432.80	1.88	435.62	437.50
400	5.30	494.70	2.12	497.88	500.00
410	5.40	507.10	2.16	510.34	512.50

Tabla 20: Requerimientos de ancho de banda para planes de 10 Mbps.

Al apreciar la Tabla 20, puede observarse que para planes de banda ancha de 10 Mbps únicos con una compartición 8:1, la red de acceso local debe soportar al menos un tráfico de 512.5 Mbps durante la mayor concurrencia de usuarios. Es probable que se requieran mayores prestaciones de red para soportar dicha tasa de datos.

Cabe señalar que, para que estas tasas de datos sean alcanzadas debe definirse el rango de mínimo de esquemas de modulación y codificación tanto en los puntos de acceso como en los módulos suscriptores.

Considerando los planes de 10 Mbps, el índice MCS en los puntos de acceso 802.11n (de cada región de la comuna Bajada de Chanduy) debe ser de al menos 15 y en los suscriptores 0 – 1 para garantizar la disponibilidad de ancho de banda en la red de acceso. Las siguientes tablas muestran lo mencionado con mayor detalle.

Suscriptores			Red de Acceso Local		
Cantidad/ Región 1	Plan de Internet	MCS (Mín.)	Capacidad por AP	MCS (Req.)	AP
240	3.0 Mbps	3	45 Mbps	11	1, 2
	5.0 Mbps	4	75 Mbps	12	
	10.0 Mbps	7	150 Mbps	15	

Tabla 21: Esquemas de Modulación y Codificación en los Puntos de Acceso 1 y 2 de la Región 1 de Bajada de Chanduy.

En la región 1 del sector, como lo indica la Tabla 21, se necesitan 2 puntos de acceso, cada uno con capacidad de 150 Mbps para cubrir 120 familias. Esto se debe principalmente a que se requiere una mayor apertura de radio para cubrir a todas las familias de la región.

Suscriptores			Red de Acceso Local		
Cantidad/ Región 2	Plan de Internet	MCS (Mín.)	Capacidad por AP	MCS (Req.)	AP
100	3.0 Mbps	2	37.5 Mbps	10	3
	5.0 Mbps	4	62.5 Mbps	12	
	10.0 Mbps	7	125 Mbps	15	

Tabla 22: Esquemas de Modulación y Codificación en el Punto de Acceso 3 de la Región 2 de Bajada de Chanduy.

Para una cantidad de 100 familias en la región 2, como lo indica la Tabla 22, se requiere un punto de acceso con una capacidad mínima de 125 Mbps. De esta manera se asegura que los suscriptores de tal región cuenten con la disponibilidad de servicios de banda ancha.

Suscriptores			Red de Acceso Local		
Cantidad/ Región 3	Plan de Internet	MCS (Mín.)	Capacidad por AP	MCS (Req.)	AP
70	3.0 Mbps	2	26.25 Mbps	10	4
	5.0 Mbps	3	43.75 Mbps	11	
	10.0 Mbps	5	87.50 Mbps	13	

Tabla 23: Esquemas de Modulación y Codificación en el Punto de Acceso 4 de la Región 3 de Bajada de Chanduy.

En la tercera región del sector, la Tabla 23 indica que el respectivo punto de acceso debe tener al menos una capacidad de aproximadamente 90 Mbps. De esta forma se garantiza la conectividad de banda ancha en dicha región de Bajada de Chanduy.

3.3.8 Selección de Equipos de Comunicación

Para este escenario se consideraron 3 posibilidades de bajo costo en enlaces de radiofrecuencia: Ubiquiti Networks, MikroTik y Cambium Networks.

Ubiquiti es una de las líneas más conocidas cuyos productos son ampliamente distribuidos a nivel internacional. Ofrecen un buen rendimiento y un rápido despliegue de red especialmente de coberturas pequeñas.

MikroTik se especializa en equipos de comunicación de buen rendimiento con una excelente administración de red. Sus productos de radiofrecuencia son unos de los más económicos del mercado.

Por último, Cambium Networks con un mercado cada vez más grande se caracteriza por proveer equipos robustos y bastante personalizables de excelente rendimiento. Su fuerte son los enlaces de radiofrecuencia.

En la tabla 24 puede observarse una comparación de las marcas mencionadas en soluciones BFWA.

Ubiquiti Networks	MikroTik	Cambium Networks	
Airmax	SXT	PMP 450	ePMP 1000
Pequeña y gran escala	Pequeña y mediana escala	Mediana y gran Escala	Pequeña y gran escala
Airmax TDMA	nv2 TDMA	PMP 450 TDMA	ePMP 1000 TDMA
Compatibilidad 802.11	Compatibilidad 802.11	Compatibilidad 802.11	Compatibilidad 802.11
Orientado a CPE y Backhaul	Especializado en administración de Red	Especializado en CPE y Backhaul	Especializado en CPE y Backhaul
Mayor mercado	Amplio mercado	Amplio mercado en auge	Amplio mercado en auge
Compatibilidad con MikroTik	Compatibilidad con Ubiquiti	N/A	N/A
Despliegue Plug-&-Play	Mayor configuración	Configuración típica y media	Configuración típica y media
Mejor rendimiento	Buen rendimiento	Excelente rendimiento	Excelente Rendimiento
Smart QoS	Buen QoS	QoS personalizable	QoS personalizable
Bajo costo	Menor costo	Alto y medio costo	Medio y bajo costo

Tabla 24: Comparación de equipos BFWA Ubiquiti/MikroTik/Cambium.

Puede observarse de la Tabla 24 que la gama de equipos Ubiquiti Networks abarca la mayor parte del mercado en radiocomunicaciones. Sin embargo no posee las suficientes prestaciones que otorguen la mayor flexibilidad y configuración de las características de la red BFWA. Por lo que la línea de productos que más se adapta a los requerimientos de este proyecto es la gama low-cost ePMP 1000 de Cambium Networks.

La línea de productos ePMP 1000 de Cambium para enlaces de radiofrecuencia, a pesar de no ser la más económica, ofrece un mejor rendimiento, robustez, alcance y personalización de los equipos.

En la infraestructura de redes de datos, el proveedor puede elegir las líneas de productos más convenientes según su criterio, sin embargo, para esta solución BFWA de corto alcance se recomienda utilizar líneas de productos de gama media con muy buen desempeño como HP

Networks, Grandstream HT y TP-Link WR. En la tabla 25 se muestran los requerimientos con mayor detalle.

Cant.	Equipo	Características	Aplicación	Fabricante
1	ePMP 1000 Radio Conectorizado	+150 Mbps -17 a +30 dBm OFDM/5 GHz	1 enlace PMP 5.8 GHz	Cambium Networks
1	ePMP Antena Sectorial	18 dBi/90-120° 5 GHz	1 enlace PMP 5.8 GHz	Cambium Networks
2	ePMP 1000 FORCE 200 Radio Integrado	+200 Mbps -15 a +30 dBm 25 dBi/7° 5GHz	1 enlace PTP 5.8 GHz	Cambium Networks
50	ePMP 1000 Force 180 Radio integrado	+200 Mbps -17 a +30 dBm 16dBi/15° OFDM/5 GHz	Módulo suscriptor 5.8 GHz	Cambium Networks
1	HP 1910-8G L3 managed Switch	8 puertos GbE Administrable/L3	Switch gestionado en nodo de acceso local	Hewlett Packard
50	TL-WR740 N Wireless Router	54 Mbps 2.4 GHz	Router inalámbrico 2.4 GHz	TP-Link
50	GS-HT802 ATA	10/100 Mbps SIP-(G.711/729)	Adaptador de Teléfono Analógico	Grandstream

Tabla 25: Equipos de Comunicación Requeridos.

En la Tabla 25 puede notarse que la capacidad de los equipos de transmisión es mayor a 150 Mbps, lo que asegura la conectividad de todos los clientes de la región 1 de la Bajada de Chanduy. Esto es posible con planes de 3 Mbps y 5 Mbps a cada suscriptor.

Según el fabricante la escalabilidad asciende hasta 120 suscriptores sin degradación del servicio, esto equivale a 1.25 Mbps por usuario, correspondientes a una compartición 8:1 de 10 Mbps en saturación de red. Posteriormente deberá cubrirse las demás regiones instalando puntos de acceso adicionales.

Para determinar cantidad de puntos de acceso necesarios según el número de suscriptores, puede observarse la tabla 26.

Ancho de banda por Punto de Acceso		150.0 Mbps	
Máximo Ancho de banda por Suscriptor		1.250 Mbps	
N° Suscriptores	Ancho de banda requerido	N° Puntos de Acceso	
50	62.5 Mbps	0.42	1
120	150.0 Mbps	1.00	1
250	312.5 Mbps	2.08	3
400	500.0 Mbps	3.33	4
410	512.5 Mbps	3.42	4

Tabla 26: Puntos de Acceso Requeridos por Número de Suscriptores.

Para un total de 410 suscriptores, la Tabla 26 indica que son necesarios 4 puntos de acceso para proveer servicios básicos de banda ancha. Nótese que estos resultados se restringen a 120 suscriptores por cada punto de acceso, por lo que sus radios de apertura deben orientarse en función del número de clientes a cubrir.

3.3.9 Esquema de Nodo Central

El nodo central posee una infraestructura de red ya establecida por el proveedor, por lo que solo cabe indicar la parte esencial de la conexión de la red de acceso con el ISP.

Esto consiste en utilizar un radio ePMP 1000 – FORCE 200 a 5 GHz configurado en modo punto a punto para enlazarse con la red de acceso hasta llegar al nodo de acceso local ubicado en el centro de Bajada de Chanduy.

La segmentación de tráfico de las VLAN de voz y datos será realizada mediante el Switch designado por el proveedor para encaminar los paquetes de datos respectivos hacia la central SIP y el backbone de internet.

A continuación en la Figura 3.35 puede observarse el esquema del nodo central del ISP.

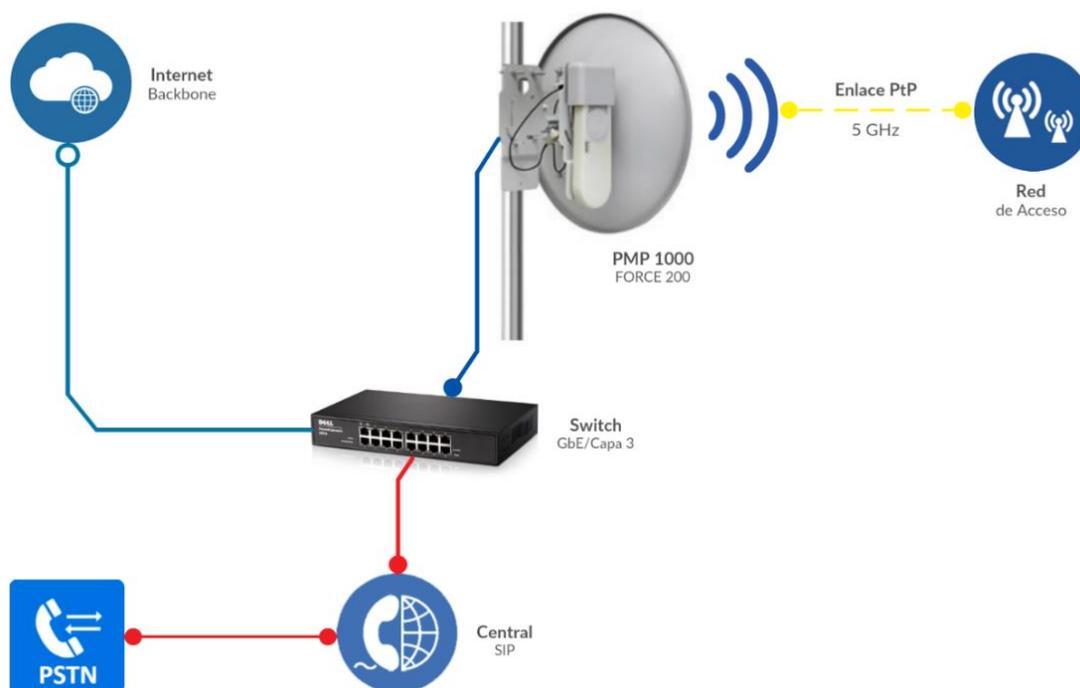


Figura 3.35: Esquema del Nodo Central del Proveedor de Servicios.

El diagrama de red mostrado en la Figura 3.35 muestra que para acceder tanto a Internet como a la PSTN se requieren dos interfaces de red distintas. Los paquetes de datos provenientes de cada una se integran en una sola interfaz gracias al switch de capa 3 o router del proveedor, para luego ser transportados por radiofrecuencia a través del ePMP 1000 FORCE 200 hacia la red de acceso de local.

El detalle técnico de los equipos requeridos en el nodo central para el enlace punto a punto con el nodo de acceso local puede apreciarse en la siguiente Tabla 27.

Cant.	Ítem	Descripción
1	ePMP FORCE 200 5 GHz	Antena parabólica de 7° de apertura horizontal con radio ePMP 1000 incluido. Enlace PtP a 5.705 GHz con la red de acceso.
1	Switch del proveedor	Switch administrable de capa 3 con puertos GbE
-	Cable de par de trenzado	STP/FTP Cat. 6 Gigabit Ethernet para conectar radio con switch

Tabla 27: Detalle Técnico de Equipos Utilizados en el Nodo Central.

En esta tabla se observa que además del transmisor de radiofrecuencia, se requieren de cables de par trenzado para conectarlo con el enrutador y establecer los enlaces a la central SIP y al Backbone de Internet. Estos cables deberán ser de categoría 6 para soportar tasas de datos de varios Gb/s.

3.3.10 Diseño del Nodo de Acceso Local

En el escenario de este proyecto el nodo de acceso local se compone de una red sencilla Gigabit-Ethernet (por su alto tráfico) que conecta el punto de acceso con el punto de retorno a través de un switch de buenas prestaciones.

La primera etapa se constituye de un radio ePMP 1000 – FORCE 200 configurado en modo punto a punto conectado a una antena direccional parabólica de 7° de apertura horizontal a 5.705 GHz u otra frecuencia en la banda de 5 GHz que no genere interferencia con el punto de acceso.

La segunda etapa describe un Switch de pequeña escala, HP 1910-8G de capa 3 administrable que utiliza enrutamiento inter-VLAN para el transporte de los paquetes procedentes de las VLAN de voz y datos a través una interfaz física única con una priorización de la voz definida por el QoS.

Y la tercera etapa, 4 puntos de acceso por medio de radios ePMP 1000 configurados en modo punto-multipunto conectados a 4 antenas sectoriales de 90° de apertura horizontal a 5.755 GHz para cubrir todas la regiones de la Bajada de Chanduy sin interferir con la banda de 2.4 GHz.

En la Figura 3.36 se muestra el diagrama de red del nodo de acceso local y en la Tabla 3.16 el detalle de los equipos requeridos para el nodo de acceso local.

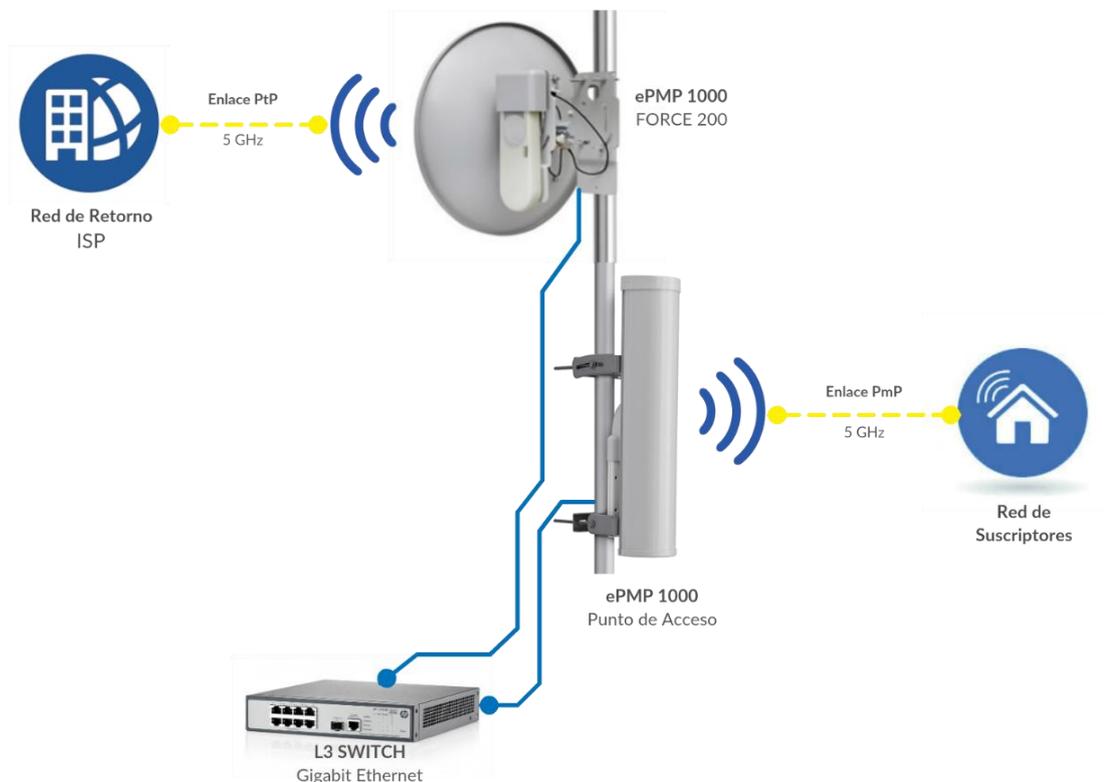


Figura 3.36: Diagrama del Nodo de Acceso Local.

Puede apreciarse en la Figura 3.36 que la red del nodo de acceso local es bastante sencilla de implementar; requiere 1 radio para el enlace PtP de retorno y 4 puntos de acceso de sencilla instalación. El Switch de capa 3 deberá ser administrable para monitorear el tráfico y condiciones de la red de abonados. Se utiliza cable de categoría 6, puesto que este segmento de red concentra el tráfico procedente de todos los suscriptores.

A medida que crezca la población del sector, no debe únicamente aumentarse el número de puntos de acceso, sino también la capacidad del nodo de acceso local. Es decir, reemplazar principalmente el radio FORCE 200 por uno de mejores prestaciones para el enlace PtP que soporte mayor tráfico de paquetes de datos.

Cant.	Ítem	Descripción
1	ePMP 1000 FORCE 200/5 GHz	Antena parabólica de 7° de apertura H-V con radio ePMP 1000 incluido. Enlace PtP a 5.8 GHz con la red de retorno.
4	ePMP 1000 Radio Conectorizado	Punto de acceso de +150 Mbps/OFDM. Enlace punto-multipunto 5.8 GHz con la red de suscriptores.
4	Antena Sectorial ePMP 5 GHz	Antena sectorial de 90° de apertura horizontal para cubrir la Región 1 de Bajada de Chanduy.
1	HP 1910-8G L3	Switch administrable de capa 3 con 8 puertos GbE para enrutamiento Inter-VLAN.
-	Cable de par de trenzado	10 m. STP/FTP Cat. 6 Gigabit Ethernet para conectar radios con Switch.

Tabla 28: Detalle Técnico de Equipos Utilizados en el Nodo Acceso Local.

Tal como se observa en la Tabla 28, la apertura de radio del módulo FORCE 200 es muy estrecho, lo que permite una mayor concentración de potencia irradiada para establecer enlaces de larga distancia. En caso de no conseguir un Switch de capa 3, puede elegirse un switch de capa 2 y adicionalmente un Router para configurar el QoS y gestión de la red.

3.3.11 Diseño de la Red del Suscriptor

El suscriptor se define por una red fast-ethernet de escala doméstica compuesta de manera preliminar como se describe a continuación:

En primer lugar la instalación de un radio ePMP FORCE 180 como CPE para conectarse al punto de acceso en un enlace directo a 5.755 GHz, seguido de un router WR-740 N conectado al CPE para dar conectividad mediante acceso guiado o inalámbrico en la banda de 2.4 GHz cuyo QoS dé prioridad al servicio de voz, y finalmente un ATA conectado físicamente al router para permitir al teléfono analógico tener acceso a la central SIP a través de la red IP.

El diagrama de red puede observarse en la Figura 3.37 y las especificaciones de los equipos en la tabla 3.17.

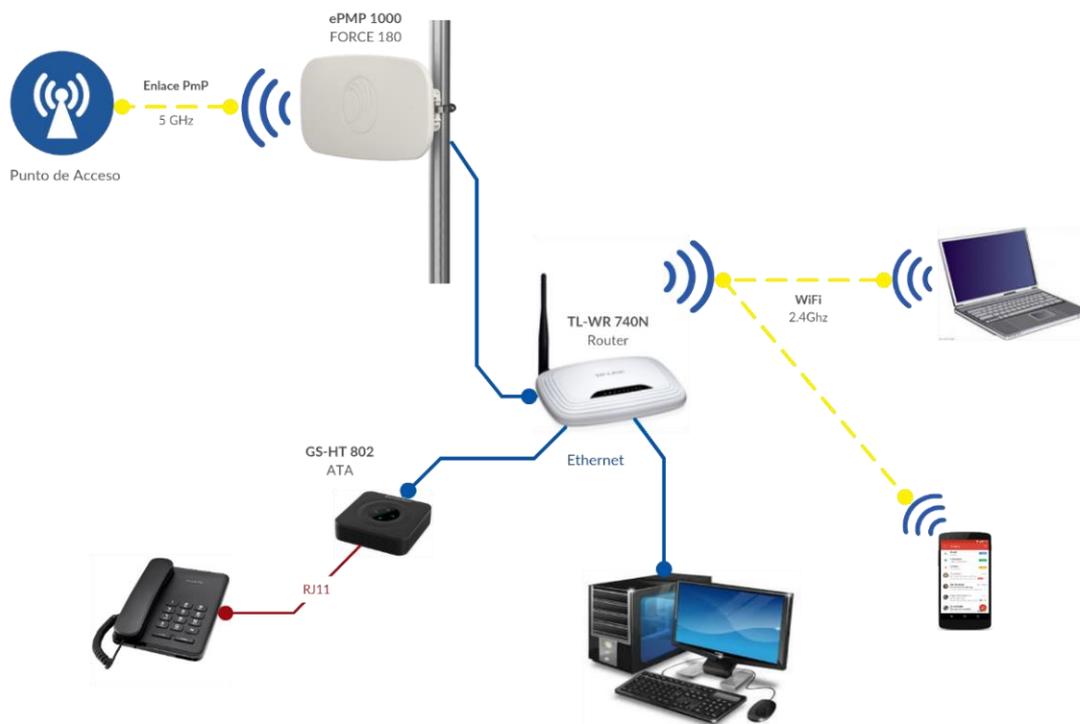


Figura 3.37: Diagrama de Red del Suscriptor.

La instalación de la red del suscriptor solamente incluye el radio suscriptor CPE (Customer Premise Equipment), el Router y el ATA (El teléfono analógico es elegido a conveniencia del cliente). Sin embargo, la Figura 3.37 presenta una red más amplia con el fin de describir la capacidad que brinda la red al suscriptor.

Cant.	Ítem	Descripción
410	ePMP 1000 FORCE180/5 GHz	CPE - Radio de antena integrada para suscriptor. Enlace directo a 5.755 GHz con la red de retorno.
410	TL-WR740 N	Router inalámbrico 802.11/2.4Ghz para red doméstica.
410	GS-HT802	Adaptador de teléfono analógico SIP/G.711/G.729
-	Cable de par trenzado	10 m. STP/FTP Cat. 5 Fast-Ethernet para la conexión de la red doméstica.

Tabla 29: Detalle Técnico de Equipos Utilizados en la Red del Suscriptor.

En este caso, como se presenta en la Tabla 29, se requiere de cable de categoría 5, pues la red doméstica, al ser más pequeña no gestiona tanto

tráfico de paquetes, por lo que una interfaz Fast-Ethernet es suficiente e inclusive más económico.

Dado que es muy importante utilizar dispositivos multifuncionales por sus características integradas, menor espacio físico y mayor facilidad de configuración, se propone una versión optimizada de la red del suscriptor, que puede apreciarse en la Figura 3.38.

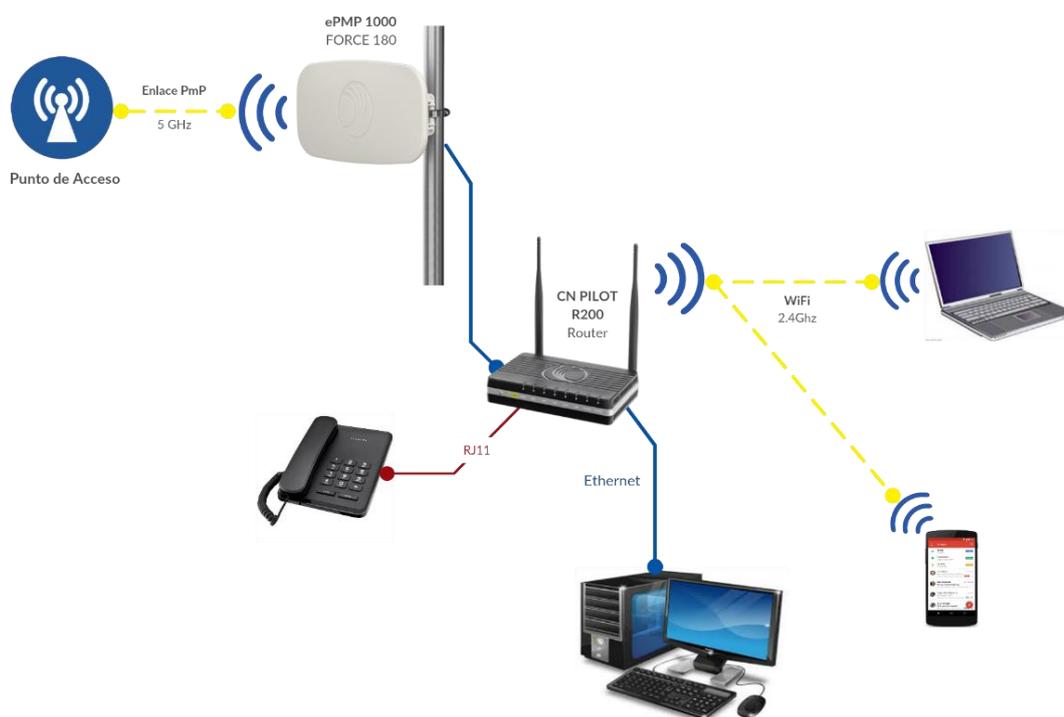


Figura 3.38: Diagrama Optimizado de la Red del Suscriptor.

La red ilustrada en la Figura 3.38 muestra una red del suscriptor mejorada, pues contiene un Router CN PILOT R200 con ATA integrado. Esto simplifica la instalación, configuración y optimización del espacio físico.

3.3.12 Presupuesto de Enlace

En este proyecto se presenta un presupuesto de enlace con 9 puntos clave distribuidos en el sector para esquematizar las medidas referenciales de atenuación de potencia del radioenlace entre el punto de acceso y los suscriptores.

Se utiliza el modelo de predicción de SUI extendido categoría C descrito en la ecuación 2.19 y adicionalmente se considera las pérdidas por lluvia para las situaciones climáticas más críticas.

A continuación en la Tabla 30 y la Figura 3.39 se presentan las ubicaciones y coordenadas de los 9 puntos analíticos para el cálculo de presupuesto de enlace.

Punto	Latitud (S)	Longitud (O)	Altitud	Altura	Distancia Enlace	Azimuth	Elevación
AP1	2.30797	80.28668	39.0 m	10 m	0.0 m	210.0°	-1.5°
A	2.30840	80.28680	37.8 m	7 m	49.3 m	14.1°	+4.6°
C	2.30916	80.28664	38.0 m	7 m	132.0 m	358.1°	+1.7°
I	2.30820	80.28719	37.6 m	7 m	62.0 m	65.9°	+4.0°
AP2	2.30797	80.28668	39.0 m	10 m	0.0 m	130.0°	-1.5°
B	2.30854	80.28646	37.5 m	7 m	67.5 m	338.8°	+3.8°
D	2.30970	80.28621	40.8 m	7 m	198.0 m	344.7°	+0.4°
H	2.30816	80.28616	42.5 m	6 m	62.0 m	290.0°	+0.7°
AP3	2.30797	80.28668	39.0 m	10 m	0.0 m	30.0°	+2.0°
E	2.30385	80.28693	40.9 m	7 m	456.0 m	176.5°	+0.1°
F	2.30552	80.28690	39.2 m	9 m	272.0 m	174.8°	+0.1°
AP4	2.30797	80.28668	39.0 m	10 m	0.0 m	70.0°	+3.0°
G	2.30578	80.28441	41.0 m	8 m	350.0 m	226.2°	+0.0°

Tabla 30: Coordenadas y Ubicación de Suscriptores de Análisis.

Puede observarse en la Tabla 30 que los puntos han sido enlistados en literales. Cada uno de ellos está asociado a un punto de acceso determinado. Por ejemplo, los puntos A, C, I están enlazados al AP1.



Figura 3.39: Ubicación Geográfica y Cobertura de los Suscriptores de Análisis.

En la Figura 3.39 se muestra la distribución geográfica de los puntos analíticos como una estimación de la ubicación de los futuros suscriptores. Puede notarse que las coberturas de cada punto de acceso se traslapan mutuamente con el fin de asegurar una cobertura total continua. Sin embargo, se genera interferencia mutua, por lo que debe mitigarse a través de la asignación de distintos canales de frecuencia.

Considerando las recomendaciones BFWA de la Tabla 10 y las especificaciones de los equipos, la separación de los canales de frecuencia debe ser de al menos 20 MHz entre coberturas adyacentes. En la Tabla 31 se muestra con mayor detalle la asignación de bandas.

Punto de Acceso	Ancho de Banda	APs Adyacentes	Frecuencia de Operación	Canal
1	20 MHz	AP2	5.765 GHz	1
2	20 MHz	AP1/AP4	5.825 GHz	3
3	20 MHz	AP4	5.825 GHz	3
4	20 MHz	AP2/AP3	5.765 GHz	1

Tabla 31: Asignación de Frecuencias de los Puntos de Acceso.

Al observar la Tabla 31, puede apreciarse que a los puntos de acceso adyacentes (como AP1 y AP2) se les asigna distintas frecuencias de operación (canal 1 y canal 3) para mitigar la interferencia co-canal. A su vez, a los puntos de acceso no adyacentes (como AP1 y AP4) se les asigna una misma frecuencia de operación, permitiendo la optimización de los canales BFWA.

Una vez definidos los parámetros de ubicación y asignación de frecuencias, se obtienen los perfiles topográficos de cada uno de los 9 enlaces para proceder con los cálculos pertinentes de presupuesto de enlace.

Estos perfiles se muestran en las siguientes figuras, de las que pueden apreciarse el terreno (franja marrón), zona de Fresnel (franja azul) y las obstrucciones (franja verde) debido a casas y vegetación. Nótese que las líneas rojas no significan reflexiones, sino las distancias de los extremos del enlace hacia la obstrucción más cercana a la zona de Fresnel.

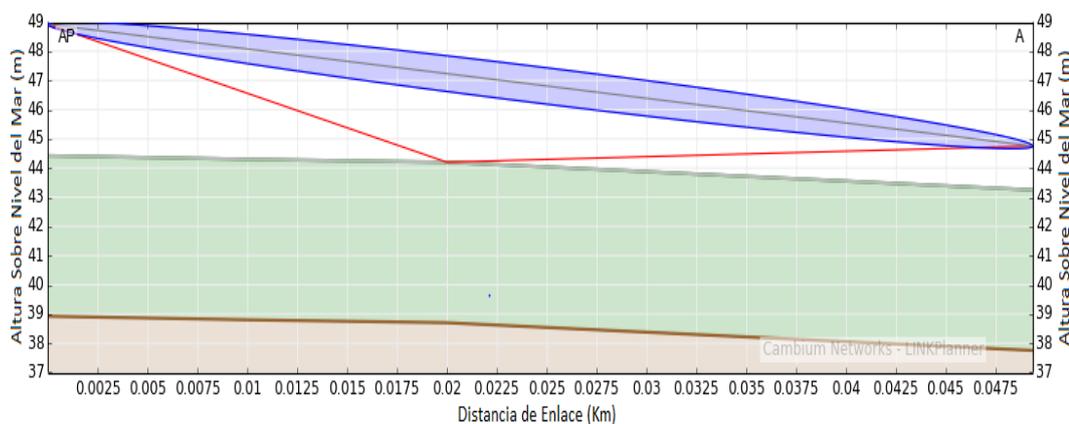


Figura 3.40: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor A.

El perfil topográfico del enlace al suscriptor A, mostrado por la Figura 3.40, presenta condiciones bastante favorables, pues existe libre línea de vista, cuya zona de Fresnel no experimenta obstrucción alguna. Puede establecerse un enlace sin complicaciones

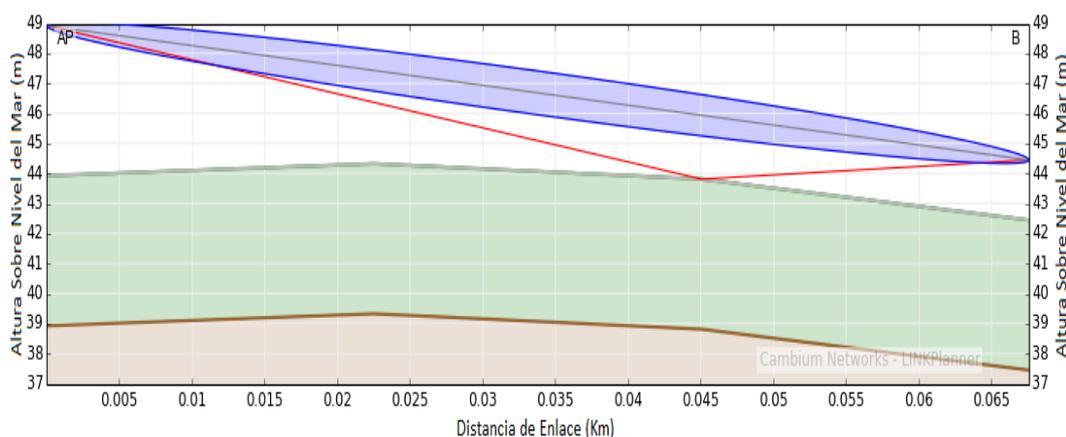


Figura 3.41: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor B.

Similar al caso anterior, la Figura 3.41 muestra un perfil topográfico con libre línea de vista sin obstrucciones. Así mismo, el enlace de radio puede efectuarse sin dificultad.

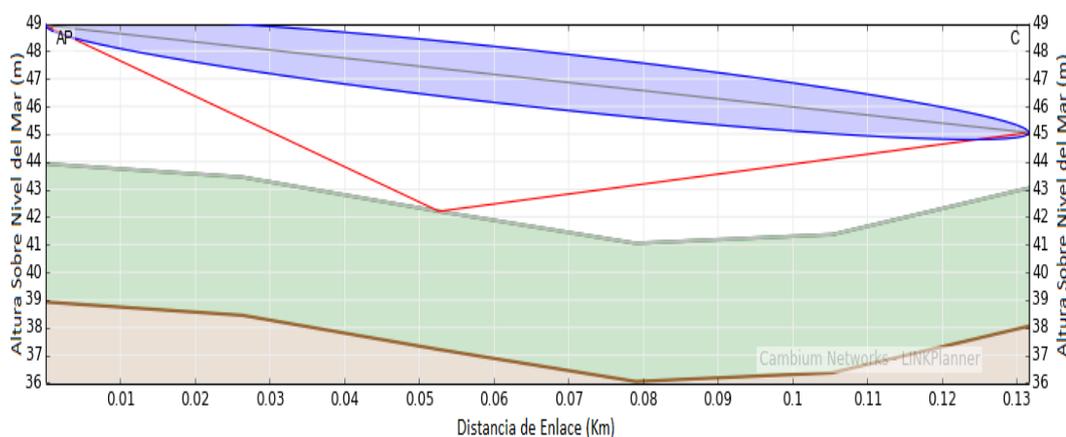


Figura 3.42: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor C.

El perfil topográfico mostrado del enlace al suscriptor C, como lo muestra la Figura 3.42, presenta también un entorno de propagación óptimo, donde no hay obstrucción en la zona de Fresnel. Estas condiciones permiten un rápido despliegue y establecimiento del radioenlace.

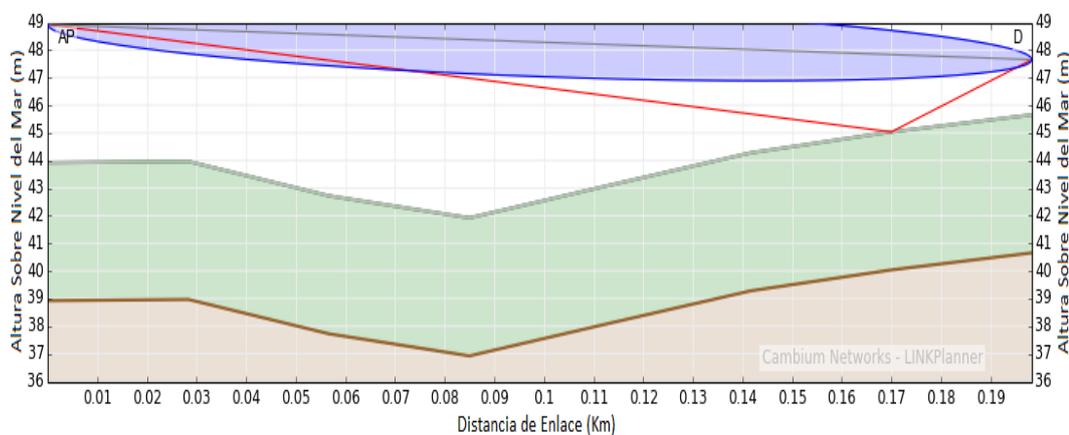


Figura 3.43: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor D.

Puede notarse incluso en la Figura 3.43, que aún puede efectuarse un enlace de radio a una mayor distancia (190 m), pues las edificaciones y vegetación no obstruyen la zona de fresnel.

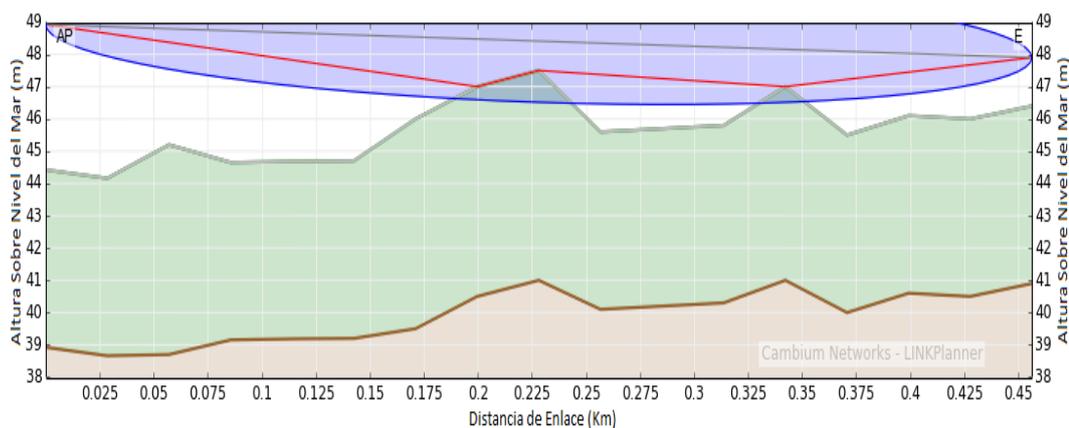


Figura 3.44: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor E.

Tras observar la Figura 3.44, se puede apreciar que existen dos obstrucciones en la zona de Fresnel del enlace al suscriptor E. Si bien es cierto que repercuten en atenuaciones de potencia de la señal, estas no afectan lo suficientemente la calidad del enlace. Por tanto, es posible todavía establecer un buen enlace.

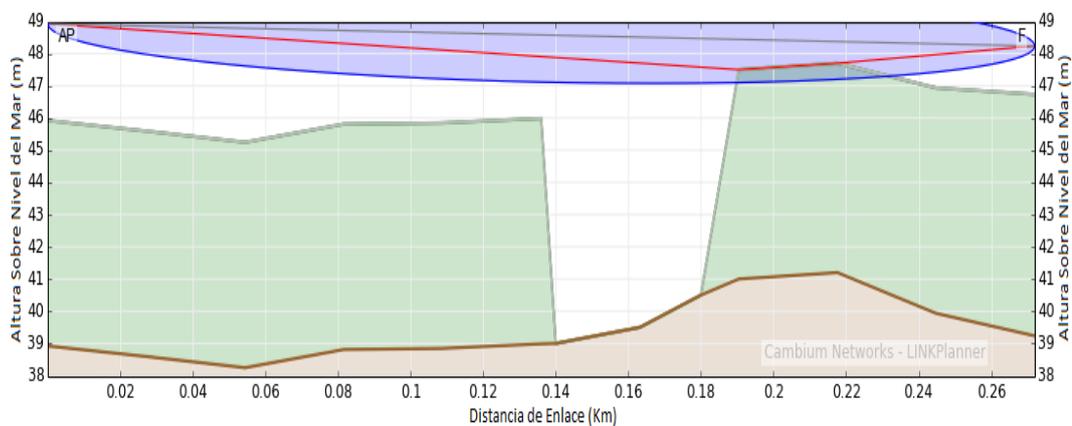


Figura 3.45: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor F.

Para el enlace del suscriptor F, la Figura 3.45 no muestra unas condiciones óptimas. Sin embargo, la obstrucción presente a los 200 metros del punto de acceso no afecta significativamente la zona de Fresnel. Por lo que técnicamente, no existe deterioro notable de la señal de radio.

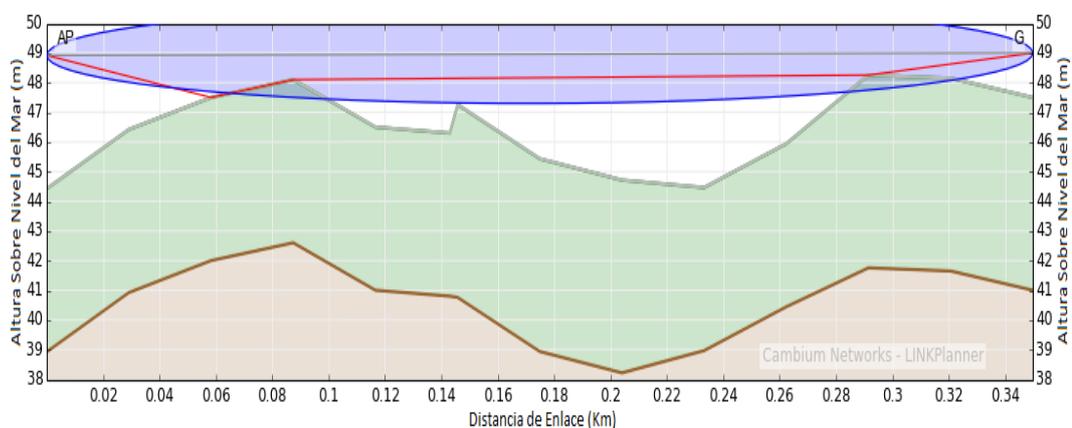


Figura 3.46: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor G.

El escenario presentado en la Figura 3.46 describe un perfil topográfico de características similares al de la Figura 3.44. Puede apreciarse que la zona de Fresnel tampoco se ve afectada significativamente, pues más del 90% de la señal no sufre atenuación alguna.

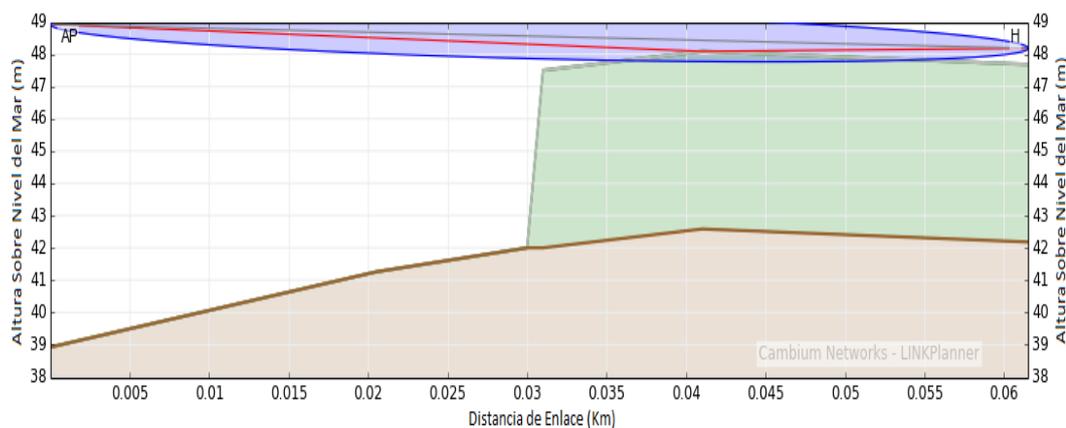


Figura 3.47: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor H.

El entorno de propagación que se muestra en la Figura 3.47 presenta una zona de Fresnel levemente afectada por obstrucciones. Puede decirse entonces, que existe una buena línea de vista y por tanto un aceptable establecimiento del radioenlace.

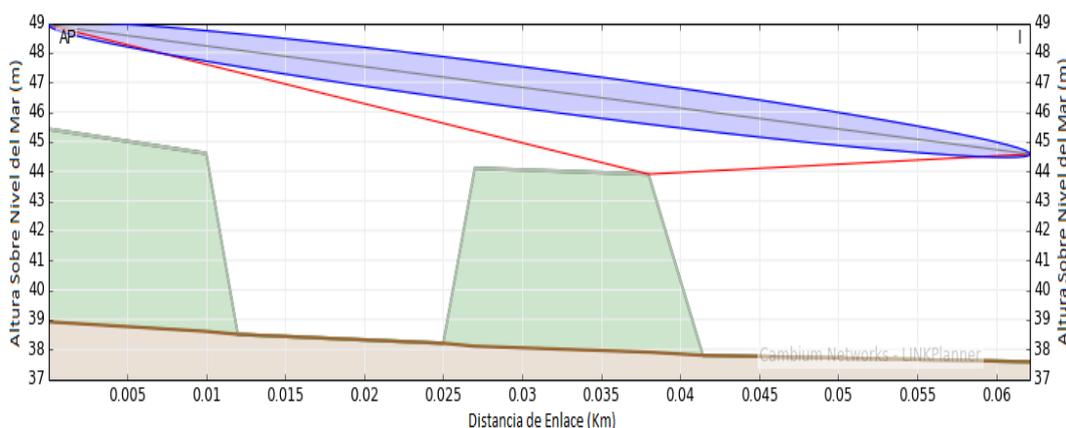


Figura 3.48: Perfil Topográfico desde el Punto de Acceso al Suscriptor I.

La zona de Fresnel que se presenta en el escenario de la Figura 3.48 no experimenta obstrucciones, pues están muy alejadas de la línea de vista del enlace. Por tanto estas condiciones son totalmente favorables para el establecimiento de un enlace de radio, ya que las pérdidas son mínimas.

Es importante señalar que la sensibilidad de los CPE no es fija, sino que depende del esquema de modulación y codificación utilizado. Por lo que

debe determinarse la sensibilidad de los equipos receptores a través de la interpolación aproximada de la Tabla 32, en función de los MCS determinados a partir de la Tabla 21, la Tabla 22 y la Tabla 23.

MCS	Sensibilidad [dBm]	
	20 MHz	40 MHz
0	-93.00	-90.00
1	-90.18	-87.17
2	-87.24	-84.23
3	-84.31	-81.30
4	-81.37	-78.36
5	-78.43	-75.42
6	-75.50	-72.49
7	-73.54	-70.53
8	-89.20	-86.19
9	-86.26	-83.25
10	-83.33	-80.32
11	-80.39	-77.38
12	-77.45	-74.44
13	-74.52	-71.51
14	-72.56	-69.55
15	-72.00	-69.00

Tabla 32: Sensibilidad de los Módulos Suscriptores según MCS.

En esta tabla se indican los niveles de sensibilidad tanto para canales de 20 MHz como 40 MHz. Puede observarse además que a mayor índice de MCS (desde 0 – 7 y desde 8 – 15) mayor es la sensibilidad, es decir, se requiere más potencia para superar el umbral de recepción.

A continuación, en la Tabla 33 se presentan los cálculos teóricos de presupuesto de enlace; cuyos principales resultados son las pérdidas y margen de enlace. La potencia de transmisión es el único parámetro variable; por lo que si el margen de enlace es negativo, esta debe aumentarse.

AP	Punto de Acceso					Trayecto				Suscriptor				
	Frec [GHz]	Pt [dBm]	Pérdidas conector [dB]	Gt [dBi]	EIRP [dBm]	Alcance [m]	Pérdidas Trayecto [dB]	Pérdidas Lluvia [dB]	Pérdidas Totales [dB]	Gr [dB]	Pr [dBm]	Pr Umbral [dBm]	Margen de Enlace [dB]	CPE
1	5.765	-5.0	1.12	18	11.88	49.3	81.543	0.0322	81.575	16	-53.695	-73.54	19.845	a
2	5.825	5.0	1.12	18	21.88	67.5	84.263	0.0441	84.307	16	-46.427	-73.54	27.113	b
1	5.765	-5.0	1.12	18	11.88	132	94.023	0.0862	94.110	16	-66.230	-73.54	7.310	c
2	5.825	5.0	1.12	18	21.88	198	103.786	0.1293	103.916	16	-66.036	-73.54	7.504	d
3	5.825	25.0	1.12	18	41.88	456	123.894	0.2978	124.191	16	-66.311	-73.54	7.229	e
3	5.825	25.0	1.12	18	41.88	272	114.440	0.1776	114.617	16	-56.737	-73.54	16.803	f
4	5.765	15.0	1.12	18	31.88	350	117.517	0.2286	117.745	16	-69.865	-78.43	8.565	g
2	5.825	5.0	1.12	18	21.88	62	83.506	0.0405	83.547	16	-45.667	-73.54	27.873	h
1	5.765	-5.0	1.12	18	11.88	62	83.527	0.0405	83.567	16	-55.687	-73.54	17.853	i

Tabla 33: Resultados Teóricos de Presupuesto de Enlace.

El análisis teórico de presupuesto de enlace mostrado en la Tabla 33 indica diferentes valores de potencia de transmisión. Estos son ajustados por cada punto de acceso que abarca un grupo de suscriptores. En cuanto a margen de enlace, puede observarse que para cada suscriptor los valores son positivos, garantizando la confiabilidad del enlace.

AP	Punto de Acceso					Trayecto				Suscriptor				
	Frec [GHz]	Pt [dBm]	Pérdidas conector [dB]	Gt [dBi]	EIRP [dBm]	Alcance [m]	Pérdidas Trayecto [dB]	Pérdidas Lluvia [dB]	Pérdidas Totales [dB]	Gr [dB]	Pr [dBm]	Pr Umbral [dBm]	Margen de Enlace [dB]	CPE
1	5.80	-5.0	1.10	18	11.9	49.3	82.460	0.0322	82.492	16	-55.0922	-73.54	18.4478	a
2	5.80	-5.0	1.10	18	11.9	67.5	84.300	0.0441	84.344	16	-56.9441	-73.54	16.5959	b
1	5.80	-5.0	1.10	18	11.9	132	90.090	0.0862	90.176	16	-62.7762	-73.54	10.7638	c
2	5.80	-5.0	1.10	18	11.9	198	93.650	0.1293	93.779	16	-66.3793	-73.54	7.1607	d
3	5.80	15.0	1.10	18	31.9	456	109.200	0.2978	109.498	16	-62.0978	-73.54	11.4422	e
3	5.80	15.0	1.10	18	31.9	272	103.090	0.1776	103.268	16	-55.8676	-73.54	17.6724	f
4	5.80	5.0	1.10	18	21.9	350	105.020	0.2286	105.249	16	-67.8486	-78.43	10.5814	g
2	5.80	-5.0	1.10	18	11.9	62	89.730	0.0405	89.771	16	-62.3705	-73.54	11.1695	h
1	5.80	-5.0	1.10	18	11.9	62	83.570	0.0405	83.611	16	-56.2105	-73.54	17.3295	i

Tabla 34: Resultados Simulados de Presupuesto de Enlace.

Los cálculos de presupuesto de enlace realizados por LINKPlanner expuestos en la Tabla 34 difieren significativamente de los resultados teóricos. Esto se debe a que el modelo de propagación empleado por software se adapta al entorno percibido por los parámetros geográficos basados en la recomendación UIT-P [27]. En este caso el programa utilizó automáticamente el modelo de espacio libre.

Luego de observar los resultados de presupuesto de enlace previamente mostrados, es necesario analizar el error porcentual entre los valores teóricos y simulados de EIRP, pérdidas totales de trayecto y margen de enlace. Estos se muestran en las siguientes tablas.

EIRP [dBm]			
Suscriptor	Teórica	Simulada	Error
a	11.880	11.900	0.17%
b	21.880	11.900	45.61%
c	11.880	11.900	0.17%
d	21.880	11.900	45.61%
e	41.880	31.900	23.83%
f	41.880	31.900	23.83%
g	31.880	21.900	31.30%
h	21.880	11.900	45.61%
i	11.880	11.900	0.17%

Tabla 35: Error Porcentual de EIRP Teórica y Simulada.

Los porcentajes de error que se muestran en la Tabla 35 revelan proporciones mayores al 10%. Estas variaciones se acentúan sobre todo en los enlaces donde hay mayores pérdidas de trayecto que obligan a elevar la potencia de transmisión. Se sugiere alcanzar los niveles EIRP de mayor magnitud para contrarrestar pérdidas.

Pérdidas Totales de Trayecto [dB]			
Suscriptor	Teóricas	Simuladas	Error
a	81.575	82.492	1.12%
b	84.307	84.344	0.04%
c	94.110	90.176	4.18%
d	103.916	93.779	9.75%
e	124.191	109.498	11.83%
f	114.617	103.268	9.90%
g	117.745	105.249	10.61%
h	83.547	89.771	7.45%
i	83.567	83.611	0.05%

Tabla 36: Error Porcentual de Pérdidas de Trayecto Teóricas y Simuladas.

Los valores de pérdidas totales en los presupuestos de enlace teórico y simulado, expuestos en la Tabla 36, mantienen márgenes de error mayores al 5%. Esto es aceptable puesto que el modelo SUI se aproxima

más a la realidad, a diferencia del modelo de espacio libre utilizado por LINKPlanner. Por tanto, es positivo que el modelo de predicción describa mayores pérdidas de trayecto.

Margen de Enlace [dBm]			
Suscriptor	Teórica	Simulada	Error
a	19.845	18.448	7.04%
b	27.113	16.596	38.79%
c	7.310	10.764	47.24%
d	7.504	7.161	4.58%
e	7.229	11.442	58.29%
f	16.803	17.672	5.17%
g	8.565	10.581	23.55%
h	27.873	11.170	59.93%
i	17.853	17.330	2.93%

Tabla 37: Error Porcentual de Margen de Enlace Teórico y Simulado.

Los márgenes de enlace comparados en la Tabla 37 muestran errores entre 2.5 – 60%. Esto se debe a la diferencia entre los modelos de predicción utilizados. Se sugiere considerar los márgenes de menor valor para estimar las condiciones reales del enlace.

Una vez realizado el dimensionamiento de red y el análisis preliminar del presupuesto de enlace, habiendo verificado la factibilidad técnica del diseño de la red de acceso, puede continuarse con el respectivo análisis económico de este proyecto.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS ECONÓMICO Y PROYECCIÓN FINANCIERA

4.1 Condiciones y Oportunidades de Mercado

Para determinar la viabilidad económica de la ejecución del proyecto deben analizarse las condiciones y oportunidades del mercado. Inicialmente se necesita establecer un costo de inversión en función del costo de planes y tarifas mensuales de STF y SIF, cuyos valores sean asequibles para los futuros clientes del recinto Bajada de Chanduy, y además representen una buena rentabilidad para el prestador de servicios de telecomunicaciones a un plazo aceptable.

La principal fuente de ingresos de este sector se erige sobre el rubro agropecuario el cual brinda grandes beneficios como generar plazas de trabajo a los habitantes y realizar conexiones comerciales dentro y fuera de la comuna. Motivo por el cual es indispensable la comunicación con el fin de promover las vías de desarrollo.

En la actualidad Bajada Chanduy no cuenta con un servicio de telefonía fija, lo que confirma la viabilidad de la ejecución de la aplicación del sistema de redes de telecomunicaciones. Además, los moradores no pueden comunicarse con establecimientos fijos como centros educativos, de salud y de seguridad, determinantes para un efectivo desarrollo.

4.1.1 Planes y Tarifas básicas de Telefonía fija e Internet fijo

Al presente, los planes básicos ofrecidos por los prestadores de servicios de Telefonía fija e Internet fijo brindan velocidades de acceso que van desde los 3 Mbps hasta 10 Mbps. Las tarifas disponibles se presentan en la Tabla 38.

Descripción	Tarifa Mensual del Paquete SIN IMP.
Plan de Telefonía Fija+Internet Fijo 3 Mbps	\$22,00
Plan de Telefonía Fija+Internet Fijo 5 Mbps	\$28,00
Plan de Telefonía Fija+Internet Fijo 10 Mbps	\$35,00

Tabla 38: Planes y Tarifas de Servicios de Telefonía fija e Internet fijo.

Los costos de las mensualidades de STF y SIF mostrados en la Tabla 38 representan el promedio de tarifas aproximadas del mercado. Así pues, los planes ofrecidos por los proveedores circundan alrededor de estos valores (ligeramente mayores o incluso menores).

4.2 Inversión Inicial

Para detectar los requerimientos de financiamiento del proyecto se debe estimar la inversión inicial realizando los debidos estudios de mercado y un plan de negocios, para así tomar en cuenta la cantidad de dinero necesaria para la implementación de la red; específicamente recursos materiales y técnicos.

Los componentes de red y radiofrecuencia necesarios para el despliegue de la red de acceso son los siguientes:

- ePMP 1000 Radio Conectorizado.
- ePMP 1000 Antena Sectorial.
- ePMP 1000 FORCE 200 Radio Integrado.
- ePMP 1000 FORCE 180 Radio Integrado.
- CN PILOT R200.
- HP 1910-8G L3 Switch Adminitrable.

4.2.1 Costos de Inversión

A continuación se muestran las tablas con los costos de inversión específicos por cada segmento de la red de acceso; nodo central, nodo de acceso local, y red de suscriptores.

Elementos del Nodo Central				
Equipo	Descripción	Cant.	P. Unit.	P.Total
ePMP 1000 FORCE 200 5 GHz	Antena parabólica de 7° de apertura horizontal con radio ePMP 1000 incluido. Enlace PtP a 5.705 GHz	1	\$161,66	\$161,66
TOTAL				\$161,66

Tabla 39: Costo de Inversión del Nodo Central de la Red de Acceso.

Entre los equipos que forman parte del nodo central, como se presenta en la Tabla 39, solamente debe agregarse un radio ePMP 1000 – FORCE 200 a 5 GHz de 7° de apertura horizontal, puesto que este segmento de red ya ha sido instalado previamente por el proveedor.

Se necesitan además 8 metros de cable de par trenzado de categoría 6, que por facilidad se detallan en los elementos del nodo de acceso local, pues requiere varias extensiones del mismo.

Elementos del Nodo de Acceso Local				
Equipo	Descripción	Cant.	P. Unit.	P.Total
ePMP FORCE 200 a 5 GHz	Antena parabólica de 7° de apertura horizontal con radio ePMP 1000 incluido. Enlace PtP a 5.705 GHz	1	\$161,66	\$161,66
ePMP 1000 Radio Conectorizado	Punto de acceso de +150 Mbps/OFDM. Enlace punto-multipunto 5.755 GHz con la red de suscriptores.	4	\$320,00	\$1.280,00
Antena Sectorial ePMP a 5 GHz	Antena sectorial de 90° de apertura horizontal para la cobertura total del sector	4	\$192,00	\$768,00
HP 1910-8G L3	Switch administrable de capa 3 con 8 puertos GbE para enrutamiento Inter-VLAN.	1	\$245,00	\$245,00
Conector RJ45 6E	Conectores para cable de red	12	\$0,15	\$1,80
Cable de par de trenzado	48 m STP/FTP Cat. 6 Gigabit Ethernet para conexiones. 8m dedicados para nodo central	1	\$25,00	\$25,00
TOTAL				\$2.319,80

Tabla 40: Costo de Inversión del Nodo de Acceso Local.

En la Tabla 40 se muestran los equipos necesarios para el nodo de acceso local, de los cuales los precios más elevados corresponden a los módulos conectorizados ePMP 1000 y al switch HP 1910-8G L3, ya que gestionan una gran cantidad de tráfico de datos y el ancho de banda disponible del bucle local inalámbrico.

Elementos de la Red de Suscriptores				
Equipo	Descripción	Cant.	P. Unit.	P.Total
ePMP FORCE 180 a 5 GHz	CPE ePMP 1000 incluido para suscriptor. Enlace PmP a 5 GHz	410	\$118,10	\$48.421,00
CN PILOT R200	Router inalámbrico+ATA integrado.	410	\$83,00	\$34.030,00
Conector RJ45 5E	Caja de 100 conectores para cable de red	9	\$5,89	\$53,01
Cable de par de trenzado	100 m. STP/FTP Cat. 5 Fast Ethernet para conexiones de la red doméstica.	33	\$28,00	\$924,00
TOTAL				\$83.428,01

Tabla 41: Costo de Inversión de la Red de Suscriptores.

Como puede apreciarse en la Tabla 41, este segmento de red es el que requiere de mayor inversión económica. Esto se debe al importante número de familias que requieren servicios de STF y SIF, donde el CPE representa el mayor costo debido a su función de conectar inalámbricamente el suscriptor con el proveedor de servicios.

En la siguiente Tabla 4.5 se muestra un resumen del total de costos de inversión del proyecto.

Costos de Inversión	
Descripción	Precio
Elementos del Nodo Central	\$161,66
Elementos del Nodo de Acceso Local	\$2.319,80
Elementos de la Red de Suscriptores	\$83.428,01
TOTAL	\$85.747,81

Tabla 42: Costos Totales de Inversión.

Al observar los costos totales requeridos para la inversión de este proyecto, tal como se indica en la Tabla 42, su valor asciende a un monto

de \$85.747,81; que deben diferirse en importes graduales conforme crezca la demanda de los usuarios. Además debe analizarse si dicho valor es justificable con respecto a los costos de una red de cobre para servicios de telecomunicaciones.

En el Ecuador la inversión actual en telefonía convencional oscila entre \$300,00 a \$400,00 por línea de abonado. De esta manera, se presenta una comparación de costos de inversión entre despliegues PSTN y BFWA VoIP en la siguiente Tabla 43.

Costos de Inversión en PSTN		
Nº Clientes	Costo por Usuario	Costo Total de Inversión
410	\$300,00	\$123.000,00
	\$400,00	\$164.000,00

Tabla 43: Costo de Inversión de la Red de Acceso por PSTN.

Puede observarse en la Tabla 43 que el despliegue de la red de acceso sobre PSTN en Bajada de Chanduy requiere una inversión entre \$123.000,00 y \$164.000,00; las cuales exceden al despliegue BFWA VoIP en \$37.252,19 y \$78.252,19 respectivamente.

Visto de otra manera, un despliegue BFWA VoIP es un 30.29 – 47.71% más económico que un despliegue PSTN, con la ventaja adicional de ser fácilmente escalable y permitir servicios integrados de banda ancha.

4.2.2 Incentivo Tributario

Normalmente este tipo de proyectos no suelen ser prioritarios para un prestador de servicios, pues como se mencionó desde un principio, no le representan grandes ingresos económicos.

Sin embargo, resulta bastante atractivo asumir este proyecto con el fin de reducir las contribuciones trimestrales del 1% de ingresos a la ARCOTEL, ya que resulta más provechoso para el prestador de servicios invertir una proporción de la contribución en un negocio que le genere más ingresos, en lugar de tributarlo sin beneficio alguno.

Por tanto, es sumamente conveniente para los proveedores de telecomunicaciones, especialmente STF y SIF, declarar el financiamiento de este tipo de proyectos al FODETEL. Esto sin duda alguna representa un gran incentivo a los concesionarios y un enorme beneficio a las comunidades rurales y urbano-marginales.

4.3 Proyección Financiera

Uno de los procesos requeridos para determinar la viabilidad económica de este proyecto es mediante un flujo de caja de los ingresos y gastos proyectados. En este caso se considera un plazo operativo de 5 años para determinar la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto.

4.3.1 Ingresos

Los ingresos anuales de este proyecto son estimados en base a las tarifas de planes básicos de banda ancha de 3 Mbps únicos (\$25,00 mensuales incluidos impuestos) y al despliegue progresivo de servicios en el sector. Inicialmente se considera una cifra de 50 suscriptores al primer año, 150 al segundo, 250 al tercero, 350 al cuarto y 410 abonados al quinto año. En la Tabla 44 se presenta la proyección de ingresos anuales.

Proyección de Ingresos del Proyecto						
Plazo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos		\$15.000,00	\$45.000,00	\$75.000,00	\$105.000,00	\$123.000,00

Tabla 44: Proyección Anual de Ingresos del Proyecto.

Puede observarse que la Tabla 44 muestra ingresos económicos crecientes cada año. Estos valores resultan del importe mensual de los clientes estimados cada año. Nótese que la tasa de incremento anual de ingresos es de \$30.000,00 hasta el año 4 y \$18.000,00 hasta el año 5 que se completa la cobertura de los 410 clientes de Bajada de Chanduy.

4.3.2 Egresos

La implementación del proyecto conlleva varios egresos, entre los cuales se consideran los costos de implementación y operación que deben ser financiados para asegurar su sostenibilidad en el tiempo.

Como gastos operativos se consideran las remuneraciones que recibe el equipo de profesionales; 2 técnicos para la instalación y 1 ingeniero para el diseño y despliegue de la red, cuyos salarios estimados en el mercado de las telecomunicaciones son \$570,00 y \$1.600,00 respectivamente. Adicionalmente se considera la movilización del personal, traslado de equipos, alquiler y mantenimiento de vehículos.

Los detalles de los gastos estimados en los 5 años operativos se presentan a continuación en la Tabla 45.

Proyección de Gastos del Proyecto					
Recursos	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Mástiles	\$500,00	\$1.000,00	\$1.000,00	\$1.000,00	\$600,00
Transporte y Movilización	\$6.000,00	\$6.000,00	\$6.000,00	\$6.000,00	\$6.000,00
Personal Técnico	\$13.680,00	\$13.680,00	\$13.680,00	\$13.680,00	\$13.680,00
Personal de Control	\$19.200,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Caja Chica	\$0,00	\$2.000,00	\$2.000,00	\$2.000,00	\$2.000,00
TOTAL	\$39.380,00	\$22.680,00	\$22.680,00	\$22.680,00	\$22.280,00

Tabla 45: Proyección Anual de Gastos del Proyecto.

Tal como se puede apreciar en la Tabla 45, el primer año presenta mayores gastos, pues solo durante ese tiempo se requieren de los servicios del ingeniero de diseño de redes. A diferencia de los técnicos de instalación que se encargan de la implementación física de la red.

4.3.3 Flujo de Caja

Luego de estimar los ingresos y egresos del proyecto, es necesario establecer un flujo de caja que permita determinar su sostenibilidad y rentabilidad. El cual se muestra a continuación en la Tabla 46.

Proyección de Ingresos del Proyecto						
Plazo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos		\$15,000.00	\$45,000.00	\$75,000.00	\$105,000.00	\$123,000.00
Inversiones	-\$85,747.81					
Gastos		-\$39,380.00	-\$22,680.00	-\$22,680.00	-\$22,680.00	-\$22,680.00
Flujo Neto	-\$85,747.81	-\$24,380.00	\$22,320.00	\$52,320.00	\$82,320.00	\$100,320.00
Flujo Neto Acumulado	-\$85,747.81	-\$110,127.81	-\$87,807.81	-\$35,487.81	\$46,832.19	\$147,152.19

Tabla 46: Proyección Financiera del Proyecto a 5 Años Operativos.

Al analizar el flujo de caja del proyecto en la Tabla 46, se puede observar que a partir del quinto año los ingresos y gastos se estabilizan, pues la cifra de 410 suscriptores se mantiene, con ganancias anuales de \$100,320.00. No obstante, el flujo neto acumulado indica valores negativos hasta el tercer año, por lo que debe calcularse el periodo exacto de recuperación del capital para averiguar el instante en el que se generan ganancias y en consecuencia determinar la viabilidad del proyecto.

4.4 Rentabilidad y Viabilidad Económica del Proyecto

Luego de examinar los ingresos y egresos del proyecto, y construir el flujo de caja, debe determinarse la rentabilidad mediante el cálculo de los indicadores financieros de TIR y VAN; considerando una tasa de descuento, TMAR, de un 10% para una inversión de bajo riesgo. La viabilidad económica en el tiempo, se determina a través del PRE (Periodo de recuperación de capital) para conocer el instante a partir del cual empiezan a generarse ganancias. Estos indicadores se muestran en la siguiente Tabla 47.

TMAR	TIR	VAN	PRE		
10.00%	25.79%	\$68.360,12	3,43 Años	3 Años	5 Meses 6 Días

Tabla 47: Indicadores Financieros de Rentabilidad y Sostenibilidad.

En la Tabla 47 se muestra que el TIR supera a la TMAR con 15.79%, lo cual indica que la rentabilidad del proyecto es aceptable, reflejando un VAN positivo cuyo valor suma un considerable monto de \$68.360,12. Además, el PRE es de 3,431 años, un plazo menor a los 5 años operativos propuestos, lo que resulta atractivo para prestadores de servicios.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La solución tecnológica más apropiada para el despliegue de una red de servicios de Telefonía fija e Internet fijo en la comuna Bajada de Chanduy es la BFWA por su operación en la banda libre de 5.8 GHz, de fácil implementación y un 30.29% más económica que la PSTN.

Las encuestas demográficas realizadas señalan que, a pesar del bajo desarrollo, estas comunidades rurales y urbano-marginales, no son ajenas a las TIC. De hecho, manifiestan interés por una pronta actualización tecnológica estando dispuestos a pagar alrededor de \$25,00 mensuales por ambos servicios.

El diseño de la red BFWA cubre totalmente a las 410 familias de dicha comuna; su máxima capacidad logra proveer satisfactoriamente STF y SIF con planes básicos de 3 Mbps por \$25,00 mensuales. Su implementación describe un despliegue sencillo y rápido sin obstrucciones e interferencias significativas.

Las cualidades de la red de acceso permiten la futura integración de múltiples servicios de telecomunicaciones, además su vasta escalabilidad incrementa rápidamente el número de clientes, pudiendo extenderse a 250 familias más en los sectores vecinos facilitando el desarrollo tecnológico y colectivo.

La conectividad brindada por la red de acceso es tan buena que otorga a más de 2000 habitantes la capacidad de comunicarse con el mundo exterior y ser incluidos en la sociedad. Incluso se optimiza enormemente la actividad económica del sector rural.

Para proveer planes de mayor ancho de banda a los habitantes de Bajada de Chanduy debe incrementarse la capacidad de la red utilizando puntos de acceso de mejores prestaciones. Sin embargo, si solo se requiere aumentar el número de usuarios con tasas fijas de 3 Mbps, basta aumentar la cantidad de puntos de acceso utilizando distintas frecuencias de operación para evitar interferencia co-canal.

Debe considerarse que, aun cuando técnicamente existe completa disponibilidad de frecuencias en los sectores marginales, siempre es necesario realizar un análisis

espectral del sitio para evitar problemas de interferencia y conectividad en los servicios de Telefonía fija e Internet fijo.

El dimensionamiento de los canales de voz se realizó a partir de la fórmula Erlang-B con un GoS de 1% para optimización de ancho de banda y circuitos digitales telefónicos. Bajo ningún concepto debe eludirse o existirá una mayor saturación de la red y desperdicio de recursos.

El concepto de Telefonía convencional se mantiene en los clientes gracias al uso de adaptadores de teléfono analógicos que permiten acceder a la central SIP que se conecta a la PSTN. Por tanto, es preferible utilizar el Router CN PILOT R200 para agilizar la configuración de la red domiciliaria y conseguir un buen QoS, que por ahorrar dinero en otros dispositivos se comprometa el funcionamiento de la red.

El Software de simulación LINKPlanner constituyó una herramienta imprescindible para el diseño de radioenlaces, especialmente para observar sus características geográficas a través de su perfil topográfico. Se recomienda considerar los escenarios más complicados para un adecuado desempeño de los enlaces de radio.

La realización de este proyecto a través del incentivo tributario del FODETEL, favorece las estrategias fiscales del prestador de servicios, permitiéndole incrementar sus ingresos, cobertura y optimar su nombradía en el mercado de las Telecomunicaciones. A este efecto deben tenerse presentes los procedimientos y requerimientos correspondientes para la aprobación de la declaración tributaria.

Su proyección financiera devuelve un periodo de recuperación de 3 años, 5 meses y 6 días, con una buena rentabilidad definida por una TIR mayor a la TMAR con 15.79% y un VAN de \$68.360,12. Sus ganancias se estabilizan a partir de quinto año con una suma de aproximada de \$100.000,00 anuales, volviéndolo un negocio sostenible. Si se considera ofrecer planes de banda ancha más económicos, por ejemplo, entre \$18,00 y \$20,00, el tiempo de recuperación del capital se extiende un año adicional.

Finalmente debe tenerse en cuenta que el diseño de esta red de acceso BFWA y su proyección financiera fueron realizados en base a los equipos ePMP 1000 de Cambium Networks, por lo que se recomienda firmemente utilizarlos para evitar problemas de dimensionamiento y posible descuadre financiero.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Asamblea Nacional del Ecuador, "Ley Orgánica de Telecomunicaciones," Reg. Oficial del Ecuador, Quito, Reg. No. 439, Feb. 2015, Suplemento 3.
- [2] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (2017, Feb). *Estadísticas* [Online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/estadisticas-2/>
- [3] Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia del Guayas, "Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia del Guayas," PDOT del Guayas, Guayaquil, Rep. No. 003, Ene. 2013.
- [4] Gobierno Nacional de La República del Ecuador, "Tecnologías de la Información y Comunicaciones 2015," Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Quito, Sep. 2016.
- [5] Consejo Nacional de Telecomunicaciones, "Fondo para el Desarrollo de Telecomunicaciones Rurales," Reg. Oficial del Ecuador, Quito, Reg. No. 193, Mar. 2002.
- [6] Plug Things In. (2016, Sep). *Differences Between Dial Up and High Speed Internet Connections* [Online]. Disponible en: <http://www.plugthingsin.com/internet/connection/dialup-vs-high-speed-internet/>
- [7] M. Rouse. (2016, Mar). *ISDN (Integrated Services Digital Network)* [Online]. Disponible en: <http://searchenterprisewan.techtarget.com/definition/ISDN>
- [8] B. Mitchell. (2016, Nov). *How Fast is Cable Modem Internet?* [Online]. Disponible en: <https://www.lifewire.com/how-fast-is-cable-modem-internet-817769>
- [9] M. Rouse. (2010, Nov). *Fast Guide to DSL (Digital Subscriber Line)* [Online]. Disponible en: <http://whatis.techtarget.com/reference/Fast-Guide-to-DSL-Digital-Subscriber-Line>
- [10] B. M. Yaucen y M. V. Llamuca, "Estudio y Análisis de Factibilidad de las Distintas Tecnologías CDMA 450, WDM, GPON y WiMAX, Propuestas para el Sector Noroccidental de Riobamba," Trabajo de Grado, Facd. Ingen., Univ. Nal. Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2012.

- [11] VoIP Insights. (2008, Jul). *VoIP History* [Online]. Disponible en: http://www.voipinsights.com/voip_history.html
- [12] B. Mitchell. (2016, Oct). *H.323 Protocol in Wireless Networking* [Online]. Disponible en: <https://www.lifewire.com/definition-of-h-323-protocol-816495>
- [13] W. Stallings. (2003, Mar). *The Session Initiation Protocol* [Online]. Disponible en: <http://www.cisco.com/c/en/us/about/press/internet-protocol-journal/back-issues/table-contents-23/sip.html>
- [14] Packetizer. (2016, Sep). *H.323 versus SIP: A Comparison* [Online]. Disponible en: https://www.packetizer.com/ipmc/h323_vs_sip/
- [15] PC Mag. (2013, May). *Definition of: Audio codec* [Online]. Disponible en: <http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/38159/audio-codec>
- [16] PC Mag. (2013, May). *Definition of: Speech codec* [Online]. Disponible en: <http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/51838/speech-codec>
- [17] Cisco. (2016, Abr). *Voice Over IP – Per Call Bandwidth Consumption* [Online]. Disponible en: <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/7934-bwidth-consume.html>
- [18] Andrew. (2011, Jul). *Difference Between G711 and G729* [Online]. Disponible en: <http://www.differencebetween.com/difference-between-g711-and-vs-g729/>
- [19] Cisco. (2001, Jul). *Traffic Analysis* [Online]. Disponible en: http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/solutions_docs/voip_solutions/TA_ISD.html
- [20] E. Martínez. (2002, Dic). *Red de Transporte* [Online]. Disponible en: <http://www.eveliux.com/mx/Red-de-Transporte.html>
- [21] M. Gonzáles. (2012, Nov). *La última milla* [Online]. Disponible en: <http://redstelematicas.com/la-ultima-milla/>
- [22] *Use of The Band 5 725-5 875 MHz for Broadband Fixed Wireless Access (BFWA)*, ECC Recommendation (06)04, 2006.

- [23] M. Gonzáles. (2014, Ago). *Velocidad de las redes WiFi N en entornos residenciales* [Online]. Disponible en: <http://redestelematicas.com/velocidad-de-las-redes-wifi-n-en-entornos-residenciales/#comment-554>
- [24] Y. Singh. "Comparison of Okumura, Hata and COST-231 Models on the Basis of Path Loss and Signal Strength," *Int. Jrnl. of Computer Applic.*, Vol. 59, no. 11, pp. 37-41, Dic. 2012.
- [25] K. Parmar y V. Nimavat, "Comparative Analysis of Path Loss Propagation Models in Radio Communication," *Int. Jrnl. of Innovative Research in Computer and Communication Eng.*, Vol. 3, no. 2, pp. 840-844, Feb. 2015.
- [26] Xirio Online. (2015, Jun). *Stanford University Interim Model* [Online]. Disponible en: <https://www.xirio-online.com/help/en/sui.html>
- [27] *Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción*, UIT-R P.838-3, 2005.
- [28] CompTek. (2014, Mar). *Lluvia y Nieve: Uso Experimental a Largo Plazo de Radios de Onda Milimétrica en Zonas Lluviosas, (En Ruso)* [Online]. Disponible en: <https://sohabr.net/post/220569/>
- [29] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (2008, jul). *Consulta – Plan Nacional de Frecuencias* [Online]: Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/consulta-plan-nacional-de-frecuencias/>
- [30] F. Almeida y L. Quimí. (2000, Mar). "Proyecto Península – Comuna Bajada de Chanduy," ICHE, ESPOL. Guayaquil, Ecuador. [Online]. Disponible en: <http://www.pdpse.espol.edu.ec/documentos/proyectos/2000/chanduy/bajadachanduy1c00.pdf>

ANEXOS

LEY ORGÁNICA DE LAS TELECOMUNICACIONES

Artículo 88.- Promoción de la Sociedad de la Información y del Conocimiento.

El Ministerio rector de las Telecomunicaciones promoverá la sociedad de la información y del conocimiento para el desarrollo integral del país. A tal efecto, dicho órgano deberá orientar su actuación a la formulación de políticas, planes, programas y proyectos destinados a:

1. Garantizar el derecho a la comunicación y acceso a la Información.
2. Promover el acceso universal a los servicios de telecomunicaciones; en especial, en zonas urbano-marginales o rurales, a fin de asegurar una adecuada cobertura de los servicios en beneficio de las y los ciudadanos ecuatorianos.
3. Promover el establecimiento eficiente de infraestructura de telecomunicaciones, especialmente en zonas urbano-marginales y rurales.
4. Procurar el Servicio Universal.
5. Promover el desarrollo y masificación del uso de las tecnologías de información y comunicación en todo el territorio nacional.
6. Apoyar la educación de la población en materia de informática y tecnologías de la información, a fin de facilitar el uso adecuado de los servicios o equipos.
7. Promover el desarrollo y liderazgo tecnológico del Ecuador que permitan la prestación de nuevos servicios a precios y tarifas equitativas.

Artículo 92.- Contribución.

Las y los prestadores de servicios de telecomunicaciones, excepto los de radiodifusión, pagarán una contribución del 1% de los ingresos totales facturados y percibidos. Dicho aporte deberá ser realizado trimestralmente, dentro de los quince días siguientes a la terminación de cada trimestre de cada año calendario y la recaudación la realizará la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE COMUNICACIÓN



SPECIFICATION SHEET: ePMP Force 180

ePMP[™]Force 180 Integrated Radio



Force 180

5 GHz	200 Mbps	20 Km	16 dBi
-------	----------	-------	--------

The ePMP Force 180 5 GHz subscriber module is the next generation of the ePMP 5 GHz Integrated Radio offering a higher-gain, integrated 16 dBi patch antenna. Installation and alignment are easy with the adjustable mounting bracket, and the Force 180 is small, sleek, and equipped with Gigabit Ethernet port to deliver the maximum throughput.

Spectrum

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

Interface

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, UDP, TCP, IP, ICMP, SNMPv2c, HTTPS, STP, SSH, ICMP Snooping
NETWORK MANAGEMENT	HTTPS, SNMPv2c, SSH
VLAN	802.1Q with 802.1p priority

Performance

ARQ	Yes
NOMINAL RECEIVE SENSITIVITY (W/FEC) @ 20MHz 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

Link Budget

TRANSMIT POWER RANGE	-17 to +30 dBm (combined, to regional ERP limit) (1 dB interval)
INTEGRATED ANTENNA PEAK GAIN	16 dBi
MAXIMUM TRANSMIT POWER	30 dBm combined (subject to regional regulatory restrictions)

PARAMETER SPECIFICATION

PARAMETER	SPECIFICATION
FREQUENCY RANGE	4910 - 5970 MHz
ANTENNA TYPE	INTEGRATED
TYPICAL GAIN	16 dBi
3dB BEAMWIDTH-AZIMUTH	15°
3dB BEAMWIDTH-ELEVATION	30°
POLARIZATION(S)	DUALLINEAR, H/V
FRONT-TO-BACK ISOLATION	>20 dB
CROSS POLARIZATION	15 dB

ePMP™ FORCE 200 FOR 2.4 GHz and 5 GHz



Force 200 5 GHz

5 GHz 200 Mbps 25 dBi

The ePMP Force 200 adds a subscriber module and point-to-point (PTP) radio to ePMP's 5 GHz line of products, designed to operate in high interference environments and provide superior throughput of over 200 Mbps of real user data. Long range deployment is enabled by the 25 dBi antenna. 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.

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

INTERFACE

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

PERFORMANCE

ARQ	Yes
Nominal Receive Sensitivity (w/FEC) @200MHz Channel	MCS0 = -92 dBm to MCS15 = -68 dBm (per branch)
Nominal Receive Sensitivity (w/FEC) @40MHz 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)

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

ePMP™ 1000 Connectorized Radio

Wireless service providers and enterprises need reliable, high-quality broadband connectivity that can be rapidly deployed and expanded. The ePMP architecture provides highly scalable broadband access solution that will allow you to build and expand your network with a faster return on investment. Cambium Networks' radios deliver bandwidth-intensive services such as VoIP, video and data to end users in multiple vertical markets, with high performance and exceptional reliability.



ePMP 1000 Connectorized Radio

Spectrum	
CHANNEL SPACING	Configurable on 5 MHz increments
FREQUENCY RANGE	5 GHz: 5150 – 5970 MHz (exact frequencies as allowed by local regulations) 2.4 GHz: 2402 – 2472 MHz
CHANNEL WIDTH	5 10 20 40 MHz
Interface	
MAC (MEDIA ACCESS CONTROL) LAYER	Cambium Proprietary
PHYSICAL LAYER	2x2 MIMO/OFDM
ETHERNET INTERFACE	100 BaseT, Cambium PoE (V+ = pins 7 & 8, Return = pins 4 & 5)
PROTOCOLS USED	IPv4, UDP, TCP, IP, ICMP, SNMPv2c, HTTPs, STP, SSH, IGMP Snooping
NETWORK MANAGEMENT	HTTPs, SNMPv2c, SSH
VLAN	802.1Q with 802.1p priority
Performance	
ARQ	Yes
NOMINAL RECEIVE SENSITIVITY (W/ FEC) @ 20MHZ CHANNEL	MCS0 = -93 dBm to MCS15 = -69 dBm (per branch)
NOMINAL SENSITIVITY (W/ FEC) @ 40MHZ CHANNEL	MCS0 = -90 dBm to MCS15 = -66 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 Addr, Broadcast, Multicast and Station Priority
Link Budget	
TRANSMIT POWER RANGE	-17 to +30 dBm (combined, to regional EIRP limit) (1 dB interval)

ePMP™ 1000 Sector Antenna

A **wireless broadband communication** system has many components; each one contributes to the overall performance and ultimately affects operator revenues. One of the principal considerations in a communications system is antennas. Their impact is enormous - using the wrong antenna will degrade the overall performance of an otherwise well engineered system, resulting in customer dissatisfaction.

At Cambium Networks, our antennas are engineered to address most typical network and terrain challenges and are built to the highest level of quality and reliability. The 5 GHz ePMP 1000 90 and 120 degree sector antennas are connectorized and specifically designed for use with the ePMP platform. These antennas provide high front-to-back ratio required for optimized performance with maximized frequency reuse.



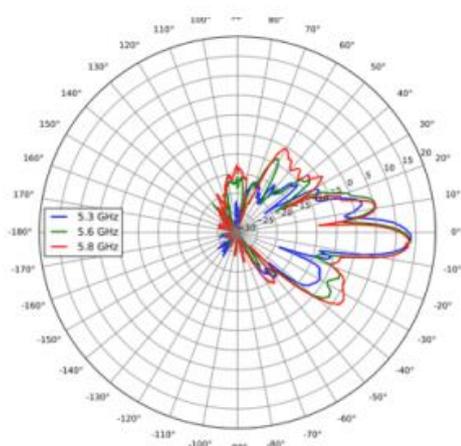
Sector Antenna



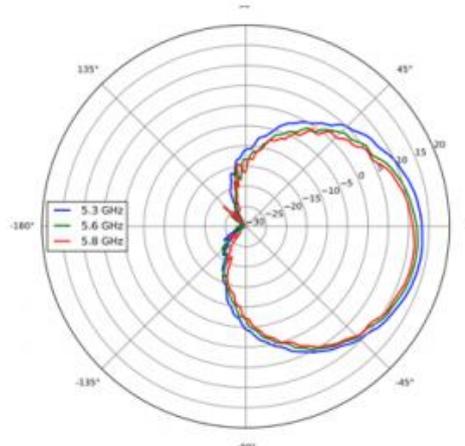
ePMP 1000 GPS Sync Radio Integrated with a Sector Antenna

SPECIFICATIONS	C050900D003A 90 DEGREE SECTOR	C050900D002A 120 DEGREE SECTOR
FREQUENCY RANGE	5150 – 5875 MHZ	
ANTENNA TYPE	ACCESS POINT SECTOR	
GAIN	15 DBI	14 DBI
VSWR	1.6:1 MAX	1.7:1 MAX
PORT TO PORT ISOLATION	25 DB	
6DB BEAMWIDTH-AZIMUTH	90°	120°
3DB BEAMWIDTH-AZIMUTH	65°	90°
3DB BEAMWIDTH-ELEVATION	8°	12°
POLARIZATION	Dual Linear, Horizontal / Vertical	
MAXIMUM INPUT POWER	5 W	
INPUT IMPEDANCE	50 Ohms	
FRONT-TO-BACK RATIO	>32 dB	
CROSS POLARIZATION	>18 dB	
MECHANICAL SIZE (MM)	827h x 161w x 59d (excl AP & bracket) 827h x 161w x 231d (incl AP & bracket)	
ANTENNA WEIGHT	3.1 kg (6.8 lb), w/o bracket kit	
MOUNTED ANT WEIGHT (W/ AP)	5.5 kg (12.1 lb)	
ANTENNA CONNECTOR	2 x male RP-SMA	
WIND SURVIVAL	190 km/h (118 mph)	
WIND LOADING (@216 KM/H)	FRONT: 318 N (72 LBF) SIDE: 160 N (36 LBF)	
POLE MOUNTING HARDWARE	QUICK RELEASE, 1.5" TO 4.5" DIA. POLE	
MECHANICAL DOWNTILT	-3° TO 12°	

90 DEG SECTOR ELEVATION GAIN (dBI) FOR ZERO AZIMUTH



90 DEG SECTOR AZIMUTH GAIN (dBI) FOR ZERO ELEVATION



cnPilot™ Home & Business R200 and R201

SIMPLYING THE NETWORK.

Extending the service provider's indoor reach and streamlining components for a simplified indoor network. Versatile multi-function WLAN access points, offering remote visibility and end-to-end troubleshooting, extend the service provider's indoor reach.



WLAN ROUTERS TO SUIT FUNCTIONS AND BUDGETS

	R200	R200P	R201	R201P	R201W
WLAN Routers	802.11n Single band 2.4 GHz	802.11n Single band 2.4 GHz	802.11ac Dual band 2.4 and 5 GHz	802.11ac Dual band 2.4 and 5 GHz	802.11ac Dual band 2.4 and 5 GHz
ATA - for Voice	✓	✓	✓	✓	
Cambium PoE out		✓		✓	✓

FEATURES	R200	R200P	R201	R201P	R201W
KEY INTERFACES					
TELEPHONE INTERFACES 2 FXS ports, RJ11	✓	✓	✓	✓	
WAN	1 x 10/100 RJ45		1 x GigE, RJ45		
LAN	4 x 10/100BaseT, RJ45		4 x GigE, RJ45		
USB	1 USB 2.0 Host Port for shared printer or storage		1 USB 2.0 Host Port for shared printer or storage		
WIFI	2x2 Single band 11n 2.4 GHz		2x2 Dual band 11ac 2.4 (11n) and 5 GHz (11ac)		
SSIDs 4 Per Radio	4		8		
PoE OUTPUT Powering Cambium's PM 450 and ePMP Subscriber Module		✓		✓	✓
RESET BUTTON Factory reset button	✓	✓	✓	✓	✓
LED INDICATORS: Power	✓	✓	✓	✓	✓
WLAN	✓	✓	✓	✓	✓
LAN 1-4	✓	✓	✓	✓	✓
Phone 1-2	✓	✓	✓	✓	n/a
Call Features					
IP SIGNALING SIP V2 (RFC3261/3262/ 3263/3264)	✓	✓	✓	✓	
VOICE CODEC G.711 (A-law, μ-law), G.722, G.723, G.729	✓	✓	✓	✓	

HPE OfficeConnect 1910 8 Switch (JG536A)



Performance	100 Mb Latency	< 5 μ s
	1000 Mb Latency	< 5 μ s
	Throughput	up to 4.2 Mpps (64-byte packets)
	Routing/Switching capacity	5.6 Gb/s
	Routing table size	32 entries (IPv4), 32 entries (IPv6)
	MAC address table size	8192 entries

Quality of Service (QoS)

- **Broadcast control**
allows limitation of broadcast traffic rate to cut down on unwanted network broadcast traffic
- **Rate limiting**
sets per-port ingress enforced maximums and per-port, per-queue minimums
- **Traffic prioritization**
provides time-sensitive packets (like VoIP and video) with priority over other traffic based on DSCP or IEEE 802.1p classification; packets are mapped to four hardware queues for more effective throughput

Layer 2 switching

- **VLAN support and tagging**
supports IEEE 802.1Q (4,094 VLAN IDs) and 256 VLANs simultaneously
- **Spanning Tree Protocol (STP)**
supports standard IEEE 802.1D STP, IEEE 802.1w Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) for faster convergence, and IEEE 802.1s Multiple Spanning Tree Protocol (MSTP)
- **BPDU filtering**
drops BPDU packets when STP is enabled globally but disabled on a specific port
- **Jumbo frame support**
supports up to 10 kilobyte frame size to improve the performance of large data transfers

Layer 3 services

- **Address Resolution Protocol (ARP)**
determines the MAC address of another IP host in the same subnet; supports static ARPs; gratuitous ARP allows detection of duplicate IP addresses; proxy ARP allows normal ARP operation between subnets or when subnets are separated by a Layer 2 network
- **DHCP relay**
simplifies management of DHCP addresses in networks with multiple subnets

Layer 3 routing

- **Static IPv4/IPv6 routing**
provides basic routing (supporting up to 32 static routes and 8 virtual VLAN interfaces); allows manual configuration of routing

ABREVIATURAS

AC	Alternate Current (Corriente Alterna)
ACF	Admission Confirm Message (Mensaje de Confirmación de Admisión)
ACK	Acknowledge Message (Mensaje de Reconocimiento)
ACM	Address Complete Message (Mensaje de Direccionamiento Completo)
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line (Línea de Abonado Digital Asimétrica)
ANM	Answer Message (Mensaje de Respuesta)
AP	Access Point (Punto de Acceso)
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Network (Red de la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada)
ARQ	Automatic Repeat Request (Solicitud de Repetición Automática)
ATA	Analog Telephone Adapter (Adaptador de Teléfono Analógico)
ATM	Asynchronous Transfer Mode (Modo de Transferencia Asíncrona)
BFWA	Broadband Fixed Wireless Access (Acceso Inalámbrico Fijo de Banda Ancha)
BPSK	Binary Phase Shift Keying (Modulación Binaria por Desplazamiento de Fase)
CDMA	Code Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Código)
CLC	Close Logical Channel Message (Mensaje de Cierre del Canal Lógico)
CN	Cambium Networks
CPE	Customer Premise Equipment (Equipo Local de Cliente)
DC	Direct Current (Corriente Continua)
DCF	Disconnect Confirm Message (Mensaje de Confirmación para la Desconexión)

DRQ	Disengage Request Message (Mensaje de Solicitud para el Desacoplamiento)
DSL	Digital Subscriber Line (Línea de Abonado Digital)
DTMF	Dual-Tone Multi-Frequency (Sistema Multifrecuencial de Marcación de Tonos)
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing (Multiplexación Compacta por División en Longitudes de Onda)
ECC	Electronic Communications Committee (Comité de Comunicaciones Electrónicas)
EPMP	Equalize Point-to-multipoint Platform (Plataforma Equaizada Punto-multipunto)
ESC	End Session Command (Comando de Finalización de Sesión)
FTTH	Fiber to the Home (Fibra Hasta el Hogar)
GOS	Grade of Service (Grado de Servicio)
HDSL	High bit rate Digital to Subscriber Line (Línea de Abonado Digital de Alta velocidad binaria)
HP	Hewlett Packard
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access (Acceso por Paquetes de Alta Velocidad de Descarga)
IAM	Initial Address Message (Mensaje de Dirección inicial)
IANA	Internet Assigned Numbers Authority (Autoridad de Asignación de Números de Internet)
IAX	Inter-Asterisk eXchange protocol (Protocolo de Intercambio Inter-Asterisk)
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)
IG	Intervalo de Guarda

IMT	International Mobile Telecommunications (Telecomunicaciones Móviles Internacionales)
ISDN	Integrated Services Digital Network (Red Digital de Servicios Integrados)
ISM	Industrial, Scientific and Medical radio bands (Bandas de Radio de Aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas)
ISP	Internet Service Provider (Proveedor de Servicios de Internet)
ISUP	ISDN User Part (Protocolo de Circuitos Conmutados ISDN)
ITU	International Telecommunications Unit (Unidad Internacional de las Telecomunicaciones)
L3	Layer 3 (Capa 3 del modelo OSI)
LAN	Local Area Network (Red de Área Local)
LRQ	Location Request Message (Mensaje de Solicitud de Ubicación)
MCS	Modulation and Coding Scheme (Esquema de Modulación y Codificación)
MGCP	Media Gateway Control Protocol (Protocolo de Control de Gateway de Multimedia)
MIMO	Multiple-input Multiple-output (Múltiple-entrada Múltiple-salida)
MINTEL	Ministerio de Telecomunicaciones del Ecuador
MOS	Mean Opinion Score (Puntuación de Opinión Media)
OLC	Open Logical Channel Message (Mensaje de Apertura de Canal Lógico)
PCM	Pulse Code Modulation (Modulación por Codificación de Pulsos)
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy (Jerarquía Digital Plesiócrona)
PDOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
PMP	Point-to-multipoint (Punto-multipunto)

PRE	Periodo de Recuperación de Capital de Inversión
PRI	Primary Rate Interface (Interfaz Primaria de Velocidad)
PSTN	Public Switched Telephone Network (Red de Telefonía Pública Conmutada)
PTP	Point-to-point (Punto a Punto)
QAM	Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud en Cuadratura)
QOS	Quality of Service (Calidad de Servicio)
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura)
RAS	Registration, Admission, and Status Message (Mensaje de Registro, Admisión y Estado)
REL	Release Message (Mensaje de Liberación y Cierre de Canal)
REQ	Request Message (Mensaje de Solicitud o Requerimiento)
RLC	Release Complete Message (Mensaje de Liberación Completa)
RSP	Response Message (Mensaje de Respuesta)
RTCP	Real Time Control Protocol (Protocolo de Control en Tiempo Real)
SCCP	Skinny Call Control Protocol (Protocolo de Control Ligero de Llamadas)
SDH	Synchronous Digital Hierarchy (Jerarquía Digital Síncrona)
SDP	Session Description Protocol (Protocolo Descriptivo de Sesión)
SG	Signalling Gateway (Gateway de Señalización de Llamadas)
SIF	Servicio de Internet fijo
SIP	Session Initiation Protocol (Protocolo de Inicio de Sesión)
SM	Subscriber Module (Módulo Suscriptor)
SRTP	Secure Real-time Transport Protocol (Protocolo de Transporte Seguro en Tiempo Real)

STF	Servicio de Telefonía Fija
SUI	Stanford University Interim (Modelo Provisorio de la Universidad de Stanford)
TCP	Transmission Control Protocol (Protocolo de Control de Transmisión)
TCS	Terminal Capacity Set Message (Mensaje de Configuración de la Capacidad del Terminal)
TDMA	Time Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo)
TIC	Tecnologías de la Información y Comunicaciones
TIR	Tasa Interna de Retorno
TMAR	Tasa Mínima Atractiva de Retorno
TUP	Telephone User Part (Protocolo de Parte de Usuario de Telefonía)
UDP	User Datagram Protocol (Protocolo de Datagramas de Usuario)
UIM	User Identity Module (Módulo de Identidad de Usuario)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles)
VAN	Valor Actual Neto
VDSL	Very-high bit rate Digital to Subscriber Line (Línea de Abonado Digital de Muy Alta velocidad binaria)
VLAN	Virtual Local Area Network (Red Virtual de Área Local)
VOIP	Voice Over Internet Protocol (Voz sobre Protocolo de Internet)
WAN	Wide Area Network (Red de Área Extensa)
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas)
WISP	Wireless Internet Service Provider (Proveedor de Servicios de Internet Inalámbrico)

GLOSARIO

Apertura de Radio.- Amplitud angular efectiva de la radiación de una antena.

Azimut.- Orientación angular sobre una superficie esférica, medida desde el Norte geográfico en sentido horario. Medida utilizada en Náutica, Astronomía, Radiocomunicaciones, etc.

Backbone.- Columna vertebral o conjunto principal de conexiones troncales de servicios de Telecomunicaciones, especialmente Internet.

Backhaul.- Segmento de una red jerárquica que describe los enlaces de retorno, principalmente punto a punto entre el Backbone y las subredes de última milla.

Cable-Modem.- Sistema o dispositivo de banda ancha diseñado para la modulación y demodulación de señales portadoras de datos sobre una infraestructura de Televisión por Cable.

Categoría de Cables de Red.- Especificaciones o estándares de cables de red Ethernet que definen sus características de tráfico y flujo de datos. Las principales categorías son CAT5, CAT6 y CAT7 con sus respectivas variaciones; donde a mayor categoría, mejor desempeño y transmisión de mayores tasas de datos.

Circuitos conmutados.- Circuitos o lazos electrónicos utilizados en sistemas básicos de comunicación como telefonía pública cuyas rutas de conexión son controladas mecánicamente por acción de conmutadores típicamente analógicos.

Circuitos Telefónicos.- Circuitos electrónicos, analógicos o digitales utilizados en servicios de telefonía, con frecuencia reutilizados mediante procesos estocásticos para la optimización de recursos.

Despliegue de Red.- Proceso de implementación de redes, extensión de cobertura física o inalámbrica de dispositivos o servicios de comunicación.

Disponibilidad Espectral.- Existencia de bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico desocupadas o de mínima interferencia.

Enlaces Punto a Punto.- Enlaces de comunicaciones fijas o inalámbricas entre dos puntos o terminales únicos.

Enlaces Punto-multipunto.- Enlaces de comunicaciones fijas o inalámbricas entre uno y varios puntos o terminales.

Enrutamiento Inter-VLAN.- Proceso de enrutamiento interno de tráfico de red a entre varias VLAN. Utilizado para la segmentación o integración de tráfico de sub redes VLAN en una o varias interfaces físicas o lógicas.

Escalabilidad de Red.- Característica de una red de poder adaptarse a cambios o crecer progresivamente sin deteriorar la calidad del sistema y sus servicios

Fast-Ethernet.- Estándar de IEEE de redes Ethernet que permite y soporta velocidades de hasta 100 Mbps.

Flexibilidad de Red.- Capacidad general de una red de adaptarse a cambios, configuraciones o prioridades.

Flujograma de Señalización.- Diagrama de flujo que ilustra de manera secuencial los procesos de un sistema de comunicación, generalmente telefonía e Internet, para garantizar un correcto funcionamiento del sistema.

Gigabit-Ethernet.- Estándar de IEEE de redes Ethernet, expansión de Fast-Ethernet que permite y soporta velocidades de hasta 1 Gbps.

Hora Pico.- Periodo de tiempo, generalmente de una hora, en el que existe una mayor intensidad de tráfico de datos, pudiendo ocurrir congestiones de la red a causa de la concurrente utilización de recursos de la red.

Incentivo Fiscal.- Estímulo del pago tributario concedido a empresas en forma de descuentos o beneficios a través de la ejecución y declaración legal de actividades de interés del sector público.

Interferencia Co-canal.- Interferencia ocasionada por radiaciones de canales adyacentes a una determinada banda espectral.

Inversor de Voltaje o Corriente.- Dispositivo o Sistema electrónico que transforma una entrada de corriente continua en una fuente simétrica de corriente alterna.

Ley-A.- Sistema europeo de cuantificación logarítmica de señales de audio para la compresión de la voz en comunicaciones telefónicas analógicas o digitales.

Ley-U.- Sistema Nipón-Americano de cuantificación logarítmica de señales de audio para la compresión de la voz en comunicaciones telefónicas analógicas o digitales.

Mean Opinion Score.- Medida promedio utilizada especialmente en telefonía para evaluar la calidad subjetiva de la voz percibida por el usuario. Comprende calificaciones de 1 a 5; donde 1 constituye una mala calidad y 5 una excelente calidad.

Overhead.- Requerimiento adicional de recursos informáticos para la ejecución de determinados procesos o tareas.

Payload.- Datos esenciales contenidos dentro de un paquete o unidad de transmisión. Describe únicamente la información que debe enviarse a su destino.

Señalización de Llamadas.- Conjunto de procesos, secuencias y comandos que rigen el establecimiento y cierre de las llamadas telefónicas.

Sistemas MIMO.- Sistemas de comunicaciones capaces de controlar, emitir y recibir varias señales de radio de manera simultánea para la optimización de los métodos de transmisión y acceso al medio. Permiten incrementar la tasa de datos, mitigar errores y reducir pérdidas.

Throughput.- Flujo neto de información transmitido a través de un sistema de comunicaciones. Describe además la tasa de rendimiento real de datos transportados en una red telemática.

Tráfico de Datos.- Flujo de datos transportados dentro de una red de comunicaciones. Describe el grado de utilización de un segmento de red en un instante o intervalo de tiempo.

Tráfico de Voz.- Flujo de llamadas telefónicas realizadas dentro de una red. Describe la proporción de utilización de un canal de voz en función del tiempo de duración con respecto a un periodo de una hora.

Zona de Fresnel.- Espacio físico ocupado por el haz de radiación de un enlace inalámbrico de comunicaciones. Para que no existan inconvenientes de propagación debe asegurarse al menos un 60% de radio transversal del haz sin obstrucciones.